

# MATERIAALIT JA YMPÄRISTÖTURVALLISUUS

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä  
Vuosijulkaisu 2015

Hanne Soininen & Kari Dufva & Kati Kontinen (toim.)



MAMK

University of Applied Sciences

# MATERIAALIT JA YMPÄRISTÖTURVALLISUUS

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä  
Vuosijulkaisu 2015

Hanne Soininen & Kari Dufva & Kati Kontinen (toim.)



ETELÄ-SAVON  
MAAKUNTALIITTO

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2015

D: VAPAAMUOTOISIA JULKAISUJA – FREE-FORM PUBLICATIONS 63

© Tekijät ja Mikkelin ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Kari Dufva

Taitto ja paino: Tammerprint Oy

ISBN: 978-951-588-532-6 (nid.)

ISBN: 978-951-588-533-3 (PDF)

ISSN: 1458-7629 (nid.)

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

# LUKIJALLE

Mikkelin ammattikorkeakoulu tarjoaa monipuolisen koulutuksen lisäksi soveltavaa työelämän ja julkisen sektorin kanssa verkostoitunutta tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa sekä monipuolisia palveluja. Mikkelin ammattikorkeakoulun tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan (TKI) tavoitteena on alueen osaamisen, kilpailukyvyn ja yritystoiminnan vahvistaminen. TKI-toiminta tuottaa tutkimusta, uusia menetelmiä, tuotteita ja palveluita. Alueellinen kehittäminen ja työelämän vaatiman osaamisen tuottaminen kuuluvat ammattikorkeakoulujen perustehtäviin.

Vuoden 2015 Materiaalit ja ympäristöturvallisuus – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -julkaisuun on koottu Mikkelin ammattikorkeakoulun Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painoalan tutkimus- ja kehittämistoiminnasta kertovia artikkeleita. Painoalan monialainen yhteistyö tukee Etelä-Savon aluekehitystä sen keskeisillä toimialoilla.

Artikkeliteoksessa esitellään TKI-toiminnan vuoden 2015 tuloksia, joita on saavutettu niin hanketoiminnassa kuin koulutuksessakin. Artikkeleissa käsitellään muun muassa ympäristöturvallisuutta ja yritystoimintaa edistäviä ja uusien teknologisten ratkaisujen käyttöönottoon liittyviä teemoja. Uusia biopohjaisia materiaaleja hyödyntävät tuotteet ja prosessit sekä ympäristöturvallisuutta parantavat ratkaisut ovat tärkeä osa painoalla toteutettavaa tutkimus- ja kehitystoimintaa.

Tämän artikkeliteoksen toimittajat työskentelevät ”Materiaalit ja ympäristöturvallisuus - strateginen kehittäminen” -hankkeessa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Tekijät kiittävät hankkeiden ja opinnäytetöiden rahoittajia ja yhteistyökumppaneita yhteisen TKI-toiminnan mahdollistamisesta.

Mikkelissä 1.12.2015

Tekijät

# KIRJOITTAJAT

**Johanna Arola**, ins. (ylempi AMK), lehtori, koulutuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
johanna.arola@mamk.fi

**Elmar Bernhardt**, ins. (AMK), testaus- ja suunnittelupäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Elektroniikan 3K-tehdas  
elmar.bernhardt@mamk.fi

**Dick Blom**, DI, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
dick.blom@mamk.fi

**Markus Bruun**, DI, tutkimusinsinööri  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
markus.bruun@mamk.fi

**Anastasiia Bykova**, Bachelor of Engineering, Architecture and Civil  
Engineering

**Kari Dufva**, TkT, tutkimuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
kari.dufva@mamk.fi

**Jarno Föhr**, DI, projektipäällikkö  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Savo, Bioenergiateknologia  
jarno.fohr@lut.fi

**Vitaly Golubev**, Bachelor of Engineering (BEng) in Environmental  
Engineering

**Jonne Gråsten**, FM, kehityspäällikkö  
Metsäsairila Oy  
jonne.grasten@metsasairila.fi

**Justiina Halonen**, merikapteeni (AMK), tutkimuspäällikkö  
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Kilpailukykyinen logistiikka ja  
merenkulku sekä niiden turvallisuus  
justiina.halonen@kyamk.fi

**Elina Havia**, DI, tutkimuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Elektroniikan 3K-tehdas  
elina.havia@mamk.fi

**Henri Hiltunen**, metsätalousinsinööri (AMK) opiskelija

**Yrjö Hiltunen**, TkT, tutkimusjohtaja  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
yrjo.hiltunen@mamk.fi

**Mikko Hokkanen**, DI, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
mikko.hokkanen@mamk.fi

**Virve Hyyryläinen**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Jouni-Juhani Häkkinen**, ins. (AMK), projektipäällikkö  
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Kilpailukykyinen logistiikka ja  
merenkulku sekä niiden turvallisuus  
jouni-juhani.hakkinen@kyamk.fi

**Panu Jouhkimo**, DI, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
panu.jouhkimo@mamk.fi

**Mari Järvenmäki**, ins. (ylempi AMK), lehtori  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
mari.jarvenmaki@mamk.fi

**Mikko Järvenpää**, toimitusjohtaja  
Torrec Oy  
mikko.jarvenpaa@torrec.fi

**Emmi Kallio**, DI, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio  
emmi.kallio@mamk.fi

**Janne Kankkunen**, DI, koordinaattori  
Geologian tutkimuskeskus  
janne.kankkunen@gtk.fi

**Kalle Karosto**, MMM, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsätalouden laitos  
kalle.karosto@mamk.fi

**Tero Karttunen**, DI, tutkimusinsinööri  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
tero.karttunen@mamk.fi

**Anu Kela**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Jarkko Kolehmainen**, ins. (AMK), tuntiopettaja  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
jarkko.kolehmainen@mamk.fi

**Kati Kontinen**, MML, tutkimuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
kati.kontinen@mamk.fi

**Riku Kopra**, TkT, TKI-asiantuntija  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio  
riku.kopra@mamk.fi

**Maija Korhonen**, TkL, tutkimuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
maija.korhonen@mamk.fi

**Mika Kuusela**, ins. (ylempi AMK), lehtori  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
mika.kuusela@mamk.fi

**Jari Käyhkö**, TkT, tutkimuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio  
jari.kayhko@mamk.fi

**Niina Laurila**, ins. (AMK), projektipäällikkö,  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
niina.laurila@mamk.fi

**Juha Leinonen**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Lauri Linkosalmi**, DI, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
lauri.linkosalmi@mamk.fi

**Mika Liukkonen**, FT, tutkijatohtori  
Itä-Suomen yliopisto  
mika.liukkonen@uef.fi

**Sami Luste**, FT, TKI-asiantuntija  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
sami.luste@mamk.fi

**Vuokko Malk**, FM, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
vuokko.malk@mamk.fi

**Krista Manninen**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Ekaterina Nikolskaya**, projektitutkija  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
ekaterina.nikolskaya@mamk.fi

**Anna-Maija Ojapelto**, FM, lehtori  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
anna-maija.ojapelto@mamk.fi

**Petteri Paananen**, DI, projektipäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
petteri.paananen@mamk.fi

**Leena Pekurinen**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Juho Peura**, ins. (AMK), tutkimusinsinööri  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
juho.peura@mamk.fi

**Tuomas Pesonen**, DI, Engineer, Chemical Systems at Valmet  
tuomas.pesonen@valmet.fi

**Taru Potinkara**, DI, lehtori, koulutuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
taru.potinkara@mamk.fi

**Hannu Poutiainen**, FT, lehtori  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
hannu.poutiainen@mamk.fi



**Aila Puttonen**, DI, lehtori

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
aila.puttonen@mamk.fi

**Timo Pyhälähti**, FM, erikoissuunnittelija

Suomen ympäristökeskus, Paikkatieto- ja kaukokartoitusjärjestelmät  
timo.pyhalahti@ymparisto.fi

**Roosa Pyykkö**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Tapio Ranta**, TkT, professori

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Savo, Bioenergiateknologia  
tapio.ranta@lut.fi

**Tuija Ranta-Korhonen**, FM, ins. (AMK), tutkimusinsinööri

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
tuija.ranta-korhonen@mamk.fi

**Marko Rasi**, FT, TKI-asiantuntija

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio  
marko.rasi@mamk.fi

**Jukka Räisä**, ins. (ylempi AMK), lehtori

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
jukka.raisa@mamk.fi

**Laura Saar**, Jalkaterapeutti, (ylempi AMK), tuntiopettaja

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Jalkaterapeuttikoulutus  
laura.saar@mamk.fi

**Tiina Saario**, DI, projektitutkija

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio  
tiina.saario@mamk.fi

**Heikki Salomaa**, DI, lehtori

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
heikki.salomaa@mamk.fi

**Jukka Selin**, FT, TKI-asiantuntija

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio  
jukka.j.selin@mamk.fi

**Sari Seppäläinen**, ins. (AMK), laboratorioinsinööri

Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
sari.seppalainen@mamk.fi

**Mika Sillanpää**, TkT, professori  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Vihreän kemian laboratorio  
mika.sillanpaa@lut.fi

**Hanne Soininen**, DI, tutkimuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kehitystoiminta  
hanne.soininen@mamk.fi

**Heikki Sonninen**, DI, johtaja  
Torrec Oy  
heikki.sonninen@torrec.fi

**Arto Sormunen**, FT, yliopettaja  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
arto.sormunen@mamk.fi

**Jemina Suikki**, ins. (AMK), tutkimusinsinööri  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos

**Heikki Särkkä**, TkT, tutkimusinsinööri  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
heikki.sarkka@mamk.fi

**Maija Tanskanen**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Salla Thil**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**Anne-Marie Tuomala**, FM, MBA, Associate of IIB, lehtori, koulutuspäällikkö  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos  
anne-marie.tuomala@mamk.fi

**Juhani Turunen**, TkL, TKI-asiantuntija  
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio  
juhani.turunen@mamk.fi

**Kari Vanhatalo**, DI, tutkija  
Aalto-yliopisto  
kari.vanhatalo@aalto.fi

**Ville Viljanen**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

# SISÄLTÖ

**TULOKSELLISTA MAAKUNNALLISTA TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMINTAA ELINKEINOELÄMÄLLE – TUTKIMUSTA YLI RAJOJEN .....15**

*Hanne Soininen & Kari Dufva & Kati Kontinen*

## **YMPÄRISTÖTURVALLISUUS**

**SMART EFFLUENTS – UUDEN SUKUPOLVEN JÄTEVEDENKÄSITTELYN RATKAISUT VASTAAMAAN VUODEN 2050 VAATIMUKSIA .....22**

*Hanne Soininen & Heikki Särkkä & Sami Luste & Mika Sillanpää*

**INNOVAATIOT NOPEAMMIN MARKKINOILLE KÄYTÄNNÖNLÄHEISEN TKI-TOIMINNAN AVULLA.....29**

*Anne-Marie Tuomala*

**OPISKELIJAPROJEKTINA LUOMUVIIKKO MIKKELISSÄ .....35**

*Virve Hyryläinen & Mari Järvenmäki & Krista Manninen & Roosa Pyykkö & Salla Thil*

**YRITYSKULTTUURI JA ULKOISTAMISKÄYTÄNNÖT VENÄJÄLLÄ.....43**

*Anne-Marie Tuomala*

**BIOFUEL QUALITY CONTROL BY PORTABLE XRF-ANALYSER .....55**

*Aila Puttonen & Vitaly Golubev*

**TORREFIOITUJEN BIOHIILIPELLETTIEN FYSIKAALISET OMINAISUUDET BIOPOLTTOAINEEN LAATUTEKIJÄNÄ .....68**

*Jemina Suikki & Hanne Soininen & Jarno Föhr & Tapio Ranta & Mikko Järvenpää*

**TORREFIOITUJEN BIOHIILIPELLETTIEN KEMIAALLISET OMINAISUUDET BIOPOLTTOAINEEN LAATUTEKIJÄNÄ .....81**

*Jemina Suikki & Hanne Soininen & Jarno Föhr & Tapio Ranta*

<b>TORREFIOITUJEN BIOHIILIPELLETTIEN SÄILYVYYS JA VARASTOITAVUUS .....</b>	<b>91</b>
<i>Jemina Suikki &amp; Hanne Soininen &amp; Sari Seppäläinen</i>	
<b>TORREFIOINTIPROSESSISSA VAPAUTUNEEN LAUHDEVEDEN LAATU.....</b>	<b>101</b>
<i>Jemina Suikki &amp; Hanne Soininen &amp; Mikko Järvenpää &amp; Heikki Sonninen</i>	
<b>ETELÄ-SAVOSTA SAATAVILLA OLEVIEN MAATALOUDEN JA TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEIDEN SEOSTEN SOVELTUVUUS TERMOFIILISEEN ANAEROBISEEN KÄSITTELYYN .....</b>	<b>107</b>
<i>Sami Luste &amp; Leena Pekurinen</i>	
<b>MITTAAMALLA KOHTI PUHTAAMPAA YMPÄRISTÖÄ.....</b>	<b>116</b>
<i>Niina Laurila &amp; Hanne Soininen</i>	
<b>HULEVESIEN VAIKUTUS SAIMAAN VESISTÖALUEIDEN KUORMITUKSEEN JA RAAKAVEDENOTTAMOIDEN TOIMINTAAN .....</b>	<b>120</b>
<i>Tuija Ranta-Korhonen &amp; Niina Laurila</i>	
<b>UUDET MALLINNUSOHJELMISTOT VESIJÄRJESTELMIEN TUTKIMUKSESSA – HULEVEDET HALLINTAAN .....</b>	<b>125</b>
<i>Hannu Poutiainen</i>	
<b>VESISTÖN MONITOROINTIA YSI-ANTUREILLA.....</b>	<b>133</b>
<i>Ville Viljanen &amp; Niina Laurila &amp; Tuija Ranta-Korhonen</i>	
<b>YMPÄRISTÖVAHINKOJEN JA -RISKIEN MINIMOINTI.....</b>	<b>137</b>
<i>Arto Sormunen &amp; Vuokko Malk</i>	
<b>BIOÖLJYJEN KÄYTTÄYTYMINEN YMPÄRISTÖSSÄ JA TORJUNTA VAHINKOTILANTEESSA.....</b>	<b>142</b>
<i>Vuokko Malk &amp; Arto Sormunen &amp; Justiina Halonen</i>	
<b>PIKAMITTAUSMENETELMÄT ÖLJYVAHINKOJEN MONITOROINNISSA.....</b>	<b>154</b>
<i>Vuokko Malk &amp; Arto Sormunen &amp; Juha Leinonen &amp; Maija Tanskanen &amp; Anu Kela</i>	
<b>VAARALLISTEN AINEIDEN KULJETUSTEN JA VARASTOINNIN RISKIKOhteet SAIMAALLA JA ITÄ-SUOMESSA .....</b>	<b>162</b>
<i>Jouni-Juhani Häkkinen &amp; Vuokko Malk</i>	

**ÖLJYISEN VEDEN JA MAA-AINESTEN  
KÄSITTELY ITÄ-SUOMESSA .....172**  
*Vuokko Malk & Jonne Gråsten*

**JOUKKOISTAMINEN MITTAAMISEN APUVÄLINEEKSI  
LUONNONVESIEN LAADUN SEURANTAAN:  
KÄNNYKKÄKAMERAN AVULLA TOIMIVA IQWTR .....178**  
*Maija Korhonen ja Timo Pyhälähti*

## **METSÄTALOUS JA PUUTUOTETEOLLISUUS**

**METSÄTALOUDEN VESIENSUOJELUN TEHOSTAMINEN  
BIOSUOTIMILLA – VETU .....188**  
*Kalle Karosto & Kati Kontinen*

**BIOSUODINMATERIAALIEN SOVELTUVUUS METSÄ-  
OJITUSALUEIDEN VALUMAVESIEN KÄSITTELYSSÄ.....194**  
*Henri Hiltunen & Kati Kontinen*

**LABORATORIOMITTAKAAVAN BIOSUODATINKOKEET  
METSÄTALOUDEN VESIENSUOJELUN TEHOSTAMISEKSI ....204**  
*Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen*

**KÄYTÄNNÖN BIOSUODATINKOKEET METSÄ-  
TALOUDEN VESIENSUOJELUN TEHOSTAMISEKSI.....209**  
*Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen*

**YKSITYISTIESTÖ METSÄTALOUDEN TUKIRANKANA.....216**  
*Kati Kontinen*

**YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISTÄ PUUN KÄSITTELYÄ.....221**  
*Kati Kontinen & Lauri Linkosalmi & Juho Peura*

**KESTÄVÄ RAKENTAMINEN – PUUN MAHDOLLISUUDET .....227**  
*Lauri Linkosalmi*

## **ÄLYKKÄÄT MATERIAALIT JA ENERGIARATKAISUT**

**DEMOLAB-OPPIMISYMPÄRISTÖN SUUNNITTELUA  
TALOTEK-HANKKEESSA .....236**  
*Johanna Arola & Panu Jouhkimo & Mika Kuusela & Jukka Räisä*

**TALOTEKNIIKAN PROJEKTITOIMISTON TOINEN  
TOIMINTAKAUSI LIIKKEELLE MUUTOKSIEN MYÖTÄ .....242**  
*Johanna Arola & Anna-Maija Ojapelto & Taru Potinkara*

<b>TALOTEKNIIKAN KOULUTUKSELLE VALMISTUMASSA ILMANVAIHDON JA SISÄILMASTON TESTAUS- JA TUOTEKEHITYSYMPÄRISTÖ .....</b>	<b>251</b>
<i>Johanna Arola &amp; Panu Joubkimo &amp; Jarkko Kolehmainen &amp; Heikki Salomaa</i>	
<b>APPLYING GEO-EXCHANGE SYSTEM TO UTILIZE GROUND ENERGY IN BUILDINGS .....</b>	<b>258</b>
<i>Anastasiia Bykova &amp; Heikki Salomaa</i>	
<b>KÄYTÖSTÄ POISTETTujen LUJITEMUOVITUOTTEIDEN KIERRÄTYS SEMENTTIUUNISSA PARANTAA KIERRÄTYSASTETTA SUOMESSA .....</b>	<b>265</b>
<i>Dick Blom</i>	
<b>YKSILÖLLISTEN TUKIPOHJALLISTEN VALMISTUS MATERIAALIA LISÄÄVILLÄ VALMISTUSMENETELMILLÄ.....</b>	<b>274</b>
<i>Markus Bruun &amp; Laura Saar &amp; Kari Dufva</i>	
<b>SÄRÖNKASVUN SEURANNAN AUTOMATISOINTI KONENÄÖN AVULLA .....</b>	<b>284</b>
<i>Kari Dufva &amp; Tero Karttunen</i>	
<b>TUOTEPROTOTYYPIN VALMISTUS RUISKUVALU- TEKNIIKALLA HYÖDYNTÄEN MATERIAALIA LISÄÄVÄÄ VALMISTUSMENETELMÄÄ .....</b>	<b>291</b>
<i>Kari Dufva &amp; Markus Bruun</i>	
<b>TEOLLINEN INTERNET .....</b>	<b>298</b>
<i>Mikko Hokkanen</i>	
<b> KUITULABORATORIO JA ELEKTRONIIKAN 3K-TEHDAS</b>	
<b>KUITULABORATORIOSSA SYVENNYTÄÄN SUURTEN TEOLLISTEN PROSESSIN NOPEIDEN SEKOITUS- ILMIÖIDEN TUTKIMUKSEEN .....</b>	<b>308</b>
<i>Jari Käyhkö &amp; Marko Rasi</i>	
<b>UUSI MIKROKITEISEN SELLULOOSAN VALMISTUSTEKNIikka .....</b>	<b>315</b>
<i>Petteri Paananen &amp; Juhani Turunen &amp; Kari Vanhatalo</i>	
<b>METSÄTEOLLISUUSLIETTEIDEN HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET .....</b>	<b>323</b>
<i>Jukka Selin &amp; Riku Kopra</i>	

**IN-LINE-PCC-MIKROKUITUKOMPOSIITTI  
PAINETTAVAN ELEKTRONIIKAN ALUSTAKSI .....330**  
*Tuomas Pesonen & Jari Käyhkö*

**NEW REACTOR TECHNIQUE FOR THE FEEDING  
OF CHEMICALS IN THE PAPER MACHINE WETEND.....337**  
*Emmi Kallio & Tiina Saario & Jari Käyhkö*

**A TIME DOMAIN NMR BASED METHOD FOR  
MONITORING METAL IONS IN MINE WATERS .....347**  
*Yrjö Hiltunen & Ekaterina Nikolskaya & Mika Liukkonen  
& Janne Kankkunen*

**DIRECT ENERGY MEASUREMENT AND  
INFORMATION SYSTEM.....354**  
*Elina Havia & Elmar Bernhardt*

# TULOKESELLISTA MAAKUNNALLISTA TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMINTAA ELINKEINOELÄMÄLLE – TUTKIMUSTA YLI RAJOJEN

*Hanne Soininen & Kari Dufva & Kati Kontinen*

Mikkelin ammattikorkeakoulun Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painealan tutkimus- ja kehittämistoiminta edistää maakunnan elinkeinon menestyksen ja kasvun kannalta tärkeitä toimialoja, kehittää alueen luonnonvarojen kestäväää käyttöä, parantaa energia- ja materiaalitehokkuutta sekä antaa ratkaisuja ympäristökysymyksiin ja turvaa puhdasta elinympäristöä.

Ympäristöturvallisuuteen, älykkäisiin materiaali- ja energiaratkaisuihin ja metsätalouteen liittyvistä innovaatioista haetaan kasvua ja osaamisen kehittymistä koko Etelä-Savon alueelle. Metsien taloudellinen merkitys on Etelä-Savossa maakunnista suurin. Alueella on vuosi vuoden jälkeen ollut maan suurimmat kantorahatulot. Puutuoteteollisuuden osuus Etelä-Savon aluetaloudesta on merkittävä. Alueella yli 30 % teollisuuden liikevaihdosta tulee puutuoteteollisuudesta. Etelä-Savon alueella on paljon käyttämättömiä mahdollisuuksia puun käytön lisäämisessä ja monipuolistamisessa sekä jalostusasteen nostamisessa. Etelä-Savon alueen ominaispiirteinä on myös mittava uusiutuvan energian tuotantopotentiaali. Yhteiskunnan vähähiilisyden edistämiseksi tulee lisätä paikallisten uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä ja alueen energiaomavaraisuutta sekä edistää energia- ja materiaalitehokkuutta.

Materiaalitehokkuuden edistämiseksi materiaalien kierrätys sekä sivuvirtojen ja jätteen hyötykäyttö ovat avainasemassa. Teollisuuden materiaali- ja energiatehokkuutta kehittämällä edistetään yritysten toiminnan tehokkuutta ja kilpailukykyä. Materiaalivirtojen hallinnan lisäksi teollisuuden materiaalitehokkuutta voidaan parantaa tuotteiden suunnittelun avulla sekä tuotannollisin ja valmistusteknisin keinoin. Materiaalitekniikan tuote- ja rakennesuunnittelulla voidaan myös kehittää koneiden, laitteiden ja rakennusten energiatehokkuutta ja -kulutusta.



Kiristynyt ympäristölainsäädäntö ja kansalaisten kasvava tietoisuus ympäristövaikutuksista lisäävät ympäristömittauksen ja -monitoroinnin merkitystä. Toisaalta älykkäät ICT-ratkaisut ja uudet puhtaat teknologiat avaavat uusia mahdollisuuksia ympäristön tilan seurantaan ja ympäristöliiketoiminnalle.

Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painoalan tutkimusympäristön muodostavat Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen LVI-tekniikan, materiaali-tekniikan, ympäristötekniikan ja puutekniikan laboratoriot sekä Sähkö- ja informaatiotekniikan laitoksen sähkötekniikan laboratorio ja Savonlinnan Kuitulaboratorio sekä Elektroniikan 3K-tehdas. TKI-työtä tehdään painoalan koulutusohjelmissa ja laboratorioissa hankerahoituksella, jossa korostetaan yrityslähtöisyyttä ja tuloksellisuutta. Lisäksi laboratoriot tekevät yritysten tarpeiden mukaista tutkimusta erillisenä palvelutoimintana.

”Materiaalit ja ympäristöturvallisuus - strateginen kehittäminen” -hankkeella on vahvistettu Mamkin tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaa. Hanke kehittää alueen metsävarojen hyödyntämistä ja maaseutuelinkeinoja, alueen puutuoteteollisuutta ja teknologiateollisuutta sekä ympäristö- ja biomassaliiketoimintaa. Hanke tuo välillisesti lisäarvoa kehittämällä alueen luonnonvarojen kestävää käyttöä, parantamalla energia- ja materiaalitehokkuutta, edistämällä materiaali- ja jätteiden hyötykäyttöä, lisäämällä uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä sekä turvaamalla puhtaan elinympäristön.

Hanke mahdollistaa vuorovaikutteisuuden lisäämisen eri sidosryhmien kanssa. Hankkeella voidaan syventää kansallisia ja kansainvälisiä verkostoja sekä hyödyntää niitä rahoituslähteiden hankinnassa. Tällaisia verkostoja ovat esimerkiksi kansainväliset strategisen huippuosaamisen keskittymät eli SHOK:t ja rahoituslähteistä EU Horizon 2020 -rahoitukset. Tuomalla uutta kansainvälistä tutkimustietoa ja teknologiaa kansallisista ja kansainvälisistä verkostoista Etelä-Savon maakuntaan kehitetään myös alueen elinkeinoelämää. Tämän artikkeliteoksen toimittajat työskentelevät ”Materiaalit ja ympäristöturvallisuus - strateginen kehittäminen” -hankkeessa.

Tässä artikkeliteoksessa esitellään Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painoalan TKI-toimintaa. Artikkelit kuvaavat Energia- ja ympäristötekniikan ja Metsätalouden laitosten, Savonlinnan Kuitulaboratorion ja Elektroniikan 3K-tehtaan TKI-toimintaa.

Mamkin tutkimustoiminnassa ympäristöturvallisuudella tarkoitetaan luonnonvarojen kestävää käyttöä, yritystoiminnan kehittämistä ympäristöystävällisemmiksi ja puhtaan elinympäristön turvaamista. Mamk kehittää alueen palveluja ja prosesseja huomioiden ympäristö- ja terveysvaikutukset, mahdolliset ympäristöriskit sekä uuden ympäristötekniikan tuomat mahdollisuudet.

Painopisteinä tutkimuksessa ovat myös materiaalikierrätys, sivuainevirtojen hyötykäyttö, tuotekehitys ja jalostusasteen nosto. Ympäristöturvallisuuden tutkimus- ja kehittämistyössä otetaan huomioon toiminnan koko elinkaari ja vähähiilisyden edistäminen. Tutkimusta tehdään Mamkin ympäristölaboratorion testaus- ja tuotekehitysympäristössä.

Ympäristötekniikkaan liittyvä TKI-toiminta keskittyi vuonna 2015 öljyn ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien minimointiin, veden ja ilman monitorointiin, bioenergian tuotantoon ja uusiutuviin energiaratkaisuihin liittyvien teknologioiden kehittämiseen ja ekotehokkaiisiin ratkaisuihin vesienkäsittelyn ja sivuainevirtojen käsittelyn tiimoilta. TKI-toimintaa tehtiin myös ympäristöriskien hallinnan ja mittaus-, mallinnus- ja monitorointitekniikoiden osalta niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin.

Kansainvälisestikin merkittävä uusi avaus on Euroopan Unionin Horisontti 2020 –tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta ”Smart Ground - SMART data collection and inteGRation platform to enhance availability and accessibility of data and infORMation in the EU territory on SecoNDary Raw Materials” -hankkeelle saatu rahoitus. Smart Ground -hankkeen tavoitteena on parantaa tietoa kaatopaikoilla olevista sekundaarisista raaka-aineista ja edesauttaa niiden käyttöä luomalla Smart Ground -tietopankki.

Ympäristötekniikan TKI-toiminnasta on teokseen kirjoitettu artikkelit Teke-sin Green Growth – Tie kestävään talouteen -ohjelman rahoittamasta ”Smart Effluents – Uuden sukupolven jätevedenkäsittelyn ratkaisut vastaamaan vuoden 2050 vaatimuksia” -hankkeesta, Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamasta ”VIM – Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa” --hankkeesta, Etelä-Savon ELY-keskuksen Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamasta ”ÄLYKÖ – Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta” -hankkeesta, ja Suur-Savon Energiasäätön rahoittamasta ”Torrefioitujen biohiilipellettien laatu ja varastoitavuus” -hankkeesta.

Ympäristötekniikan hankkeita on yhdistänyt vahva TKI:n ja opetuksen integrointi sekä ympäristölaboratorioiden osallistuminen hanketoimintaan. Artikkeliteoksessa onkin esillä insinööriopinnäytetöinä (AMK) muun muassa tutkimus maatalouden ja teollisuuden sivutuotteiden soveltuvuudesta termofiliseen anaerobikäsittelyyn ja biopolttoaineiden tutkimukseen liittyvä artikkeli ”Biofuel quality control by portable xrf-analyser”. Lisäksi julkaisussa on aiheeltaan yleisempiä artikkeleita luomuvuikon paikallisesta toteutuksesta Mikkelissä, käytännönläheisestä TKI-toiminnasta, luonnonvesien laadun seurannasta joukkoistamalla ja Venäjän yrityskulttuurista.

Metsätalouden laitos esittää artikkeliteoksessa Metsätalouden vesiensuojeluun liittyviä menetelmiä, sovelluksia ja tuloksia. Lisäksi mukana on artikkeli yksityisteiden merkityksestä ympärivuotisessa puunhankinnassa ja maaseudun elinvoimaisuuden takaajana.

”Puun modifointi” -artikkelissa esitellään modifointimenetelmiä, jotka mahdollistavat pitkäaikaiskestävien, luonnonöljyillä ja -vahoilla käsiteltyjen puutuotteiden kustannustehokkaiden menetelmien kehittämisen ja valmistamisen. Puurakentamisen energiatehokkuutta käsittelevä artikkeli kertoo kiristyvistä energiatehokkuudesta. Puu materiaalina soveltuu hyvin tiukke-neviin määräyksiin, se on uusiutuva luonnonvara, sen jalostaminen tuotteeksi vie muita rakennustuotteita vähemmän energiaa, ja tuotannossa käytettävä energia on pitkälti bioenergiaa. Lisäksi puutuotteet voidaan kierrättää käytön jälkeen uusiksi tuotteiksi tai energiaksi.

Materiaalitekniikan soveltavan tutkimuksen yhtenä tavoitteena on edesauttaa uusien materiaalien ja menetelmien käyttöönottoa tuotannollisilla aloilla sekä tehostaa jo käytössä olevia valmistusmenetelmiä ja tekniikoita. Tuotantoon ja valmistukseen liittyvissä uusissa trendeissä digitaalisuus, 3D-tulostaminen ja vuorovaikutteisuus ovat saaneet merkittävästi huomiota niin koti- kuin ulko-maisessa viestinnässä jo muutamien vuosien ajan. Se, kuinka näiden menetelmien ja tekniikoiden avulla voidaan tehostaa erityisesti pienten ja keskisuurten yritysten toimintaa, on tärkeä kysymys, sillä ne näyttävät merkittävänä kilpailukyvyyn edellytyksinä, ja niiden voidaan ajatella tarjoavan uusia työka-luja perinteisten menetelmien rinnalle ja lisäksi.

Julkaisun materiaaliteknisissä artikkeleissa tuodaan esille 3D-tulostamiseen ja koneiden automaatiotason hallintaan liittyviä asioita. Kuinka 3D-tulostamista voidaan esimerkiksi soveltaa muovien ruiskuvalutekniikassa, ja minkälaisia mahdollisuuksia se tuo yksilöllisten tuotteiden valmistukseen. 3D-tulostaminen, tai materiaalia lisäävä valmistus, on täysin erityyppinen muodonantomenetelmä kuin perinteiset, materiaalin poistamiseen tai valamiseen perustuvat menetelmät. Lisäksi menetelmän eri teknologioissa hyödynnetään digitaalisen tiedonvälityksen mahdollisuuksia, joiden avulla valmistus on mahdollista hajauttaa sinne, missä se kulloinkin on tarkoituksenmukaisinta ja edullisinta. Näissä teknologioissa tuotteiden suunnittelu ja valmistuksen ohjaus perustuvat digitaaliseen tiedonvälitykseen ja luovaan, intuitiiviseen ajatteluun. Menetelmät ovat jo täysin massatuotantoon soveltuvia, ja niiden avulla käsiteltävien materiaalien valikoima kasvaa jatkuvasti.

Koneiden automaatiotason nosto on aina ollut konetekniikan keskeisiä tavoitteita. Digitaalisen tiedonvälityksen ja tiedonkäsittelymenetelmien kehityksen myötä koneista ja laitteista kerättävää tietoa voidaan entistä tehokkaammin hyödyntää niiden ohjaukseen ja seurantaan. Tiedon graafinen esittäminen ja esille tuominen ovat yhteiskunnan toimintatapojen muutoksen seurauksena

tulleet tärkeäksi osaksi toimintaa myös tuotannollisessa teollisuudessa. Julkaisun artikkelissa ”Teollinen Internet” käsitellään termin sisältöä ja sitä, miten siihen liittyvien ajatusten avulla valmistavan teollisuuden voidaan olettaa kehittyvän sekä kuinka kilpailukykyä voidaan sen avulla kehittää.

Materiaalien fysikaalisten ominaisuuksien tunteminen on eräs materiaali-tekniikan keskeisistä teemoista, ja siihen liittyvä testaustoiminta muodostaa merkittävän osan alan kehitystyöstä. Testaustoiminnan tehostamiseksi ja automatisoimiseksi tutkimusryhmässä on kehitetty konenäköä hyödyntävä sovellus erityisesti väsymisilmiöiden tarkastelemiseksi. Konenäköjärjestelmien laajempi käytettävyys on lisääntynyt merkittävästi laitteiden monipuolistuessa ja erilaisten sovellusten lisääntyessä, jolloin menetelmien käyttöönotto ei välttämättä edellytä samantyyppistä erityisosaamista kuin aikaisemmin.

Mamkissa on vuoden 2015 aikana merkittävästi panostettu taloteknisten energiaratkaisujen tutkimukseen, ja koulun laboratorioon ollaan rakentamassa uudet laboratoriotilat ja demonstraatioympäristöt, joiden avulla erilaisia taloteknisiä energiaratkaisuja voidaan testata hyvin käytännönläheisesti. Ilmanvaihtoon ja energian hallintaan liittyvät tutkimusympäristöt soveltuvat niin opetuksen, tutkimuksen kuin yritysten tuotekehityksen tarpeisiin. Artikkelisarjassa esitellään opetus- ja tutkimusinfrastruktuurin kehitystä ja tulevia mahdollisuuksia. Energian säästöön tähtäävillä ratkaisuilla edistetään niin ympäristön kuin ihmisten hyvinvointia, taloudellisuutta unohtamatta. Energiatohokkuuden parantamiseksi ja asumismukavuuden lisäämiseksi tähtääviä toimenpiteitä esitellään lisäksi ammattikorkeakoulun hallintorakennuksen lämpötilan hallintaa esittelevässä artikkelissa. Lisäksi artikkelisarjassa esitellään talotekniikan opetustoiminnassa kehitettyä opetuksen ja työelämän yhteistyötä lisäävää projektitoimiston konseptia, jonka tavoitteena on saattaa opiskelijat toimimaan läheisessä yhteistyössä työelämän kanssa ja tekemään talotekniikan uusia ratkaisuja tutuiksi niin opiskelijoille kuin yhteistyökumppaneille.

Savonlinnan Kuitulaboratorion tutkimuksessa yhdistyvät pitkäaikainen kokemus paperi- ja selluteollisuudesta sekä uusien bioprosessien hallintaan liittyvät sekoitus- ja mittausteknologiat. Savonlinnassa on tutkittu paperi- ja massaprosessien sekoitusprosesseja ja näihin liittyviä fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä jo useiden vuosien ajan, joiden aikana sekoitusteknologioista on kehittynyt yksi kuitulaboratorion toiminnan keihäänkärjistä. Tällä hetkellä kuitulaboratoriossa syvennyttään suurten teollisten prosessien nopeiden sekoitusilmiöiden tutkimukseen.

Sekoitustekniikoiden lisäksi Kuitulaboratorion toinen kivijalka muodostuu sellukuidun ympärille rakentuvaan vahvaan osaamiseen. Tällä hetkellä Savonlinnan Kuitulaboratorioon rakennetaan mikrokiteisen selluloosan lähes tuotantomittakaavainen tutkimusympäristö. Laitteisto mahdollistaa muun

muassa uuden Aalto-yliopiston AaltoCell™-menetelmän kehittämisen. Uudessa mikrokiteisen selluloosan valmistustekniikassa voidaan kyseistä tuotetta tuottaa aiempaa edullisemmin, mikä puolestaan laajentaa aineen käyttöä ja luo uusia mahdollisuuksia.

Metsäteollisuuden jätevesien lietteenkäsittelyissä suurimmat haasteet aiheutuvat biolietteiden suhteellisen osuuden kasvusta käsiteltävässä lietevirrassa. Vastavasti kuitujakeiden paremman talteenoton myötä primäärilietteen osuus on pienentynyt ja koostumus on huonontunut. Muutoksiin voidaan vastata valitsemalla oikeantyyppinen lietteenkäsittely ja erityisesti esikäsitteily. Kuitulaboratoriossa on lietteenkäsittelyyn liittyen tehty erilaisia selvityksiä erityisesti vedenpoiston parantamiseksi.

Veden- ja massankäsittelyn lisäksi kuitulaboratoriossa on selvitetty mikrofibrilloidun selluloosan soveltuvuutta painettavan elektroniikan alustaksi. Monia mahdollisuuksia tarjoava sovelluskohde selluloosan hyödyntämiseksi on erittäin haastava ja vaatii paljon lisäkehitystä. Artikkelissa ”In-line-pcc-mikrokuitukomposiitti painettavan elektroniikan alustaksi” kerrotaan selluloosan mahdollisuuksista painettavassa elektroniikassa.

Savonlinnassa sijaitseva Elektroniikan 3K-tehdas on elektroniikan valmistukseen ja testaukseen keskittyvä Mamkin yksikkö, joka toimii useiden yritysten ja tutkimuslaitosten yhteistyökumppanina. Tehtaan erikoisosaamiseen kuuluvat esimerkiksi pilotointivaiheessa olevien tuotteiden ja piensarjojen valmistus piirilevyjen osalta sekä röntgenlaitteilla kuvantaminen elektroniikan komponenttien vikatilojen selvittämiseksi. 3K-tehdas on ollut mukana kehittämässä lämmönmittaukseen liittyvää teknologiaa, ja artikkelisarjan julkaisussa esitellään lämpövuon mittaamiseen soveltuvan uudentyypin anturin kehitystyötä.



YMPÄRISTÖTURVALLISUUS

# SMART EFFLUENTS – UUDEN SUKUPOLVEN JÄTEVEDENKÄSITTELYN RATKAISUT VASTAAMAAN VUODEN 2050 VAATIMUKSIA

*Hanne Soininen & Heikki Särkkä & Sami Luste & Mika Sillanpää*

Tulevaisuuden jätevesiprosessien tulee olla sekä kustannuksiltaan että puhdistustehokkuudeltaan nykyisiä laitoksia tehokkaampia. Kasuvat materiaali- ja energiatehokkuuden vaatimukset sekä ympäristökysymykset on tunnistettava prosessissa aiempaakin paremmin. Smart Effluents -projektin tavoitteena on kehittää uusi kokonaisvaltainen jätevedenkäsittelyn puhdistusjärjestelmä tulevan sukupolven tarpeisiin. Julkisen tutkimushankkeen osioissa tutkitaan kokonaisvaltaisen jätevedenkäsittelyn menetelmiä, soveltuvuutta, tehokkuutta ja ekologisuutta. Yrityshankkeiden osioissa kehitetään uusia laitteistoja, menettelytapoja ja toimintakonsepteja kansainvälisille markkinoille. Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysryhmän muodostavat BioGTS Oy, Metsäsairila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Suomen Ekolannoite Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttavat Mikkelin ammattikorkeakoulu ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT:n Vihreän kemian laboratorio. Hanke saa rahoitusta Tekesin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.

## **Jätevedenkäsittelyn uudet teknologiat**

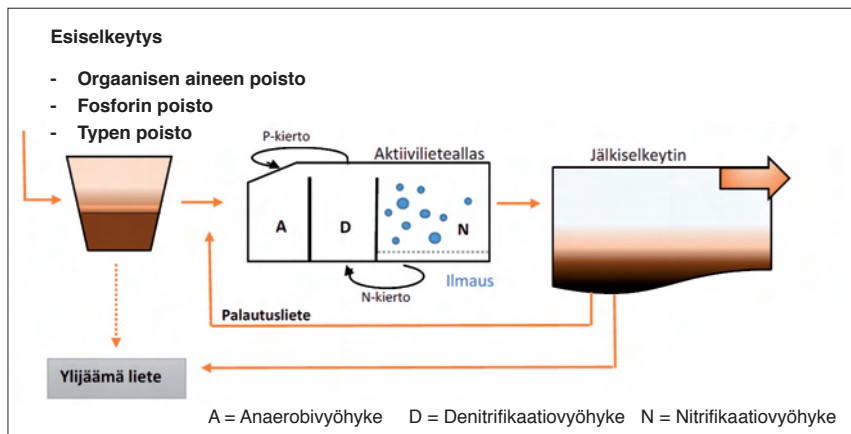
Erilaisista lähteistä olevien jätevesien käsittelyyn liittyvät prosessi- ja teknologiaratkaisut sekä valmiudet tunnistaa vedessä olevia haitta-aineita ovat kehittyneet viime vuosien aikana ratkaisevasti. Tämä on lisännyt jätevesilaitosten tulevaisuuden kehittymistarpeita, sillä tehokkuutta ja lopputuotteen laatua tulee lisätä. Tämän vuoksi jäteveden puhdistusprosessia tulee tarkastella ympäristönsä kanssa vuorovaikutuksessa olevana kokonaisuutena, jonka synergiaedut tunnistetaan ja osaprosessien optimointi suoritetaan niin, että sen vaikutukset koko ketjussa pystytään tunnistamaan, hallitsemaan ja monistamaan. Tämä mahdollistaa kokonaisprosessin tehostamisen valmiudet jäteveden puhdistukseen liittyville käytänteille. Smart Effluents -tutkimusprojekti

on monisyinen kokonaisuus tutkimusta, metodien luontia ja tuotekehitystä, jotka yhdessä vahvistavat vesienkäsittelytekniikkaan ja sen eri osatekijöihin liittyvän liiketoiminnan kehittymistä.

Jätevedenkäsittelyn kokonaisratkaisuja kehittämällä ja siten kiristyvän lainsäädännön asettamiin (veden)puhdistushaasteisiin vastaamalla voidaan tarjota ratkaisuja myös uusiutuviin luonnonvaroihin ja uusiin toimintamalleihin pohjaavan Suomen biotalousstrategian linjaamiin laajempiin kysymyksiin. Nämä kysymykset liittyvät mm. väestönkasvuun, luonnonvarojen ehtymiseen (ravinnefosfori, fossiiliset polttoaineet, kriittiset raaka-aineet) ja ilmastonmuutoksen aiheuttamiin globaaleihin haasteisiin (fossiilisten polttoaineiden ja mineraalilannoitteiden valmistus ja hyödynnys). Näihin voidaan vaikuttaa uusiutumattomien luonnonvarojen tehokkaammalla kierrätyksellä, biopohjaisten tuotteiden ja uusiutuvan energian hyödyntämisellä sekä tulevaisuuden elinolosuhteiden turvaamisella. Nämä teemat löytyvät myös jätevedenkäsittelyn osaprosesseista ja erityisesti niiden muodostaman kokonaisuuden kehittämisestä.

Siirtyminen informaatioteknologian aikakauteen ja sen mukanaan tuoma tarkastelukehys ja tieto nopeuttavat teknistä kehitystä, mutta samalla haastavat yhteiskuntaa löytämään uusia merkityksiä ja mahdollisuuksia toteuttaa tarvitsemiaan mekanismeja. Jäteveden puhdistamisen kohdalla tämä esimerkiksi tarkoittaa prosessin tehokkaamman hyödyntämisen tuomia uusia tuotteita, ansaintalogiikoita, energiaomavaraisuutta, tuotettuja palveluja ja oman yhteiskunnallisen vastuun tunnistamista mm. ilmasto- ja ympäristökysymyksissä.

Yleisin käytössä oleva jäteveden puhdistusmenetelmä on aktiivilieteprosessi (kuva 1), mutta se on mahdollista korvata esimerkiksi kantoaineiden käyttöön perustuvilla tekniikoilla tai kalvotekniikoilla. Yhä pienempien partikkelien ja



KUVA 1. Kuva perinteisestä yhdyskuntajäteveden käsittelyprosessista



molekyylien tunnistus on lisännyt epäpuhtauksien havaitsemista ja puhdistusvaatimusten kiristymistä, mutta myös antanut mahdollisuuden teknisesti tehokkaampien menetelmien kehitykseen ja käyttöön jätevedenkäsittelyssä. Tehokkaampia veden laatua parantavia menetelmiä ovat esimerkiksi erilaiset kalvopuhdistusmenetelmät.

Perinteinen biologinen typenpoisto kuluttaa ilmaistuksensa vuoksi paljon energiaa ja kemikaaleja, minkä vuoksi vaihtoehtoiset ammoniumtypen anaerobiseen hapettamiseen perustuvat menetelmät ovat kasvattaneet suosiotaan. Tällaiset prosessit ovat kustannustehokkaampia ja vaativat vähemmän tilaa, jolloin myös ympäristökuormitus pienenee. Myös biologisen fosforin- ja typenpoiston yhdistäminen on mahdollista uusilla anaerobisilla hapetusmalleilla hyödyntämällä.

Tulevaisuuden jätevedenpuhdistuksessa on entistä tärkeämpää päästä parempiin puhdistustuloksiin monien veden laatua seuraavien parametrien osalta. Varsinkin ravinteiden (fosforin ja typen), lääkeaineiden, hormonien sekä mikrobien osalta vesistöihin päästettävät raja-arvot laskevat tulevaisuudessa. Lisäksi uusien puhdistamoiden tilantarve tulee minimoida tapauskohtaisesti ja asianmukaisesti investointikulujen pienentämiseksi. Uusille puhdistustekniikoille ja niiden yhdistelmille on siis olemassa yhä suurempi tarve.

Kalvobioreaktori (MBR) on biologisen jätevedenpuhdistuksen kehittynyt muoto, jossa lietteen erotus puhdistetusta jätevedestä tapahtuu kalvosuodatuksella tavanomaisen selkeytyksen sijasta (Lee et al. 2012). Prosessialtaaseen upotettujen ultrasuodatuskalvojen (yleisimmin PVDF-onttokuituja) avulla jätevesi voidaan erotella tehokkaasti kahteen eri fraktioon (permeaatti eli suodos ja liete). Lietteen kuiva-ainepitoisuus on korkeampi kuin selkeytyksessä saadun lietteen, joten sen jatkokäyttö on taloudellisempaa ja helpompaa. Lähes kiintoaineeton vesi kalvobioreaktorista luo edellytykset mm. kustannustehokkaille tertiärisille jatkokäsittelyille, kuten UV LED -hapetukselle tai adsorptiolle. Muita MBR-tekniikan etuja aktiivilieteprosessiin verrattuna ovat mm. nopeampi puhdistusprosessin käynnistys ja operointi korkeammilla MLSS-pitoisuuksilla (DeCarolis et al. 2009).

### **Hankkeen merkitys uuden sukupolven jätevedenkäsittelyn ratkaisuihin**

Hankkeessa tehtävä tutkimus integroi sekä soveltavaa että alan perustutkimusta ja kulkee alan tämänhetkisen kehityksen kärjessä (kuva 2). Tulevaisuuden kiristyvät vaatimukset sekä puhdistus- että materiaalitehokkuuden suhteen ovatkin valmiiksi ”sisään kirjoitettuna” hankkeen tuottamissa ratkaisuihin ja malleissa. Hanke antaa hyvät mahdollisuudet luoda aivan uusia innovaatioita. Etelä-Savossa on vankka ympäristösektorin osaaminen, ja tämä osin kansainvälinen hanke palvelee myös ammattikorkeakoulun ja yliopiston tutkimuksen soveltamista yrityksissä sekä kaupallistamista.

Tutkimusosiossa on erityisen tärkeää tunnistaa sekä materiaalien (jätevesi, liete, puhdasvesi) ominaisuudet että ympäristöntarpeiden tekniikalle asettamat haasteet, joita kehittämällä ja monitoroimalla voidaan kokonaisprosessia synergiaetujen, innovaatioiden ja teknisen joustavuuden kautta tehostaa. Hanke tähtää koko jätevesiprosessin läpileikkaavaan tarkasteluun, jossa prosessin osakokonaisuuksien välisen keskustelun ja alan kärjessä olevan tutkimustiedon tuottamisen avulla kyetään sekä monipuolisesti tehokkaaseen jätevesien käsittelyyn että tuottamaan uuden sukupolven jätevedenkäsittelyn kustannustehokkuutta lisääviä palveluita (porttimaksut, yhteismädätys, vedenpuhdistus), ratkaisuja (tuotetun energian optimointi ja omakäyttö) ja jalostusasteiltaan korkeita lopputuotteita (tulevaisuuden haasteisiin vastaava jäteveden laatu, jalostetut ravinnetuotteet, jalostettu energia).

Hanke myös tutkii jätevedenpuhdistukseen yhä useammin sisältyvän biokaasuprosessin rakentamisvaihtoehtoja energiatehokkuuden näkökulmasta. Jätevedenpuhdistamon energiatehokkuus paranee, kun investoidaan energiantuotantoon yhteismädättämällä puhdistamolietettä yhdessä muiden saattavilla olevien ja mädätykseen soveltuvien orgaanisten materiaalien kanssa. Työkaluna käytetään simulointimalleja. Modernia mallinnusta voidaan käyttää sekä jätevedenpuhdistamon että biokaasuprosessin optimoinnissa ja erilaisten prosessivaihtoehtojen vertailussa. Energian hinnan noustessa myös jätevedenpuhdistuksessa pyritään optimoituihin ja jopa nollaenergiaratkaisuihin, joissa liete ja mahdolliset lisättävät biojakeet mädätetään energiaksi prosessiin. Näin myös vähennetään fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja siitä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä.

Mädätykseen liittyviä teknisiä ratkaisuja lähestytään materiaalien ominaisuuksien ja tulevaisuuteen liittyvien haasteiden näkökulmasta (skaalautuvuus, esikäsittelyvaatimukset). Koeosiossa tuotetaan tietoa sekä tutkimuksellisesti ajankohtaisen kuivamädätyksen soveltuvuudesta että sen integrointimahdollisuuksista märkämädätysyksikön toiminnan kanssa. Tämä mahdollistaa osakokonaisuuden skaalautuvuuden, moninaisemman palveluntarjonnan (lainsäädännön orgaanisten sivutuotteiden/jätteiden edellyttämä stabilointi/käsittely) ja jalostusasteiltaan moninaisempien lopputuotteiden tuottamisen



KUVA 2. Julkinen tutkimus tukee ja verkostoituu yrityksien kanssa rinnakkaiskokonaisuudessa

materiaaleista, jotka vielä useimmiten nykyään mielletään lähinnä jätteeksi. Hankkeessa etsitään myös keinoja vähentää vesijärjestelmien kasvihuonekaasupäästöjä.

Oikein prosessoituna lietettä voidaan hyödyntää orgaanisena lannoitteena maanviljelyksessä. Tähän luo painetta mineraalilannoitteiden kallistuminen ja fosforin väheneminen. Fosforia onkin tämän vuoden aikana (2014) ehdotettu lisättäväksi EU:n 14 kriittisen raaka-aineen listalle (2741/2008). Hankkeessa käytetään lähestymistapana uutta ns. kokonaisvaltaista lietteen hallintaa (Holistic Sludge Management), jossa pyritään lietteen määrän, ominaisuuksien ja jatkokäytön optimointiin sen syntyhetkestä lähtien. Tarkastelutavan mukaan hankkeessa kartoitetaan paikallisesti paras käsittelyketju lietteen hyödyntämiseksi. Keskeistä ravinnerikkaiden johdannaisuotteiden jalostuksessa on ravinnepotentiaalin säilyttäminen siten, että esimerkiksi nestefaasissa olevan ammoniumtyypen haihtuminen ammoniakkinä ei hävitä ravinteena arvokasta tyyppiä (Pell Frischmann 2012).

### **Projektin tuloksista uutta osaamista yrityksille**

Hankekokonaisuus on lähtenyt liikkeelle yrityskentän tarpeista kehittää jätevedenpuhdistusta uudelle kestäväen kehityksen mukaiselle tasolle. Hankekokoisuuden painopiste on tutkia ja etsiä uusia kokonaisvaltaisia jätevedenpuhdistusprosessin ratkaisuja vastaamaan vuoden 2050 vaatimuksia. Projektissa keskitytään jätevedenpuhdistusprosessin tehostamiseen ja kokonaisvaltaiseen hallintaan eri työkaluilla, muun muassa malleilla. Tärkeä osa tutkimusta on MBR-prosessissa muodostuvan lietteen käsittely. Lietteen käsittelyn tutkimusta on tarkoitus tehdä niin kemiallisia kuin biologisia menetelmiä apuna käyttäen. Prosessista tutkitaan haitta-aineiden, lääkejäämien ja mikropollutanttien vaikutusta arvoketjun eri lopputuotteisiin. Mallinnusta toteutetaan koko arvoketjun yli liete mukaan lukien. Myös teknistaloudellista kustannustarkastelua tehdään, jotta löydetään energiatehokkaita ja uutuusarvoltaan korkeita, edistyneitä teknologisia ratkaisuja. Tutkimuksessa keskitytään ja luodaan kilpailukykyä tulevaisuuden markkinoille. Tutkimus tuo uutta tietoa, ja sen tulokset ovat monistettavissa niin kunnalliselle kuin teollisuuden sektoreille. Tutkimus luo mahdollisuuksia kv-kasvulle ja antaa uutta osaamista vientiteollisuudelle.

Jätevedenkäsittelyn state-of-art-tilaan liittyy yhä tarkempi tieto vedessä olevista epäpuhtauksista ja myös tehokkaampien puhdistusmenetelmien kehittäminen, kuten MBR-tekniikka ja erilaiset esi- ja jälkikäsittelytekniikat. Näiden tekniikoiden soveltuminen yhteen kokonaisuuden kanssa sekä vaikutus lisäarvon tuottamiseen ja biotalouden optimaaliseen edistämiseen käytännössä on kuitenkin vielä tutkimatta. Tarkoitus onkin selvittää jätevesiprosessikokonaisuudessa tehtävien ratkaisujen yhteisvaikutukset kiertotalouden edistämiseen siten, että sivu- ja lopputuotteiden jalostusarvo pystytään pitämään korkeana.

Lisäksi kokonaisuutta voidaan säätää toimintaympäristön tarpeiden ja markkinoiden suhteen.

Projektin ratkaisut tehostavat kansallisen biotalouden edistämistä sekä lisäävät valmiuksia kilpailla kansainvälisessä osaamisessa liittyen muun muassa mittaukseen, tiedon hyödynnykseen, jätevedenpuhdistusratkaisujen kokonaisvaltaiseen suunnitteluun ja kehittyneiden tekniikkasäältäjen valmistamiseen. Toimivan kokonaisratkaisun ongelma-kohtien tunnistaminen ja adaptoituvien ratkaisujen kehittäminen lisäävät kansallista omavaraisuutta, resurssitehokkuutta ja ympäristöturvallisuutta sekä mahdollistavat ratkaisujen kansainvälisen viennin. Erityisen mielenkiintoisen alueen lietteiden osalta muodostavat kansainväliset markkinat. Tulevaisuuden kiertotaloudessa ruoantuotannon tulisi täysin hyödyntää ihmisen ja karjan ulosteiden sisältämiä ravinteita. Tämä edellyttää tehokkaampaa suunnittelua ja yhdyskuntarakenteiden rajapintojen mukautumista energian ja ravinteidenvaihdon tehokkuuden välillä. Ottamalla ravinteet talteen kaupunkialueiden kehittyneissä jätevedenpuhdistusprosesseissa voidaan paitsi tehostaa materiaalitehokkuutta, myös vähentää kaupunkiekosysteemiin kohdistuvaa painetta. Prosessien integrointi synergiaetujen, joustavuuden ja skaalautuvuuden lisäämiseksi mahdollistavat jäteveden puhdistuksen tulevaisuuden haasteisiin vastaamisen. Tarjolla olevien ja luotavien mallien sekä teknisten edistysaskeleiden lisäksi tarvitaan yhä tarkempaa kokonaisuuden spesifistä suunnittelua paikallisten synergia-alueiden tunnistamiseksi.

Projektista hyötyvät jätevedenpuhdistustekniikkaa kehittävät ja käyttävät yritykset. Hankekokonaisuus edistää yritysten osaamisen kasvua cleantechiin liittyen ja lisää yhteistyötä yritysten ja tutkimusorganisaatioiden kesken kehittämällä uuden sukupolven jätevedenkäsittelyn ratkaisuja. Lisäksi yritysten tutkimushankkeet edistävät kansainvälisen kilpailukykyyn kasvua, ja hankkeeseen osallistuvilla yrityksillä on mahdollisuus löytää uusia markkinoita tuotteilleen.

## LÄHTEET

DeCarolis, J.F., Hirani, Z.M. and Adham, S. 2009. Evaluation of Newly Developed Membrane Bioreactor Systems for Water Reclamation, Final Report. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Colorado, USA.

Lee, E., Kim, K., Lee, Y., Nam, J., Lee, Y., Kim, H. and Jang, A. 2012. A study on the high-flux MBR system using PTFE flat sheet membranes with chemical backwashing. *Desalination*, 306, pp. 35–40.

Pell Frischmann Consultants Ltd. 2012. Enhancement and treatment of digestates from anaerobic digestion. A review of enhancement techniques, processing options and novel digestate products.

# INNOVAATIOT NOPEAMMIN MARKKINOILLE KÄYTÄNNÖN- LÄHEISEN TKI-TOIMINNAN AVULLA

*Anne-Marie Tuomala*

Suomen Tiede- ja teknologianeuvoston linjauksen mukaan taloutta, työllisyyttä ja hyvinvointia parantavien, tutkimus- ja innovaatiotoiminnasta saatavien hyötyjen realisoiminen edellyttää monipuolista ja uudistumiskykyistä yrityssektoria ja sitä, että Suomessa on jatkossakin merkittävässä määrin tuotannollista toimintaa. Samanlainen näkökulma sisältyy myös Euroopan yhteisöjen linjauksissa työllisyyden ja kilpailukykyyn parantamiseksi.

## **Johdanto**

EU-alueen talouskasvu ja kilpailukyky eivät ole viime vuosina merkittävästi kohentuneet. Esimerkiksi etumatkaa USA:han ei ole näissä suhteissa sen paremmin kuin T&K-toiminnan tasossa ja tuloksellisuudessa onnistuttu kuromaan. EU ei ole myöskään riittävän houkutteleva ulkomaisten osaajien ja investointien näkökulmasta. Vaikka Suomi pärjäsi taloudellisessa kehityksessään pitkään eurooppalaisittain hyvin, arvioitiin puutteiksi jo silloin innovaatioiden kaupallistamisen heikkous suhteessa teknologiapanostuksiin ja teknologian tasoon, korkea verotustaso ja vähäinen ulkomaisten investointien määrä. Suomessa on myös edelleen suuria alueellisia eroja verrattuna moniin kehittyneisiin EU-maiden talouksiin.

Kuitenkin maakunnissa toimii menestyviä uusia ja vanhoja yrityksiä, joiden liikevaihto ja tulos ovat kehittyneet myönteisesti jopa taloudellisesti ankeina aikoina. Tilanteessa, jossa suomalainen ja EU:nkin valta-ajattelu korostaa edelleen teknologian tason merkittävyyttä – yleensä kaupallistamisen kustannuksella – on maakunnissa alueviranomaisten, korkeakoulujen ja välittäjäorganisaatioiden nopea tavoite saada kurottua muiden alueiden ja maiden korkean osaamisen ja teknologista kilpailuetua umpeen lähes toivoton tehtävä. Siksi heikosti innovoivilla alueilla olisi innovaatiotoiminnan infrastruktuurin parantamisen ohella pyrittävä kilpailemaan omista lähtökohdista ja omilla vahvuuksillaan, joita voi olla esim. innovaatioiden sovellukset ja kaupallinen toteutus. Vaikeutena on ollut, että julkisen hallinnon toimijoilla on yleensä

vähän yritystason tietoa käytettävissään. Tiedon saaminen edellyttää viranomaisten, tutkijoiden ja välittäjäorganisaatioiden nykyistä parempaa jalkautumista yrityksiin ja tiiviimpää yhteistyötä.

### **Enemmän puhtia innovaatioiden kaupallistamiseen ja käytännönläheiseen TKI-toimintaan**

Julkisten tukien tehokkuuden ja markkinoiden häiriöttömän toiminnan näkökulmasta ei ole kuitenkaan perusteltua, että esimerkiksi julkisella rahoituksella puututaan kaikkiin yrityksen innovaatioprosessin vaiheisiin, esimerkiksi yritysten rahoittamiseen ja neuvontaan siemen- ja käynnistämisvaiheesta kasvuun asti. On kyettävä entistä tarkemmin rajaamaan julkiset toimet kohteisiin, joissa on markkinapuutteita ja joissa julkisten organisaatioiden omissa toimissa on päällekkäisyyksiä. On todennäköistä, että esimerkiksi teollisuuden alojen välillä on eroja. Tämä ei tee asiaa helpoksi ja alkuun pääseminen on vaikeaa, jos ei ole tiedossa millainen innovaatioprosessi on yrityksen sisältä käsin tarkasteltuna.

Suomessa tiede-, teknologia- ja innovaatiopolitiikkaa on harjoitettu lähes saman perusorganisaation Tekesin toimesta jo parin vuosikymmenen ajan. Ammattikorkeakoulujen perustaminen 1990-luvun alussa ja niiden vakinaistaminen vuonna 2000 on ollut erittäin tärkeä toimi innovaatioympäristön ja -palvelujen kehittämisessä ja nykyaikaistamisessa. Samalla kuitenkin Suomen Akatemian, Tekesin, yliopistojen ja tutkimuslaitosten merkitys koko innovaatiojärjestelmän toiminnassa on jatkuvasti kasvanut. Ammattikorkeakouluilla on kyky vastata ajan haasteisiin, sekä joustaa ja uudistua tiiviiden yrityssuhteiden ja elinkeinoelämän tarpeiden tuntemuksensa ansiosta.

Mikkelin ammattikorkeakoulun Energia- ja ympäristötekniikan laitoksella toteutetaan yrityslähtöistä innovaatioiden kehittämistoimintaa TKI-toiminnan sekä opetuksen avulla. Ympäristölaboratoriossa voidaan suorittaa yrityksen tilauksesta analyysejä. Ympäristöalan opetuksessa TKI-toimintaa integroidaan yhä enemmän opetukseen, ja lisäksi opiskelijat toteuttavat aktiivisesti monialaisia projekteja hakien uusia ideoita uusien innovaatioiden siemeniksi yritysten toimeksiannosta.

Jokainen uusi yritys on itsessään innovaatio. Se on perustettu pärjäämään markkinoilla kilpailijoihinsa nähden. Lisäksi jokaista ”vanhaa” yritystä tulee pitää innovatiivisena, jos se toimii voitollisesti ja on siten menestynyt kilpailussa. Niinpä lähtökohtaisesti kaikkien yritysten innovaatiotoimintaa voidaan ja on syytäkin parantaa. Kaikista yrityksistä on myös mahdollista löytää teknologiaelementti, jos niin halutaan. Voidaankin todeta, että yritys on innovatiivinen, kun sillä on kyky ja halu uudistua. eli tärkeintä on halu vaikuttaa omaan kehittymiseensä.

Jo kymmenen vuotta sitten tein tutkimuksen 11:stä yli 10 vuotta toimineesta teollisesta pk-yrityksestä. Tutkimuksessa innovaatio määriteltiin paremmaksi tavaksi tehdä liiketoimintaa (better ways of doing business). Innovaatiot ryhmiteltiin tuotesidonnaisten innovaatioiden ja muiden innovaatioiden pääryhmiin. Lisäksi tuotesidonnaiset innovaatiot luokiteltiin viiteen alaryhmään ja muut innovaatiot kolmeen alaryhmään. Tutkimuksen lähtökohtana oli testata, voidaanko yrityksistä löytää ainakin pääosa R. Rothwellin ns. 5G-mallin 24 innovaatiotekijästä. Tutkimuksessa selvitettiin myös innovaatioiden yhteyttä rahoitukseen, henkilöstön kehittämiseen, yrityksen omaan strategiaan ja kilpailukykyyn.

Enemmistöllä haastatelluista yrityksistä liikevaihto oli kehittynyt suotuisasti. Ne ovat siis toimineet vähintäänkin kaupallisesti innovatiivisesti. Yhtä lukuun ottamatta kaikki muut arvioivat, että heillä on sekä kaupallisia että teknologisia innovaatioita. Teknologisia innovaatioita ei kuitenkaan välttämättä haettu patenteiksi, vaikka joissain tapauksissa se olisi saattanut olla mahdollista. Moni pitempään markkinoilla pärjännyt näyttää pystyneen pitämään innovaatiokyvykkyytensä vähintäänkin kohtuullisena.

Tulosten perusteella havaittiin myös, että kaikki yritykset panostivat sekä tuoteinnovaatioihin että ns. muihin innovaatioihin, joita olivat esimerkiksi uudet markkina-alueet, uudet jakelujärjestelmät, uudet markkinointikanavat, uudet liiketoimintaprosessit jne. Keskinäisessä vertailussa parhaiten menestyivät liikevaihdon ja tuloksen kannalta yritykset, jotka käyttivät asiakaspalautetta hyväkseen, joilla asiakkaat osallistuivat innovaatioiden kehitysohjelmiin, ja yritykset, joilla oli selvä strategia (ei välttämättä kirjallisessa muodossa). Innovatiivisuuden tulisi siis myös olla osa yrityksen strategiaa. Yhdelle yritykselle strategisena tavoitteena riittää itsensä uudistaminen, toinen uudistaa markkinointia, kolmas käynnistää uuden alan – asia riippuu kilpailutilanteesta.

Tein puhelinkyselyn samoihin yrityksiin kesällä 2014 ja tavoitin kahdeksan yritystä. Asiat olivat innovaatioasioissa kutakuinkin ennallaan, mutta uusia vaatimuksia on tullut erityisesti ympäristömyötäisyyden osalta. Kilpailussa ei pärjää ellei ympäristövaikutuksia ota huomioon ja ota asiaa osaksi kehittämisprosesseja organisaation kaikilla tasoilla.

## **Loppusanat**

Yrityksen innovaatio toiminta on menestyksekkästä, jos se pystyy sopeutumaan markkinoiden vaatimuksiin. Menestyvät yritykset hyödyntävät yleensä asiakailtaan saamaa tietoa kehitystyössään. Tähän saakka innovaatiokyky ja tuloksellisuuden arviointi ovat perustuneet sellaisiin määrällisiin indikaattoreihin kuten patenteihin, tutkimus- ja kehitysinvestointeihin tai korkean teknologian tuotteiden vientiosuuteen. Järjestelmä olisi parempi, jos luokittelujen avulla voitaisiin määritellä se osuus yrityksistä (iän, toimialan, maan tai muun



muuttujan mukaan), joka tuo markkinoille uusia innovaatioita. Kun innovaatio on saatu markkinoille, on se läpäissyt kaupallistamisen vaiheet, jotka yleensä tuottavat yritykselle enemmän päänvaivaa kuin tuotekehitys. Uutena vaateena on pystyä tekemään ympäristömyönteisiä palveluja ja tuotteita.

Innovaatiotoimintaa kehitettäessä julkisen sektorin tuella tulisi julkisen sektorin tuntea se ruohonjuuritason yritys, josta pärjääminen kansainvälisessä kilpailussa saa alkunsa, eli kehittäjän tulisi tuntea se yksikkö, jota haluaa kehittää. Kehittäjäorganisaatiot tarvitsevat paljon nykyistä enemmän tietoa innovaatioprosessista yritystasolla. TKI-toiminnan arvostusta tulisi siirtää yritystason toimintaan sen sijaan, että edelleen keskitytään alueellisten ja kansallisten järjestelmien luomiseen perustamalla lisää rakenteita. Nykyisten järjestelmien parempi yhteensovittaminen ja jalkauttaminen toisivat nopeammin tuloksia ja hyötyä yrityksille. Julkisen rahoituksen innovaatioiden kehittämistoiminnan panos-tuotos -suhdetta tulisi arvioida syvällisemmin ja siirtää siinäkin huomio yrityksen taloudellisessa kilpailukyvyssä tapahtuvaan edistymiseen.

Tarvitaan myös ajattelumallinen muutos, jossa siirrytään mahdollisuuksien tunnistamiseen ja ongelmien tunnistamiseen sekä kaikilla innovaatiotoiminnan kehittämisen tasoilla innovatiivisuuden laajentamiseen teknologiasta tuotteisiin ja palveluihin, toimintatapoihin ja liiketoimintakonsepteihin.

## LÄHTEET

Bommer, M. & Jalajas, D. (2004), Innovation Sources of Large and Small Technology-Based Firms, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51, 1, 13–19.

Cavin, R.K. and Zhirnov, V.V. (2004), Is it time to re-tool the business model? Managing for innovation, *Solid State Technology*, 4, 83–84.

Hii, H-H. (2004), On why some firms are more innovative than others: a firm-level study of heterogeneity in innovation performance, *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 4, 2–3, 159.

Hobday, M. (2005). Firm-level Innovation Models: Perspectives on Research in Developed and Developing Countries, *Technology Analysis & Strategic Management*. Vol. 17, No. 2, 121–146, June 2005.

Lehtonen, T. (2004), Theoretical Integration of Strategy and Innovation process, Innovation Management Institute, Working Paper 32, Helsinki University of Technology: Helsinki, Finland.

Meulenbergh, T.G. and Verbees, F.J.H.M (2004). Market Orientation, Innovativeness, Product Innovation, and Performance in Small Firms, *Journal of Small Business Management*, 42, 2, 134–154.

Ministry of Education (2006). Research in Finland. Committee for Public Information. Helsinki.

Moore, G. A. (2004). Innovating Within Established Enterprises, *Harvard Business Review*, April, 86–92.

Palmberg, C. (2001). Sectoral patterns of innovation and competence requirements – A closer look at low-tech industries, *Sitra Reports Series 8*, Sitra: Helsinki, Finland.

Rothwell, R. (1996). *The Handbook of Industrial Innovation*, Hartnolls Ltd: Bodmin, Cornwall.

Rothwell, R. (2002). Towards the Fifth-generation Innovation Process, in J. Henry and D. Mayle (eds), *Managing Innovation and Change*, 2nd Edition, Sage Publications: Guildford.

Rothwell, R. and Gardiner, P. (1985). Invention, innovation, re-innovation and the role of the user: A case study of British hovercraft development, *Technology*, 3, 167–186.

Salmi, Anne-Marie (2005). A Micro Study of the Importance of Innovation in Manufacturing SMEs in the Päijät-Häme region, 2002–2005. University of Wales. Master of Business Administration Dissertation: Swansea/Lahti.

Valtion tiede- ja teknologianeuvosto (2003). Osaaminen, innovaatiot ja kansainvälistyminen. Helsinki.

Valtion tiede- ja teknologianeuvosto (2006). Tiede, teknologia, innovaatiot. Helsinki.

# OPISKELIJAPROJEKTINA LUOMUVIIKKO MIKKELISSÄ

*Virve Hyyryläinen & Mari Järvenmäki & Krista Manninen &  
Roosa Pyykkö & Salla Thil*

Perinteistä valtakunnallista Luomuviikkoa ei järjestetty vuonna 2015, ja niin päätettiin tehdä paikallinen toteutus Mikkelissä. Tapahtumaa järjestämään lähtivät innolla Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristötekniologian opiskelijat Virve Hyyryläinen, Krista Manninen, Salla Thil ja Roosa Pyykkö ohjaavana lehtorina Mari Järvenmäki. Tapahtuma sai alkunsa, kun opiskelijat hakivat mukaan luomuaiheisen projektin suunnitteluun ja järjestämiseen Mikkelin ammattikorkeakoulun niin kutsutun ”Tekniikan toukokuun” puitteissa. Tekniikan toukokuun erilaiset projektit tarjoavat opiskelijoille mahdollisuuden päästä harjoittelemaan työelämän taitoja käytännössä. Opiskelijat saavat hakea itse haluamiinsa tehtäviin, ja niinpä tähänkin luomuaiheiseen tehtävään päätyi neljä luomusta kiinnostunutta opiskelijaa eri vuosikursseilta. Projektin tehtävänantona oli järjestää Luomuviikko, jonka toteuttamiseen annettiin vapaat kädet. Viikon ajankohdaksi valikoitui syys-lokakuun vaihe, jolloin se mukailisi aikaisempien Luomuviikkojen ajankohtaa ja sopisi hyvin sadonkorjuun aikaan.

## **Tavoitteen asettelulla alkuun**

Projektin toteutus alkoi suunnittelusta, tavoitteiden asettamisesta ja aikataulun laatimisesta. Monien vaihtoehtojen jälkeen Luomuviikon tavoitteeksi asetettiin luomutuotteiden näkyvyyden lisääminen kaupoissa ja ravintoloissa, ja siten kuluttajien tutustuttaminen luomuelintarvikkeisiin. Näkökulma valikoitui, sillä opiskelijat kokivat, että luomu käsitteenä ei ole valitettavasti vieläkään kaikille kuluttajille tuttu. Haluttiin viestiä siitä, mitä luomu on ja mistä kaikkialta sitä voi Mikkelistä löytää.



KUVA 1. Opiskelijat Tuorepuodissa viemässä Mia Taivalantille Luomuviikon julistetta (kuva Krista Manninen)

Suunnitteluvaiheessa päätettiin myös mahdollisuuksien mukaan pitää yhtenä päivänä ”luomuinfoa” jossain keskeisellä paikalla, jolloin kuluttajat voisivat saada konkreettista tietoa luomusta ja kysyä mahdollisesti mieltä askarruttavia kysymyksiä. Koska projektiin toteuttamiseen ei ollut käytettävissä erillistä rahoitusta, jouduttiin ideoimaan ja käyttämään luovuutta toteutuksissa. Markkinoinnissa päätettiin hyödyntää Mikkelin ammattikorkeakoulun oman markkinointihenkilökunnan osaamista sekä sosiaalista mediaa, lähinnä Facebookia.

Kevään aikana ideoitiin erilaisia tapoja nostaa luomua esille, ja kyseltiin alustavasti luomua myyvilta yrityksiltä kiinnostuksesta lähteä mukaan viikon toteutukseen. Monet päivittäistavarakaupat, ravintolat ja kahvilat olivatkin mielen-



KUVA 2. Mukaan lähteneet yritykset ja yhteistyökumppanit

kiinnolla mukana alusta asti, ja opiskelijat tapasivat monia yritysten edustajia suunnittelupalaverien merkeissä. Toteutustapoja ja -vaihtoehtoja mietittiin yhdessä yrityskohtaisesti, sillä mukana oli hyvin eri kokoluokan toimijoita. Kesän aikana lista yhteistyökumppaneista kasvoi ja valmistui, ja lopulta toteutukseen lähti mukaan yli 20 eri toimijaa ja organisaatiota Mikkelin alueelta.

### **Kumppanien hankinta**

Aluksi lähdettiin kartoittamaan ja etsimään luomutuottajia ja -jatkojalostajia Mikkelin lähialueelta ja lähestyttiin heitä sähköpostilla ja soittamalla. Tämä vaihe osoittautui hyvin työlääksi ja paljon aikaa vieväksi. Toimijoilla oli periaatteessa kiinnostusta asiaan, mutta erilaisista syistä johtuen monet kysytyistä yrityksistä eivät lähteneet mukaan. Onneksi kuitenkin moni lähti (kuvat 1 ja 2).

Mukaan lähteneiden toimijoiden erilaisista resursseista johtuen viikko päätettiin toteuttaa yhteistyökumppaneiden omilla ehdoilla. Kaupat, ravintolat ja kahvilat saivat siis itse päättää, miten tuovat luomutuotteita enemmän esille liikkeissään. Monet ravintolat ilmoittivatkin laativansa luomumenuun ja marketit kokoavansa luomutuotteet näkyvästi yhteen. Esimerkiksi Mikkelin Ammattikorkeakoulun kasarmialueella toimivat ravintolat lähtivät Luomuviikkoon innolla mukaan. Ravintola Talli, Kasarmina ja ravintola Dexi kuuluivat Portaat Luomuun -ohjelmaan jo entuudestaan, joten heidän oli helppo lisätä luomutuotteiden käyttöä viikon ajaksi. Kasarmin ravintoloissa myös lisättiin asiakkaille viestintää luomutuotteiden käytöstä ja merkittiin näkyvästi tarjolla olleet luomutuotteet (kuva 3).



KUVA 3. Linjastossa näkyi luomu (kuva Mari Järvenmäki)

Lisäksi suunnittelujen alkuvaiheilla saatiin yhteydenotto Luomuinstituutista, jolla on meneillään ”Luomun jalkauttamis -hanke”. Siinä tarkoituksena on jalkauttaa luomu Etelä-Savossa keskittyen luomuyritysten kilpailukykyyn, luomuliiketoimintaan ja luomuelintarvikeyrittäjyyteen, ja näin ollen he halusivat tehdä yhteistyötä opiskelijoiden kanssa Luomuviikolla samankaltaisten tavoitteiden takia. Luomuinstituutin jo olemassa olevien kontaktien ansiosta Luomuviikko laajentui koskemaan entistä suurempia ihmisryhmiä ja yrityksiä.



KUVA 4. Mikkelin Luomuviikon 28.9.–4.10.2015 logo

### **Luomuviikon markkinointi – miten näkyvyyttä halvalla**

Loppukesästä alkoi markkinointimateriaalien visualisointi ja kokoaminen. Graafinen suunnittelija Maria Miettinen Mamkin viestintä- ja markkinointipalveluista loi viikolle oman logon, erilaisia Internetiin laitettavia formaatteja sekä kaiken kattavan julisteen opiskelijoiden toiveiden ja suunnitelmien pohjalta. Näin saatiin oma logo (kuva 4) tapahtumalle ja yhtenäinen graafinen ilme (kuva 5).

Yhteistyökumppaneilta saadut yritysten logot laitettiin esille markkinointimateriaaleihin. Kaikki markkinointimateriaali lähetettiin yhteistyökumppaneiden käyttöön heidän omaa markkinointiaan varten. Lisäksi opiskelijat kävivät vielä henkilökohtaisesti viemässä julisteet jokaiselle yhteistyökumppanille esille laitettavaksi.

Hyvissä ajoin ennen Luomuviikkoa monien mikkeliäisten ravintoloiden sekä kauppakeskus Stellan aulan mainostauluilla alkoikin pyöriä Luomuviikon mainos. Myös kampuksen mainos- ja ilmoitustaulut käytettiin hyödyksi mainonnassa, tavoitettiinhan siellä jopa yli 4000 opiskelijaa ja useita satoja henkilökunnan edustajia.



KUVA 5. Yleinen tapahtumasta tiedottava juliste

Lisäksi tehtiin Facebookiin Luomuviikolle oma tapahtumasivu, jolla tietoa tapahtumasta voitiin levittää helposti sekä mikkeliläisille että muillekin lähi-alueen asukkaille. Sivulla kerrottiin, mitä Luomuviikon aikana on ohjelmassa ja mistä luomua voi löytää. Yhteistyökumppanit ottivat tapahtumasivun hyvin käyttöönsä ja päivittivät sinne myös itse, miten Luomuviikko näkyy juuri heillä (kuva 6). Lisäksi tapahtumasivua jaettiin laajasti niin opiskelijoiden, yritysten kuin monien organisaatioidenkin toimesta ja se sai jopa valtakunnallista näkyvyyttä mm. Pro Luomun ja Luomuliiton sivuilla. Suosio ja näkyvyyden runsaus yllätti ja ylitti opiskelijoiden odotukset. Luomuinstituutin kanssa tehtävän yhteistyön myötä aukesi myös uusia markkinointikanavia, ja esimerkiksi Radio Mikkelin kanavalla pyöri Luomuviikon mainos.



Tapahtumaviikon lähestyessä tieto tulevasta Luomuviikosta oli saavuttanut monet ja saimmekin vielä viime hetkillä yhteydenottoja muutamilta yrityksiltä, jotka ilmaisivat halukkuutensa osallistua toteutukseen. Joidenkin yhteistyökumppanien kanssa käytiin vielä loppumetreillä suunnittelemassa viikon toteutusta, ja esimerkiksi S-market Stellan kanssa sovittiin marketissa pidettävästä luomuinformaatiotilaisuudesta.

**MAMK  
Luomu  
VIKKO  
28.9. - 4.10.2015**

## Bongaa luomu

**MA 28.9 VAVESAARI tuote-esittely klo 10-17**

**KE 30.9 LUOMULOUNAS palvelutorilta  
klo 10.30-14 sekä MAMK:n Ympäristö-  
tekniikan opiskelijoiden luomuinfo**

**TO 1.10 LUOMUKAALI tuote-esittely klo 10-17  
viljelijä Antti Vauhkonen, Haukivuori**

**PE 2.10 Moilas-leipomon LUOMURUISLEIPÄ  
maistatus klo 10-17**

**Mikkelistä  
MARKET**

KUVA 6. Kumppanit viestivät näyttävästi omista tapahtumistaan sanomalehdissä ja toimipaikoissa

## Tapahtui Luomuviikolla

Luomuviikon aikana luomu oli näkyvästi esillä Mikkelistä ja viikko sujui hienosti. Ravintolat suunnittelivat ruokalistoilleen luomuannoksia ja kaupat toivat luomutuotteet entistä paremmin esille liikkeissään ja mainonnassaan. Monien markettien sisäänkäynneillä oli luomuviikon mainos, ja luomuelintarvikkeet oli joko merkitty näkyvästi tai koottu yhteen pöytään esille. Osa yhteistyökumppaneista toi esille Luomuviikon tarjontaa omilla sivuillaan tai omilla sosiaalisen median kanavillaan.

Opiskelijat järjestivät viikon aikana muun muassa Mikkelin keskustan S-marketissa pienen luomuinfortapahtuman (kuva 7), jossa asiakkaat pääsivät kyselemään ja tutustumaan luomutuotteiden sekä tavanomaisesti tuotettujen elintarvikkeiden eroavaisuuksiin. Mukana oli pieni leikkimielinen Pro Luomun laatima luomutietovisa, jolla saikin hyvin kiinnitettyä ohikulkijoiden huomion luomutietouteen. Tietovisan äärellä oli hyvä hetki keskustella luomusta ja saattoivatpa opiskelijat jopa hieman auttaa vastauksissakin. Tietovisaan osallistujien kesken arvottiin S-market Stellan kokoama luomuelintarvikkori, jonka eräs onnellinen asiakas päivän päätteeksi voitti. Infotilaisuuden aikana opiskelijat jakoivat luomusta kertovaa materiaalia, ja infotilaisuudelle asetetut tavoitteet täyttyivät odotetusti.



KUVA 7. Stellan S-Marketissa luomuinfoa pitämässä (kuva Krista Manninen)

### Mitä hyötyä tästä oli?

Kaiken kaikkiaan Luomuviikko onnistui yli odotusten ja niin opiskelijat kuin mukana olleet yrityksetkin olivat tyytyväisiä. Yritykset pystyivät tuomaan esille omia luomutuotteitaan ja tarjontaansa. Konkreettista hyötyäkin tuli; esimerkiksi S-market Stellassa koettiin, että luomutuotteita meni viikon aikana enemmän kuin normaalista. Lisäksi kuluttajat saivat tietoa luomusta ja tutustuivat paikallisiin luomutuottajiin ja heidän tuotteidensa tarjoajiin.

Opiskelijat kokivat viikon järjestämisen työläänä, mutta mielenkiintoisena. Opiskelijat olivat varsin kiitollisia paikallisille yrityksille, että he halusivat lähteä mukaan toteuttamaan Luomuviikkoa niin innokkaasti. Viikkoa järjestäessä opittiin paljon lisää niin luomusta, projektin organisoimisesta kuin toimimisesta yhteistyökumppaneiden kanssa. Opiskelijat kohtasivat myös vastoinkäymisiä, eikä kaikki aina sujunut suunnitelmien mukaan, mutta silloin muutettiin suunnitelmia ja toimittiin uuden mallin mukaan. Kukaan opiskelijoista ei ollut aiemmin järjestänyt minkäänlaista tapahtumaa, joten opittavaa riitti ihan loppumetreille saakka.

Tällaisissa projekteissa opitaan asioita toisella tavalla kuin perinteisessä luento-opetuksessa. Tässäkin projektissa törmättiin kohtuullisen usein siihen todellisuuteen, että asiat eivät edenneet suunnitellusti. Silloin piti löytää konkreettisia ratkaisumalleja ja -keinoja, joilla asiassa päästiin etenemään. Vaihtoehtoa ”tää ei nyt onnistu” ei tässä tunnettu. Lisäksi opiskelijat joutuivat hiomaan omia tiimityöskentelytaitojaan, sillä alussa kaikki eivät edes tunteneet toisiaan entuudestaan, vaan piti löytää yhteinen tapa työskennellä vieraan ihmisen kanssa. Lopputulos on loistava, kun vielä huomioidaan toteutukseen käytävissä olleet taloudelliset resurssit. Hyvällä yhteistyöllä, isolla innostuksella ja omalla innovaatiolla saada paljon aikaan; sen tämä projektitoteutus todisti.

# YRITYSKULTTUURI JA ULKOISTAMISKÄYTÄNNÖT VENÄJÄLLÄ

*Anne-Marie Tuomala*

Suomessa on elänyt ja elää vieläkin uskomus, että Venäjän todellisuutta ei voi ymmärtää. Uskomus on peräisin Neuvostoliiton olemassaolon ajalta, jolloin ei ollut tapana kysellä ja ymmärtää naapurimaan asioita. Uskomus on sikäli vaarallinen, että se on ristiriidassa aidon sitoutumisen kanssa ja tarjoaa yleiselityksen epäonnistumisille syistä riippumatta ja niitä analysoimatta. Ääritapauksissa uskomus johtaa passiivisuuteen omien intressien puolustamisessa; esimerkiksi saatavia venäläiseltä yritykseltä ei edes yritetä periä. Venäjän liikelämän arvostukset, toimintatavat, aikaperspektiivi ja yritysten johtaminen poikkeavat vastaavista suomalaisista. Meitä haittaavat asiat ovat yllättävän paljon kulttuurisidonnaisia, eivät niinkään lainsäädännöllisiä.

## **Venäläisen yrityskulttuurin kehityspiirteistä**

Venäläisten arvomaailma joutui 1990-luvun alussa kriisiin, kun Neuvostoliitto ja sen arvomaailma romahtivat. Tilalle tulivat markkinatalouteen liittyvät arvot puoliaasialaisessa tai jälkineuvostoliittolaisessa muodossa. Yhteiskunnan ”oikea” järjestys löytyy mm. vuosisatoja vanhasta kirkkotaiteesta. Tsaari on Jumalan edustaja maan päällä ja ruhtinaat hänen pienempiä edustajiaan. Kaikilla on oma tasonsa ja lokeronsa yhteiskunnassa. Tämä selittää mm. sen, miksi taloudellinen ja poliittinen valta liittyvät myös nyky-Venäjällä erottamattomasti toisiinsa – se kuuluu asioiden oikeaan järjestykseen. Siirtyminen tasolta toiselle tai lokerosta toiseen tapahtuu ”ovimiesten” välityksellä. Presidentti toimii tsaarin asemassa koko maan isänä. Nykyiset oligarkit ovat verrattavissa entisajan suuriruhtinaiisiin ja toimivat koko valtakunnan alueella. Presidentin edustajat, kuvernöörit ja paikalliset vaikuttajat ovat ”ruhtinaita” omalla alueellaan. Myös ulkomainen yritys kuuluu alueperiaatteen nojalla jonkin ”ruhtinaan” piiriin. Länsiyrityksen on järkevää pohtia eri reviiрпиiriin antamia etuja, haittoja ja riskejä jo ennen kuin tekee lopullisen päätöksensä toimipaikastaan Venäjällä.

Venäläisen yrityksen pääjohtaja, olipa hän omistaja tai ei, on ruhtinas yhtiössään. Tradition mukaan hän toimii kuin patruuna. Tähän liittyy delegoinnin vaikeus. Esteenä ei ole yksin pääjohtajan haluttomuus, vaan myös alaisten haluttomuus kantaa vastuuta. Suomessa pidetään rationaalisenä sitä, että yritys keskittyy perusliiketoimintaansa karsien rönsyt ja ulkoistaa toiminnot, jotka voidaan ulkoistaa. Venäjällä omistaminen ja siihen liittyvä valta ovat edelleen muodissa. Selvimmin tämä näkyy mm. venäläisten öljy- ja metalliteollisuusjättien toiminnan laajenemisena yhä uusille aloille. Myös pienet ja keskisuuret yritykset pyrkivät ottamaan vertikaalisesti haltuunsa eri toiminnot raaka-aineen tuottamisesta lopputuotteen jakeluun. Venäjällä, jossa hankinta- ja alihankintaketjut ja jakeluketjut eivät toimi, tällä pyrkimyksellä on tiettyyn rajaan asti perusteensa.

Venäjän liike-elämän toimintatavoista on syytä nostaa esille yritysten toimiminen verkostoissa ja sidosryhmien suuri merkitys myös konkreettisten päätösten tekemisessä. Nämä piirteet juontavat juurensa aasialaiseen traditioon, jossa kauppaa käydään ja asioita hoidetaan ystävien kesken ja jossa liittoutumalla rakennetaan ryhmittymiä mm. puolustus- ja lobbaamistarkoituksiin. Kun länsiyritykset toteuttavat venäläisyritysten ostohankkeita, on varsin tavallista, että due diligence -tutkimus koskee vain ostettavaa yritystä. Tällainen lähestymistapa sisältää merkittävän virhemahdollisuuden, kun sivuutetaan yritysten sidosryhmät ja toimintaympäristöön liittyvä verkosto. Sama tarkastelu on aiheellista säilyttää myös harkittaessa ulkoistamisen yhteistyökumppaneita.

Ei saa myöskään unohtaa sitä, että odotuttamista, aikaa, käytetään yleisesti vallan osoittamiseen ja etuuksien saavuttamisen välineenä. Tämäkin on yksi syy luoda verkostoja.

Monet suuret venäläisyrietykset ovat syntyneet kuponkikaupan ja harmaan rahan avulla ostetuista valtionyhtiöistä. Kaupan mukana on tullut paitsi vanha hierarkkinen johtamistyyli, myös vanhat verkostot. Näitä sisäpiirin verkostoja on laajennettu ainakin rahoittajan ja toimialaan liittyvien uusien yritysten mukaan tuomisella.

Toinen merkittävä yritysryhmä on entisten työntekijöiden osuustoiminnallisesti jatkama liiketoiminta. Näissä osakkaiden verkottuminen epähomogeeniseksi ryhmäksi jarruttaa laajempaa ulospäin suuntautuvaa verkostoitumista.

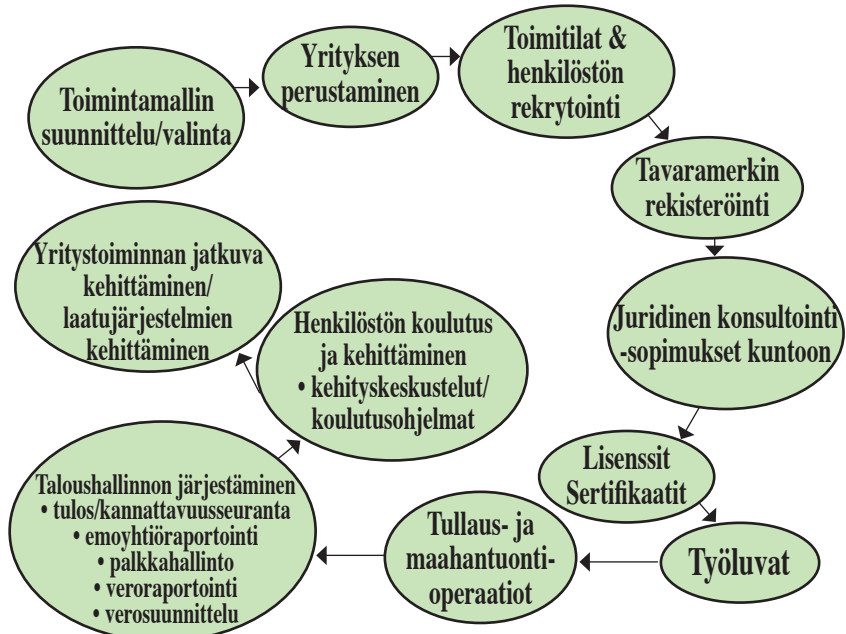
## Venäjän lainsäädännöstä

Venäjän lainsäädäntöä on viime vuosina kehitetty voimakkaasti. Tähän on johtanut ulkoinen paine ja toisaalta sisäinen vallan keskittyminen. Lainsäädäntötyössä on kuitenkin samat ongelmat kuin valtaosassa muissakin maissa. Vanhat neuvostoaikaiset lait ovat turvanneet valtion ja kansalaisten oikeuksia. Näitä saavutettuja etuuksia ei uusia lakeja laadittaessa voida poistaa kertarysäyksellä. Niinpä nykyisten lakienkin laadinnassa on sama prioriteetti, eli ensin turvataan valtion oikeudet ja seuraavalla alemmalla tasolla valtion kansalaisten oikeudet. Kaikki muut oikeudelliset asiat ovat lain hengen tulkinnassa näitä kahta alemmalla tasolla.

Vaikka lainsäädäntöä on uudistettu ja koko Venäjää koskee yhtenäinen säädöskokoelma, lain soveltamisessa ja tulkinnassa on vielä merkittäviä alueellisia eroja. Oman lisänsä tähän antavat alueen omat säädökset, joita voidaan antaa paljonkin ja käyttää silloin kun ko. asiaa ei ole suoraan alistettu federaation säädöskokoelmaan.

Liiketoiminnan osalta kuitenkin on menossa koko Venäjän kattava harmonisointi, jossa rekisterit yhtenäistetään ja samalla ”putsataan” rekisteristä toimimattomat yritykset ja päällekkäiset toiminimet. Samalla tehdään IPR-oikeuksien tarkastelu, jotta niidenkin yhtenäinen rekisteröinti saataisiin loppuun.

## Yritystoiminnan organisointi ja hallinta venäjällä



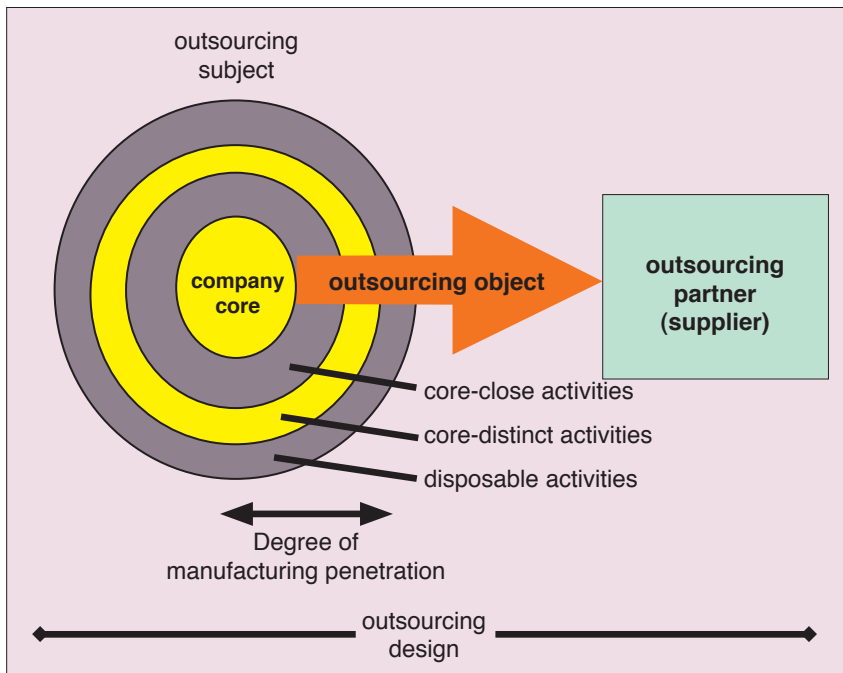
KUVA 1. Venäjä-liiketoiminnan organisointi (Karhu 2007)

Kymmenen teesiä menestykseen Venäjällä:

- Suunnittele yrityksesi toimintamalli kestäväälle pohjalle asiantuntijoiden kanssa
- Pidä yrityksesi langat aina omissa käsissäsi
- Luo avoin toimintajärjestelmä, jonka avulla valvot henkilökuntasi toimintaa ja toimintatapoja ja samalla voit kehittää toimintaasi (mm. laatu-järjestelmä)
- Valitse avainhenkilösi huolella
- Selvitä yhteistyökumppaneiden / sopimuskumppaneiden taustat etukäteen
- Tee henkilöstöllesi selväksi yrityksesi tavoitteet, luo puitteet ja innostava ilmapiiri tavoitteiden saavuttamiseksi
- Taloushallinto ja raportointi kuntoon
- Teetä laillisuus selvitys yrityksestä kerran vuodessa
- Päivitä kokonaisvaltainen yrityksen riskikartoitus vuosittain
- Muista että konsernin Corporate Governance koskee myös Venäjän tytäryhtiöitä.

## Ulkoistamisen käytännöt Venäjällä

Ulkoistaminen tarkoittaa yrityksen osan tai tietyn osatoiminnan ostamista ulkopuoliselta yritykseltä (kuva 2). Esimerkkejä ulkoistamisesta ovat kirjanpito, koulutus, kuljetus, mainonta, siivous, vartiointi, työterveydenhoito, tuotteiden valmistus, sihteeripalvelut ja muotoilu. Nykyaikaisen liikkeenjohdon



KUVA 2. Ulkoistamisen malli (Arnold U. 2000, 24)

kehittämisen kannalta on osattava arvioida, missä määrin Venäjällä voidaan panostaa ulkoistamiseen, kuten myös varastojen minimointiin ja prosessien tehostamiseen. Venäläinen liiketoimintakulttuuri vaikeuttaa kehittämissuunnitelmien managerointia ja matalien organisaatorakenteiden (lean management) kehittymistä. Osa asioista juontuu lainsäädännöstä, sillä pääjohtaja joutuu allekirjoittamaan hyvinkin vähäpätöisiä dokumentteja, jotta ne saavat lain voiman. Näin ollen delegointi alemmalle tasolle jää näennäiseksi.

Eurooppalaisena trendinä on viime aikoina ollut ottaa mahdollisimman vähän toimittajia/palveluntuottajia omaan verkostoon, jotta pitkäkestoista kumppanuutta pystyttäisiin kehittämään. Näin on päästy parempaan laatuun. Venäjällä tämä on huomattavasti vaikeampaa ja joudutaan käyttämään useampaa toimittajaa kuin ehkä muutoin olisi järkevää.

Ulkoistamista tulisi kaikkialla tarkastella ainakin kolmesta peruslähtökohdasta: toimintamenojen säästöt, keskittyminen omaan ydinosaan ja joustavuuden/ketteryyden saavuttaminen. Joissain tapauksissa ulkoistaminen on avannut pääsyn uusimpaan teknologiaan, ja usein ulkoistamisprosessi avaa yrityksen silmät omaan markkina-asemaan ja/tai kulurakenteeseen ja sen yksityiskohtiin. Venäjällä yllätysmomenteja asiassa ja prosessissa sattuu herkemmin. Tärkeää on myös arvioida omaa asemaansa syntyvässä verkostossa vastuiden ja riskien osalta sekä sopia asiasta sopimuksin, mikäli suhde jää kiinteäksi ja strategisesti tärkeäksi.

Venäjällä vaikuttaa vieläkin traditio, jossa kaikki pyritään pitämään yrityksen sisällä. Palvelujen osto ulkopuolelta on kasvamassa, joskin kovin hitaasti. Kehitystä on edistänyt resurssipula, joka pakottaa yritykset Venäjälläkin keskittymään ydinosaan. Työvoimapula on ollut koko Venäjän historian ja Neuvostoliiton olemassa olon ajan ongelma, ja on sitä edelleenkin joillakin teollisuuden aloilla ja maantieteellisillä alueilla, vaikka työttömyys on kasvanut viime vuosina rajusti.

Erona suomalaiseen palvelujen ostokulttuuriin on, että venäläiset arvostavat enemmän laatua kuin halvempaa hintaa. Pk-yrittäjyys on kehittynyt 2000-luvulta alkaen voimakkaasti, mutta useat yritykset ovat kykenemättömiä toimimaan alihankkijana. Toiminta painottuu kuluttajamarkkinoihin (kaupat, kahvilat, ravintolat jne.). Yrityksen perustamisprosessi on hitaampi (yleensä vähintään 2 kk) ja alakohtaisesti saatetaan tarvita useitakin lupia, lisenssejä jne. Ulkomaisen tytäryhtiön perustaminen vie useita kuukausia; tässäkin alueelliset erot ovat suuria.

Liiketoimintakulttuurin eroihin kuuluu myös se, että vaikka sopimus allekirjoitetaan, jää se usein venäläiselle paperiksi, jonka mukaan ei toimita. Se saattaa jäädä myös täysin ”kuolleeksi kirjaimeksi” eli toiminta ei lähde käyntiin ollenkaan. Tämän suomalaiset ovat kokeneet hankalaksi ja odottamattomaksi.



si, koska tämä poikkeaa suomalaisista tavoista. Henkilösuhteiden merkitys on edelleen voimakas ja avainhenkilön lähdettyä toiminta halvaantuu pidemmäksi ajaksi kuin esim. Suomessa.

Erityisosaamista vaativia/ydinosaamisen osia eivät suomalaisyritykset ole ainakaan vielä lähteneet ulkoistamaan. Ulkoistamisprosessissa on usein käytetty ”sisäistä ulkoistamiskomiteaa/-työryhmää”, jonka ovat muodostaneet avainhenkilöt. Suomalaisomisteiset yritykset Venäjällä ovat ulkoistaneet mm. kuljetuksia ja logistiikkaa, tutkimus- ja kehittämistyötä sekä markkinointia. Em. toimintakulttuuri ja kokemuksen puute palveluiden ostamisesta ulkopuolelta aiheuttavat sen, että ulkoistamisprosessit ovat olleet hankalia: paikalliset venäläiset managerit eivät ole osanneet hoitaa ja ylläpitää prosessia. Esimerkiksi kuljetuspalvelujen hankinnassa ovat suomalaiset havainneet, että hyvän hintalaatusuhteen toimittaja voi seuraavana kuukautena olla kallis ja huonolaatuinen. Tilanne ei pysy välttämättä vakaana. ”Lääkkeeksi” on auttanut säännölliset vierailut toimittajan luona ja kädestä pitäen neuvonta paikan päällä.

Tarvikkeita hankitaan Venäjällä usein monesta eri paikasta; tämä vaikuttaa myös siihen, että laatutaso voi vaihdella. Ohjeistuksessa ja perehdyttämisessä tulee mennä perusteellisemmin yksityiskohtiin. Lisäksi venäläinen liikemaailmassa toimija ei välttämättä ymmärrä kokonaiskustannuksia, niiden rakennetta ja niihin vaikuttavia osatekijöitä, vaan yleensä tarkastellaan yksikköhintaa merkittävimpänä tekijänä.

Nk. harmaa vyöhyke 100 % omavalmistuksen ja 100 % oston välillä olisi ehkä hyvä testata pilottiprojektina, kun prosessia lähdetään viemään eteenpäin Venäjällä. Tämä olisi hyvä koko partnerikonsortion valmiusharjoitus. Hyvät ja luottamukselliset henkilösuhteet auttavat ulkoistusprosessia Venäjällä tässäkin asiassa; ystävän kanssa pyritään toimimaan laadukkaasti ja luotettavasti.

Paradoksinomaista on myös se, että suomalaiset ovat olleet valmiita investoimaan Venäjälle, mutta edelleenkin venäläiset itse eivät välttämättä ole, vaan investoivat mieluummin ulkomaille. Suomalainen teollisuus, kauppa ja palvelut ryntäsivät Venäjälle menestyksekkäästi. ”Uuden Venäjän valloittajiin” voidaan lukea erityisesti suomalaiset rakennusalan yritykset, jotka ovat kuitenkin nykyisen laman aikana joutuneet luopumaan tai lykkäämään monia suunnitelmiaan.

Pienyrityksissä taloushallinnon ulkoistaminen on ollut arkipäivää jo useiden vuosien ajan. Ulkoistaminen tarkoittaa yrityksen osan tai tietyn osatoiminnan ostamista ulkopuoliselta yritykseltä. Muita esimerkkejä ulkoistamisesta ovat kirjanpito, koulutus, kuljetus, mainonta, siivous, vartiointi, työterveydenhoito, tuotteiden valmistus, sihteeripalvelut ja muotoilu. Tulevaisuudessa yrityksen toimintojen ulkoistaminen johtaa hyvinkin tiiviisiin kumppanuuksuhteisiin yritysten välillä. Myös suuremmissa yrityksissä keskitytään yhä ti-

viimmin ainoastaan omaan ydinosaamiseen ja muut erikoisosaamista vaativat tukitoiminnot nähdään järkeväksi siirtää kumppaniyrityksille. Ulkoistaminen tekee yrityksen organisaatiosta usein myös joustavamman. Ulkoistettu toiminta voidaan lopettaa helpommin lopettamalla vain siihen liittyvä sopimus. Ulkoistaminen mahdollistaa yrityksen keskittymisen omaan ydinliiketoimintaansa ja sitä kautta saamaan parhaan mahdollisen hyödyn omasta osaamisesta – myös Venäjällä.

### **Ydinosaamisen säilyttäminen yrityksissä**

Yrityksen ydinosaaminen on laajempaa kuin yhden ihmisen osaaminen. Se on yleensä kehitetty vuosien saatossa koko organisaation oppimisen avulla. Yrityksen ydinosaaminen on harvinainen kokonaisuus tietoa, taitoja ja teknologioita, jota muiden on lähes mahdotonta kopioida. Ydinosaamisen avulla pystytään saamaan aikaan kilpailuetua ja yliverstaista arvoa asiakkaalle tai mahdollisesti avaamaan pääsy uusille markkinoille.

Jotta ydinosaaminen olisi yritykselle hyödyllistä ja sellaista, johon sen kannattaisi keskittyä, sen on autettava yritystä menestymään paremmin mieluiten sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Kun yritykseltä vaaditaan parempaa tulosta, yksi ratkaisu on keskittyminen ydinosaamiseen. Keskittymiseen liittyy olennaisesti mahdollisuuksien mukaan kaiken muun kuin ydinosaamisen ulkoistaminen, eli yritys pyrkii ostamaan ulkopuolelta ne asiat, joita se ei osaa paremmin kuin muut tai joita sen ei valitsemansa strategian perusteella tulisi osata paremmin kuin muut. Strategiseen merkittävyyteen vaikuttaa se, voidaanko turvautua kumppanuuteen tai ostaa osaaminen markkinoilta. Osaamisen kehittäminen kannattaa keskittää niihin strategisesti merkittäviin osaamisalueisiin, jotka halutaan pitää itsellä ja joissa ero halutun ja nykyisen tason välillä on merkittävä.

Ulkoistaminen ei kannata silloin, kun sillä ei saavuteta jotain etua tai kun on kyse yrityksen ydintoiminnasta (jolloin ulkoistaminen olisi koko yrityksen ulkoistamista ja tarkoittaisi käytännössä toimialan vaihtoa). Ulkoistaminen ei ole järkevää myöskään silloin, kun on jokin erityistarve olla ulkoistamatta; esimerkiksi jos yrityksen toiminnassa korostuu turvallisuus, ja ulkoistamisen nähdään lisäävän turvallisuusriskejä. Turvallisuus onkin ulkoistamisen perusriski.

### **Ulkoistamisen haasteista**

Ulkoistaminen edellyttää yritykseltä uusia taitoja. Hierarkkinen, käskemiseen liittyvä selkeä johtaminen muuttuu verkottuneeksi, sopimuksiin perustuvaksi, hämäämmäksi johtamiseksi. Ulkoistettua palvelua tarjoavat yritykset hämäävät yrityksen organisaatorakenteen rajoja. Samoin ihmisten tietotaitoa häviää ulkoistavan yrityksen toiminnasta, koska ulkoistetun henkilöstön konaktit vanhaan yritykseen pienenevät.

Ulkoistaminen vaatii merkittävää luottamusta sopimuspuolien välillä. Tämä on erityinen haaste ulkoistettavaa palvelua tarjoavalle yritykselle ja sen henkilöstön toimintatavalle. Molemmat ovat ulkoistamisen ydinasioita Venäjällä. Ulkoistuspalveluja tarjoavan yrityksen tieto asiakkaansa kulttuurista saattaa olla ohutta. Uuden ulkoistuskierroksen tuloksena ”ulkoistetut vanhat osajat” saattavat jäädä pois uuden sopimuskumppanin piiristä, jolloin ulkoistavan yrityksen on kasvatettava omaa osaamistaan ostetun palvelun hallinnassa. Tämä saattaa johtaa ulkoistavan yrityksen resurssien lisäämiseen ulkoistusso-  
pimuskumppaneiden vastapelureina (piilokulut).

### **Toiminnan ulkoistaminen verkostoitumalla Venäjällä**

Ihminen yksittäisenä toimijana voi verkottua, mutta yritys verkkona voi verkostoitua. Yrityksen verkostoituminen on kahden tai useamman yrityksen tiivistä yhteistyötä. Yritykset tekevät pitkäaikaisia yhteistyösopimuksia keskenään. Verkostoituminen yritysten kesken ei ole mikään uusi ilmiö, mutta aikaisemmin siitä on käytetty lähinnä termiä alihankinta. Alihankinta käsitetään yleensä valmistukseen liittyväksi, ja verkostoitumiseen sisältyy myös yrityksen muiden kuin valmistukseen liittyvien toimintojen, kuten markkinoinnin ja tuotekehityksen, teettämistä osin tai kokonaan yhden tai useamman sopimuskumppanin kanssa. Sopimuskumppaneilla saattaa taas olla toisia sopimuskumppaneita, alihankkijoita tai toimittajia, jolloin syntyy pitkiä alihankintaketjuja ja -verkostoja. Verkostoitumisen katsotaan nykyään olevan merkittävä kilpailutekijä, mutta poikkeuksiakin löytyy.

Merkittävin ero on täysin kytketyn verkoston ja hierarkian välillä. Olemme siirtymässä hierarkioista täysin kytkettyjen verkostojen suuntaan. Esim. ulkoistaminen on juuri tätä. Verkostoituminen on siirtymistä kohti täysin kytkettyjä verkostoja. Täysin kytketyn verkoston merkittävin ominaisuus sisältyy Metcalfen lakiin: Verkon solmujen (N) määrä kasvaa lineaarisesti, mutta verkoston ”arvo” tai ”tehokkuus” kasvaa eksponentiaalisesti ( $N*(N-1) = N*(N-N)$ ). Potentiaalisen arvon lähteenä on verkoston yhteyksien määrä.

Verkosto merkitsee hierarkkisen johdon kannalta pitkälti kontrolloimattomia yhteyksiä. Tämä oli kauhistus Neuvostoliitolle. Sen pitäytyminen hierarkkisissa rakenteissa oli merkittävä osasy syy sen tehottomuuteen yhä monimutkaisemman kokonaistoiminnan koordinoinnissa. Täysin kytketyt verkostot ovat kevyitä, dynaamisia rakenteita, joihin voidaan liittää uusia, arvokkaita yksiköitä muuttamatta rakenteita ja joista voidaan myös lakkauttaa se, mikä ei enää toimi. Tämä tarkoittaa ad hoc -organisaatiomallia.

Täysin kytketty verkosto poikkeaa oleellisesti muista organisaatiomuodoista. Se on ainoa, joka pystyy ennakoimattomaan kasvuun tai ohjaamattomaan oppimiseen. Kaikki muut organisaatiomuodot rajoittavat sitä, mitä voi tapah-

tua. Verkosto on vähiten strukturoitunut organisaatio, jolla yleensä voi olla rakennetta. Vain täysin kytketyssä verkostossa aidosti moninaisten komponenttien enemmistö voi säilyä yhtenäisenä. Se taas on innovaation keskeinen edellytys, joka taas on menestymisen edellytys jatkossa. Täysin kytketty verkosto on myös vakuutus huonoja päätöksiä vastaan. Se mahdollistaa monien asioiden huomioon ottamisen, eli sillä on laaja tiedonkäsittelykapasiteetti. Kompleksisissa ja dynaamisissa asioissa yhden näkökulman keskeinen huomiointi (organisaation johtaja) johtaa yleensä aina huonoon lopputulokseen. Täysin kytketyllä verkostolla on myös yhteinen intressi huonoja päätöksiä vastaan, koska oleellista on verkon, toimintoketjun, ei yksittäisen organisaation menestys. Verkostomuotoisessa päätöksenteossa valta ja vastuu hajaantuvat, ja tämä saattaa olla merkittävä oppimisen alue hierarkkiseen johtamiseen totuneille.

Verkostotoiminnan ydin on yhteistoiminta, horisontaalinen taso. Horisontaalisen tason mukana tulee tärkeäksi prosessien hallinta, tieto ja sen kulkeminen, verkon eri toimijoiden lisäarvo ja sitoutuminen verkkoon, päämäärien samansuuntaisuus (win-win-tilanteiden löytäminen), oppiminen, foorumit, joilla strategioita kehitetään, luottamus sekä työnjako ja vastuuttaminen.

Verkoston voima riippuu sen hyvästä kyvystä toimia neljällä tasolla:

- 1) Organisaatiotaso (vähän hierarkiaa ja paljon itsemääräämisoikeutta),
- 2) doktriini (syy yhteistoimintaan, toimintaidea),
- 3) teknologia (laaja tiedonsiirtokapasiteetti), ja
- 4) sosiaalinen taso (keskinäinen lojaliteetti ja luottamus).

Tasot vaikuttavat toisiinsa.

Ulkomaiset yritykset ovat aika ajoin kokeneet jääneensä Venäjällä paikallisia yrityksiä heikompaan asemaan siitäkin huolimatta, että voimassa olevan lainsäädännön perusteella sekä koti- että ulkomaisia toimijoita on kohdeltava tasapuolisesti. Venäjällä lainsäädäntö on kuitenkin monikerroksista. Federaatiotasolla annettua säännöstöä voidaan tarkentaa aluekohtaisilla määräyksillä, ja ohjeistuksessa voi esiintyä eri tasojen välistä vaihtelua, vaikka eri tasolla annettujen normien tulisi olla keskenään yhdenmukaisia. Myös paikallisten viranomaisten tekemillä tulkinnoilla voimassa olevasta lainsäädännöstä on merkittävä vaikutus olosuhteisiin.

Toimintojen ulkoistamista Venäjällä on tarkasteltava kokonaisuutena. Ulkomaalaisten yritysten kokemukset alihankintana ostettavista palveluista kertovat karun totuuden siitä, että venäläinen kulttuuri eroaa meidän toimintatavoistamme. Tästä johtuen ulkoistamisesta ei ole saatu siitä odotettua pitempiaikaista hyötyä. Pikemminkin se on kuluttanut päämiehen resursseja. Syitä tähän tilanteeseen ei ole riittävästi analysoitu, vaan on keskitytty normalisoimaan päivittäinen yritystoiminta tavalla tai toisella.

Venäläinen mieltää alihankinnan kertaluontoiseksi ostopalveluksi siksi, että henkilökohtaiset suhteet ja sitoutuminen toimitusketjuun puuttuvat. Tämän vuoksi ulkoistettujen palveluiden tarjoajien verkosto olisikin rakennettava yhteisen intressin ketjuun: esim. win-win-tilanteiden löytäminen, yhteinen huoli toiminnan kehittymisestä ja yhteinen arvomaailma. Lisäksi tämän koalition arvojen tulee olla yhteneväiset avainasiakkaiden arvojen kanssa (”salonkikelpoisuus” ovimiehen edessä). Venäläiset verkostot perustuvat juuri näihin monesti henkilökohtaisiin suhteisiin.

Ulkoistamisprosessin onnistumisen avaimet ovat oikeiden partnereiden löytäminen ja näiden omista intresseistä lähtevä sitoutuminen läheiseen yhteistyöhön. Tämä ei kuitenkaan heikennä lainsäädännön merkitystä sopimuksia solmittaessa. Pikemminkin päinvastoin: mitä laajemmaksi verkosto kehittyy, sitä enemmän korostuu yrityksen hyvän hallintotavan merkitys.

Ulkoistamisen laajuuteen vaikuttaa merkittävästi mm. yrityksen IPR-oikeuksien turvaaminen. Venäläisen käytännön mukaan tavallisten kadunmiesten/kuluttajien raati arvioi nimen/merkin tunnettavuutta. Moni jo vuosikymmeniä markkinoilla ollut tuote on Venäjällä menettänyt oikeutensa tuotenimeen, kun markkinoille on tullut jokin aivan toinen samanniminen tuote, joka on arvioitu yleisemmin tunnetuksi. Kun toinen osapuoli markkinoi tai toimittaa palvelua esim. Aren nimellä, on riski menettää nimi/merkki. Tämän vuoksi on tarkistettava yrityksen nimen, logon, tuotemerkin, palvelukonseptin, patentin, lisenssin jne. rekisteröinti ja säilyminen yrityksellä myös toimintoja ulkoistettaessa. Ne toiminnot, joita IPR-oikeuksien säilyttäminen edellyttää, ovat koko liiketoiminnan edellytys ja siten sisällytettävä omaan ydinliiketoimintaan. Patentti- ja rekisteriasioihin perehtyneitä yrityksiä on lukuisia eri maissa.

Aiemmin venäläinen laintulkinta monesti samaisti ”agentti-” tai ”dealer-” nimitystä käyttävän jälleenmyyjän emoyrityksen työntekijään. Samoin freelancer-toimija, joka toistuvasti tai pääsääntöisesti antoi palvelujaan yritykselle, katsottiin työsuhteiseksi. Uusi laki (Civil Code of Russia) on melko uusi. Lain valmistelu on ollut huolellinen ja laki sisältää käytettävien termien selitykset. Ulkoistettu edustaja, jota ei katsota työsuhteiseksi, on ”distributor” tai ”licencée”. Sopimuksia laadittaessa on huolehdittava, että käytetään oikeaa termistöä. Venäläiset notaari- ja lakiasiantoimistot tekevät näitä tarkistuksia. Luonnosteltaessa uusia sopimuksia on hyvä tarkastaa samalla, mitkä muut lait/määräykset koskevat ko. toimintaa, sekä liittää tarpeen ja harkinnan mukaan viittaukset näihin.

Venäjän laki ja sen tulkinta vaihtelevat ajan ja paikallisen tulkinnan mukaan. Tästä johtuen sopimukset on syytä tarkistaa vuosittain. Sopimustekstiin tulee siten sisällyttää maininta siitä, että sopimus tarkistetaan vuosittain ja siihen tehdään lainmuutosten ja sovellusohjeiden mukaiset muutokset. Myös sopimuksen irtisanomisen ehdot tulee kirjata pikkutarkasti. On useita ennakkotapauksia, joissa sopimuskumppani ei ole täyttänyt velvoitteitaan, mutta määräaikaista sopimusta ei ole voitu purkaa. Venäläinen oikeus turvaa tällöin Venäjän kansalaisen edun tutkinnan ja oikeuskäsittelyn ajaksi. Pahimmillaan tämä johtaa tilanteeseen, jossa tuleva kassavirta on nolla, mutta kulut pysyvät ennallaan ja mahdollisesti kasvavat riitatilanteen hoitamisesta. Vaikka itse oikeudenkäynti olisikin tasapuolinen ja yritys voittaisi sen, yritystoiminta voi joutua umpikujaan pitkän prosessin aikana.

Ennen sopimuksien vahvistamista tutkitaan tietenkin tulevan yhteistyökumppanin tausta. Toiminnan laajuuden ja taloudellisen tilan lisäksi on syytä selvittää, mitä muita yritystoimia kumppanilla on sekä ketkä ovat hänen lähimmät ja merkittävimmät kumppaninsa ja asiakkaansa. Muutamat Venäjän lakitoimistot tekevät myös näitä taustaselvityksiä. Esimerkiksi suomalais-venäläisen kauppakamarin jäsenenä on tällaisia venäläisiä yrityksiä.

## LÄHTEET

Ahola, I., 2008. Outsourcing Challenges in Russia, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Master thesis.

Alhojärvi, P. & Salmi, A-M., 2010. Suomalaisten pk-yritysten hankevalmistelutuki Venäjällä vuosina 2003–2009. Suomen ja Venäjän välisen lähi-alueyhteistyön kokonaisvaltainen evaluaatio. Suomalaisten pk-yritysten hankevalmistelutuki. Ulkoministeriö, 2010. Finnish SMEs' grants for business in Russia 2003-2009. Evaluation of Finnish-Russian crossborder activities for the Ministry of Foreign Affairs. 2010.

Arnold, U., 2000. New dimensions of outsourcing: a combination of transaction cost economics and the core competencies concept. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 6, p. 23–29.

Iivonen, I. & Romo, J., 2011. Monikansalliset yritykset Venäjällä - Multinational Enterprises in Russia. Kandidaattityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Karhu, P., 2007 Superkasvua Venäjältä. Venäjän kaupan uudet mahdollisuudet Etelä-Karjalalle, seminaariesitys, Lappeenranta.

Koistinen, O., 2004. Ulkoistaminen etenee yhä syvemmälle yritysten toimitoihin. *Helsingin Sanomat* 26.11.2004

Kuusi, O – Smith, H. – Tiuhonen, P. (Toim.), 2007. Venäjä 2017: kolme skenaariota. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta. Esa Print Oy. Lahti.

Salmi, A-M. (toim.), 2008. Venäjän-kaupan perusteet – Opas Venäjän-liiketoiminnan kasvun ja kehittämisen tueksi. 2. painos. Lahden ammattikorkeakoulu.

Salmi, A-M. (toim.), 2008. Innovation systems of Russian Federation, 3 reports. Venäjän Federaation innovaatiotoiminnan käytännön ongelmien järjestelmä-analyysi, Metodologia pk-yritysten innovaatiotoiminnan järjestelmien luomiseksi, Järjestelmäinnovaatioidenkäytännön toteuttamisen edellytykset, Lahden ammattikorkeakoulu.

# BIOFUEL QUALITY CONTROL BY PORTABLE XRF-ANALYSER

*Aila Puttonen & Vitaly Golubev*

Recovered wood fuel is challenging for combustion, due to the high levels of contaminants. The supply of the wood fuel is estimated to grow rapidly, creating demand for automatic quality control systems. X-ray fluorescent technology brings about quick, accurate and non-destructive elemental analysis, but has also limitations. The feasibility of a handheld XRF-analyser in solid biofuel quality control, particularly for recovered wood, was studied with an experimental XRF set-up in a laboratory.

In conclusion, a handheld XRF-analyser can be utilised in solid biofuel quality control. Its accuracy can be further increased by compensating for the negative effects of known limitations. It was found that increasing the XRF analysis time did not considerably improve the detected elemental concentrations. An air gap between the analyser and a sample significantly decreased measured concentrations. Wood moisture also reduced detected concentrations. One important finding was that analysing the wooden matrix with a handheld XRF-analyser posed health risks, even if a backscatter shield was used, due to the high dose rates of radiation scattered off the sample into the surroundings.

## **Introduction**

Energy production based on biomass combustion has been increasing lately. In Finland, the wood fuels became the largest source of energy in 2012, representing 242% of total energy consumption. (Statistics Finland 2012). The largest share (64%) of wood-based fuel comes from industrial by-products and residues, while virgin forest chips and fire wood both present about 18% of all wood-based fuels (Karhunen et al. 2013). Recovered wood fuel is challenging for a combustion process, due to the high levels of contaminants. It may also emit environmentally harmful emissions into the air and ash.

Suppliers of recovered wood fuel are bound to provide specifications of their products and classify them. Therefore, there is a great interest and demand for a fast and reliable quality control for recovered wood fuel. Instead of time-



consuming and expensive laboratory analysis, the X-ray Fluorescence (XRF) technology offers a fast and non-destructive on-line measurement method of fuel samples on site. The feasibility of XRF technology for solid bio-fuel quality control, particularly for recovered demolition wood, was studied by using a handheld XRF-analyser. The accuracy of the results was affected by the water content and particle size of the fuel, and also by the air gap between the analyser and fuel. The experiments were part of a thesis study at Mikkeli University of Applied Sciences (Golubev 2015).

## Recovered wood fuel

Recovered wood fuel is defined as wood material from different categories of waste to be used as fuel for heat or electricity generation. Recovered waste wood (RWW) typically contains metal parts (nails, wires), concrete, and plastics (flooring, electrical wires) that can be separated from the wood. It often contains chemical contaminants, such as paints, varnishes, coatings, glues, and preservatives (CCA, creosote), which are impossible to separate. (Bankiewicz 2012; Jones 2013; Alakangas et al. 2015.)

RWW is problematic due to the high concentration of heavy metals, particularly Cr, Cu, Zn, Cd, Hg, Ni, and Pb. Paints, lacquers, binders and preservatives contribute most to the problem of heavy metals. RWW also contains polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), volatile organic compounds (VOCs), halogens (Cl, Br, F), and halogenated organic compounds, such as pentachlorophenol, lindane, and polychlorinated biphenyl. (Bankiewicz 2012; Vainikka 2011; Jones 2013; Alakangas et al. 2015.)

## Classification of recovered wood fuel

In Finland, used wood, industrial wood residues and by-products are categorised in classes A, B, C and D, according to their chemical content. Wood in *class A* is virgin wood or only mechanically treated wood. *Class B* doesn't include demolition wood, but industrial by-product wood may be coated, lacquered or chemically treated, if no halogenated organic compounds or preservatives are used. Class B wood may contain up to 2 w-% of mechanical contaminants (cement, nails). The annual averages of heavy metals and chlorine cannot exceed the threshold values for virgin wood. *Class C* contains halogenated organic compounds and heavy metals exceeding the levels in virgin wood. It is considered waste. Demolition waste belongs to class C, unless the heavy metals and chlorine content has been proven to be below the threshold values given for class B. *Class D* containing preservative-treated wood is hazardous waste. (Alakangas 2015).

Wood in classes A and B are classified according to EN ISO 17225-1- Solid biofuel standard also intended for chemically treated wood that does not con-

tain halogenated organic compounds or heavy metals more than typical virgin wooden material. Wood in category C is considered solid recovered fuel (SRF) and is classified according to EN-15359-Solid recovered fuel standard. Class D is considered hazardous waste.

Class A wood can be combusted in any biomass plant. Category B wood should be burned in large power plants (20 MW<sub>th</sub>) that are under Emission Trading Scheme (601/2012) or new plants having output more than 5 MW<sub>th</sub>, because they are under small-plant combustion legislation (750/2013). Class C should be burned under the Finnish Waste Incineration Act (151/2013). (Alakangas et al. 2015).

### Information on chemical elements

Class C wood is further classified by EN 15359 standard “Solid recovered fuels – specifications and classes”. The normative chemical information is the content of several elements in the fuel: Cl, Sb, As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Tl and V, mg/kg on a dry basis. More elements can be informed on non-obligatory bases: Al, C, H, N, S, (% dry basis) and Br, F, PCB, Fe, K, Na, Si, P, Ti, Mg, Ca, Mo, Zn, Ba, Be, Se, (mg/kg dry basis).

In total, 19 challenging elements of interest have been identified. In addition to the normative information elements, there are some (e.g. Na, K, Br and Zn) that are included due to the fouling and corrosive effect during combustion. Table 1 lists the identified elements and their source of information.

**TABLE 1. Elements of interest for recovered wood fuel quality control**

#	Symbol	Element name	Atomic number, Z	Source of information
1	N	Nitrogen	7	EN ISO 17225-1
2	Na	Sodium	11	Bankiewicz 2012; Sandberg 2011
3	S	Sulphur	16	EN ISO 17225-1
4	Cl	Chlorine	17	EN 15359, EN ISO 17225-1
5	K	Potassium	19	Bankiewicz 2012; Sandberg 2011
6	V	Vanadium	23	EN 15359
7	Cr	Chromium	24	EN 15359
8	Mn	Manganese	25	EN 15359
9	Co	Cobalt	27	EN 15359
10	Ni	Nickel	28	EN 15359
11	Cu	Copper	29	EN 15359
12	Zn	Zinc	30	Bankiewicz 2012; Sandberg 2011
13	As	Arsenic	33	EN 15359
14	Br	Bromine	35	Bankiewicz 2012; Vainikka 2011
15	Cd	Cadmium	48	EN 15359
16	Sb	Antimony	51	EN 15359
17	Hg	Mercury	80	EN 15359
18	Tl	Thallium	81	EN 15359
19	Pb	Lead	82	EN 15359

The elements can be analysed by X-ray Fluorescence (XRF), which is a non-destructive, fast, and reliable elemental analysis, but has its limitations. Using the EDXRF technology, elements lighter than sodium are not detectable (Fellin et al. 2014), and elements lighter than argon are very difficult to detect (Thermo Fisher Scientific Inc 2013). Also, the spectral matrix effect may disturb the analyses of some elements. The measurement setting may also greatly affect the results. In the on-line analyses of wood chips, the attention should be paid to how some variables affect the results of XRF-analyses: the analysis time, the distance between the XRF-analyser and sample, particle size and moisture of the sample.

### Methods used in the study

In this preliminary study on the XRF-analysis of recovered wood, the emphasis was on simulating conditions for an on-line XRF system. The limitations of the XRF technology were tested. The Niton XL3t 980 GOLDD+ hand-held Energy Dispersive XRF-analyser (EDXRF) manufactured by Thermo Fisher Scientific inc. was used in the study. The analyser was periodically controlled with a Standard Reference Material 2709a (soil) available from the US National Institute of Standards and Technology.

### Test settings

The Niton XL3t 980 GOLDD+ analyser was fixed on a laboratory stand (figure 1). A backscatter shield was attached to the analyser, which was remotely controlled with software on a laptop. To study the radiation safety, scattered

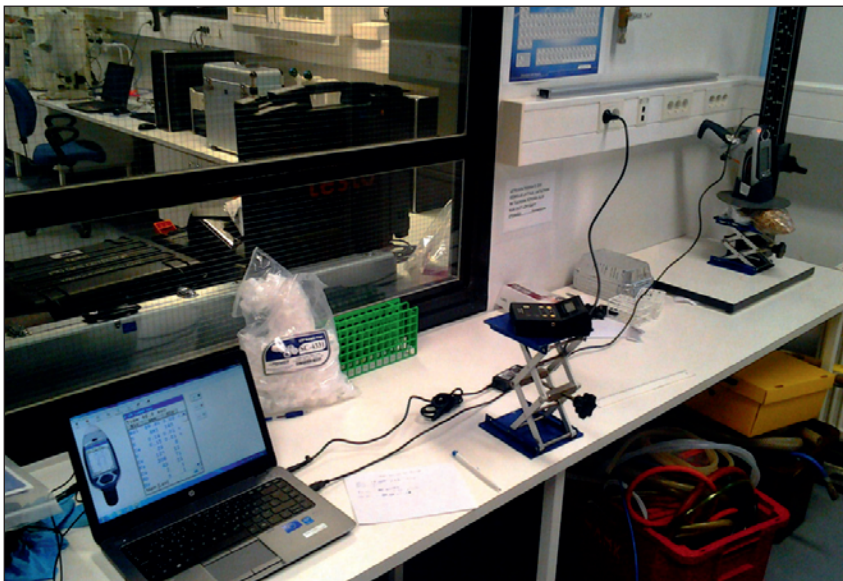


FIGURE 1. Initial set-up for XRF-analyser during radiation level measurements (picture Vitaly Golubev)

radiation near the XRF-analyser was measured and an improved set-up design including lead shielding was installed to protect from the radiation.

For safety reasons, a breath mask and rubber gloves were worn due to the very strong odour of demolition wood chips caused by the high concentration of harmful elements. Goggles were additionally used when working with small size particles.

The samples were oven-dried wood chips from a demolition site. The samples were analysed in an aluminium foil container in order to simulate measurements on a conveyer in open air. To ensure that only wood chips were analysed, and not the laboratory jack holding the sample, an air gap was organised between the sample and the jack to attenuate the fluorescent photons emitted from the stand (figure 2). Also, sufficient layers of sample material were used to attenuate fluorescent X-rays emitted from the aluminium foil container. As a result, only the sample was analysed by the XRF-analyser. This design was kept during all practical work.

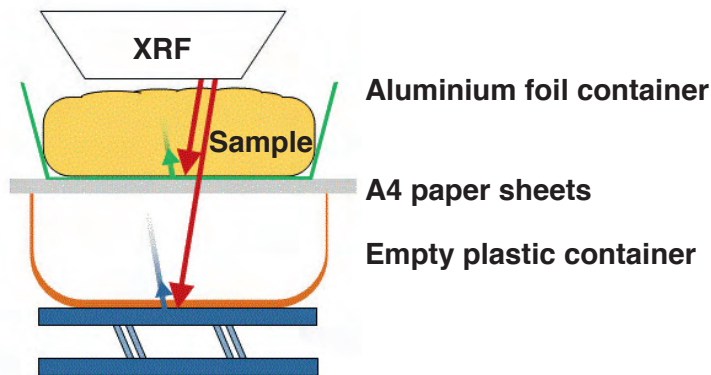


FIGURE 2. Stand design to attenuate fluorescent photons emitted from laboratory jack and sample container

## Test Results

The same sample material was used for all following XRF-analyses. The results are expressed in ppm (parts per million). The XRF analysis results are given with an error of two standard deviations (two-sigma error or around 95 % confidence level). Not all elements were detected in all samples and measurements.

## Particle size and chemical composition

The chips were screened and separated into chip size groups of  $\leq 1$  mm,  $\leq 2$  mm,  $\leq 4$  mm,  $\leq 8$  mm,  $\leq 12$  mm, and  $\leq 31.5$  mm for size distribution. The most common chip size was between 8 mm and 12 mm, accounting for around 23 % of the wet weight (Figure 3.). The moisture content of the whole batch was 16.3 %.

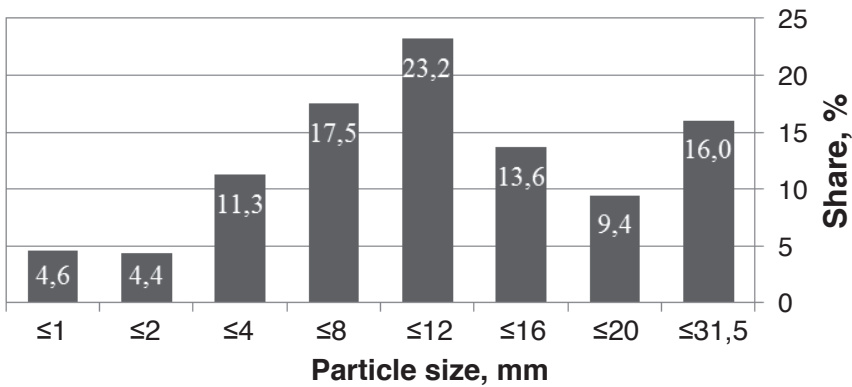


FIGURE 3. Particle size distribution of recovered wood sample by wet weight

For elemental analyses, all particles over 12 mm were combined to form a group  $\leq 31.5$  mm. In total, there were 6 size groups. Table 2 shows the bulk density of each group, and the moisture of the selected groups. The “original mix” corresponds to the unsorted raw sample. The finest particles ( $\leq 1$  mm) had the highest bulk density. The small wood particles had a higher concentration of contaminants than the larger wood chips. The reason for this could be that the small particles, especially the finest ( $\leq 1$  mm), compared to the bigger wood chips, contained more particles than were formed from detached paint and treated surface layers.

TABLE 2. Bulk density of recovered wood samples

Particle size, mm	Bulk density, kg/m <sup>3</sup>	Moisture, %
$\leq 1$	230	21.9
$\leq 2$	180	
$\leq 4$	170	27.1
$\leq 8$	190	
$\leq 12$	200	
$\leq 31.5$	200	22.4
Original mix	190	16.3

For the elemental analyses of particles of different sizes, 3 representative samples were taken from each size group, and they were analysed during 60 seconds per element range.

**Measurement time**

The measurement time effect on results was studied with the finest ( $\leq 1$  mm) particles at one spot at different time lengths up to 60 seconds. The results indicate that there was no significant difference between different analysis times. On average, the lowest detected concentration value represents 85 % of the maximum concentration value. The two-sigma analysis error decreased logarithmically, as expected. Figure 4 gives an example of how the measurement time affected the results of XRF analysis for Cl. Results were similar for K and Pb.

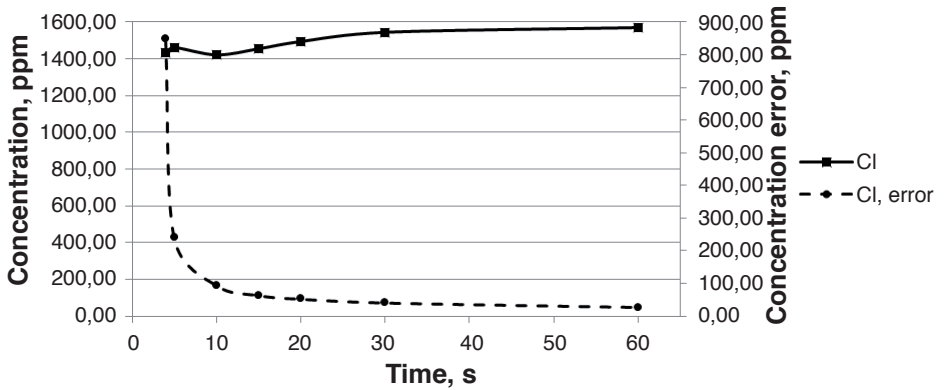


FIGURE 4. Dependence of Cl detection and analysis error on measurement time

**Measurement distance**

For an online XRF measurement system over a conveyor belt, it is necessary to have a distance between the analyser and moving materials. Therefore, an influence of an air gap between the XRF-analyser and a sample (the  $\leq 4$  mm particles) was studied. The same spot was tested 4 times at different time durations and distances. The average values are shown in Table 3. The colours indicate elemental concentration, where red colour is the highest value and green colour is the lowest value measured for an element. With very similar values, no colours are marked.

**TABLE 3. Detection of elements at different measurement distances to sample and analysis times, for ≤ 4 mm particles**

Time, s	5 s			10 s			15 s		
Air gap	0 mm	10 mm	20 mm	0 mm	10 mm	20 mm	0 mm	10 mm	20 mm
Element	Concentration, ppm								
S	2308	1437	511	6595	642	399	6902	618	455
S error	894	539	227	338	194	122	254	137,21	98,51
Cl		1721		1387	671		1447	670	
Cl error		2129		103	1491		77	2138	
K	2617	937	745	2769	1031	721	2868	982	765
K error	383	166	111	230	95	65	163	67	51
Zn	121	84		128	74		126	78	
Zn error	33	70		18	33		13	24	
Pb	53	57		54	59		54	53	49
Pb error	19	30		10	21		8	15	24
Cu				44			43		
Cu error				20			15		
As							11		
As error							6		
V									
V error									
Cr			21			20		17	20
Cr error			10			6		7	5
Time, s	20 s			30 s			60 s		
Air gap	0 mm	10 mm	20 mm	0 mm	10 mm	20 mm	0 mm	10 mm	20 mm
Element	Concentration, ppm								
S	6890	614	373	7681	645	417	7234	635	436
S error	212	115	79	164	92	66	107	62	45
Cl	1467	704		1634	661		1542	722	
Cl error	65	1592		49	1995		32	1243	
K	2956	1002	787	3412	1010	782	3151	1012	747
K error	137	56	45	113	45	35	76	30	23
Zn	137	80	72	140	91	67	134	90	62
Zn error	11	21	38	9	17	18	6	11	20
Pb	57	62	54	57	60	67	55	60	68
Pb error	6	13	22	5	11	18	3	7	13
Cu	38			36			37		
Cu error	12			10			7		
As	11			13			13		
As error	5			4			3		
V						5		6	6
V error						3		3	2
Cr		15	23		17	22		16	22
Cr error		6	4		5	3		3	2

The most accurate result was acquired in a 60 second measurement in contact with the sample, because the analysis error logarithmically decreased with time and there was no air gap that attenuated fluorescent X-rays. Measuring above 20 mm was impossible for the XRF-analyser to detect elements. It produced an error and caused the analyser to stop the tests.

It can be concluded from the results that the air gap lowered the detected elemental concentration a great deal, especially for light elements. For example, if the XRF-analyser was lifted 10 mm above the sample, it showed the concentration of sulphur to be 1/11 of the concentration during the contact measurement.

The possible dependence of element detection on the elevated distance was tested more extensively. Two oven-dried samples were analysed:  $\leq 8$  mm particles (a), and 6 mm particles (b). Three different spots a1–a3 and b1–b3 of each sample were analysed for 5 seconds at each elevation of 2 mm at a time. As an example, the results for lead are presented in Figures 5 and 6.

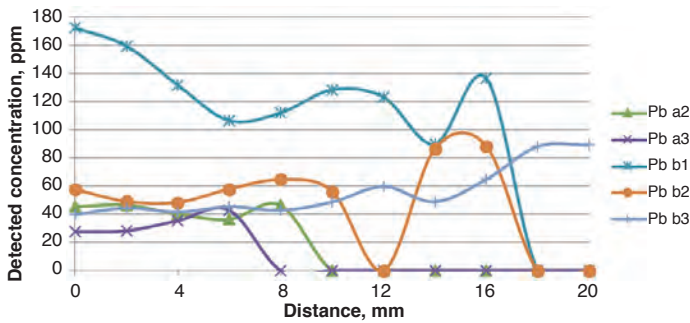


FIGURE 5. Dependence of detected Pb concentration on distance to sample, ppm

The detected concentrations fluctuated considerably between the measurements of same elements, except for K and Cr. The variations increased with increasing distance, especially above 6 mm. On average, the concentrations at 20 mm distance were detected to be 80%, 50% and 20% for As and Pb and Cr respectively.

The analysis results were received in ppm, but in order to compare elemental concentrations and to find a possible trend, regardless of the real concentrations, the data was converted to percent. The value detected in contact with the wood samples was set to be 100 %.

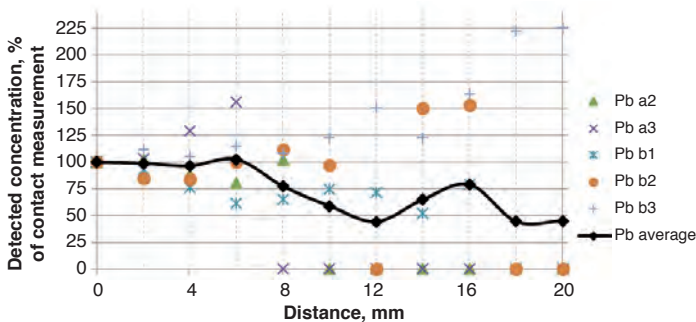


FIGURE 6. Dependence of detected Pb concentration on distance to sample, %



The average trend of all the presented elements in Figure 7 indicates that from 0 mm to 12 mm, detected concentrations were inversely proportional to the distance. For elements with a low original concentration, the detected concentrations varied greatly with increasing distance.

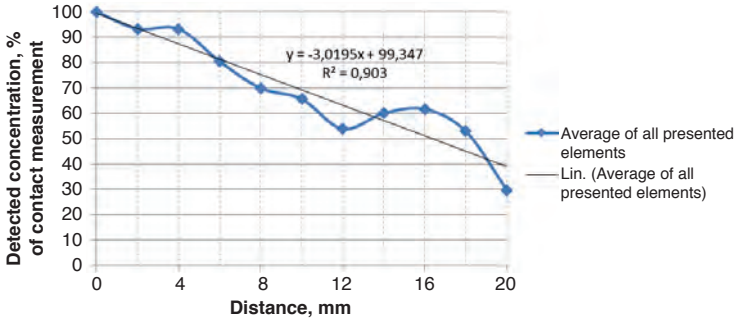


FIGURE 7. Dependence of detected elemental concentration on distance to sample, average of all presented elements (S, Cl, K, Cu, Zn, As, Pb, Cr)

The observed fluctuations in the detected concentration values may be explained by several mechanisms: 1) The increased air gap attenuated fluorescent photons, which led to a reduced number of counts per second and, thus, the detected concentrations. 2) The demolition wood samples were highly heterogeneous, and due to the fact that the X-ray source tube is fixed at an angle inside the analyser, moving the analyser vertically created a small displacement at the horizontal level of the initial measurement and a different particle could have been measured, as schematically shown in figure 8. 3) The short measurement time used in these tests produced greater errors. The concentrations detected in the measurements taken for 5 seconds at the same distance sometimes differed considerably.

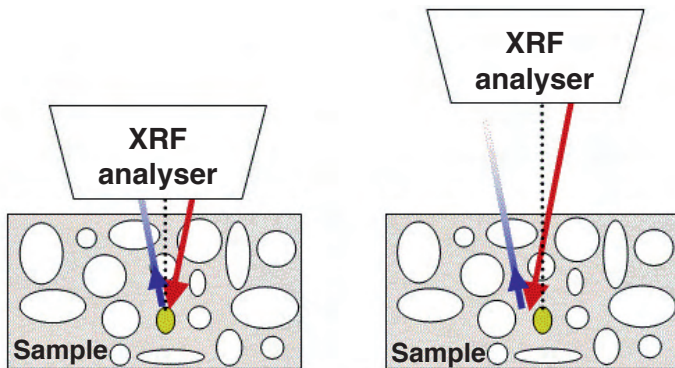


FIGURE 8. XRF analysis at different distances to sample

## Wood moisture

The impact of wood moisture was studied to find the dependence of the detected elemental concentration on moisture, and at what moisture level the XRF-analyser stopped identifying elements. Two samples with particles of  $\leq 8$  mm (a) and 6 mm (b) in size were soaked in distilled water for 10 days. The moisture contents in the samples were raised to around 70 % and 80 % for the sample “a” and “b” respectively. The samples were dried in an oven at 105 °C and periodically taken out for the XRF analysis. The moisture content was calculated, based on the mass.

The detected elemental concentrations were in ppm and they were converted to percents of the measured concentration at 0 % moisture content. This data presentation method allows an easier comparison of the results, regardless of their actual concentrations. Such a representation also helped to create the average dependence across all the XRF element measurements using statistical methods.

Regardless of the chemical element and its real concentration in wood, the measured concentrations were decreased by increasing wood moisture. Each element had its own correlation trend, but most of the analysed elements were detected even at 70 % moisture content. Figure 9 represents the average of the moisture correlations of all measured elements. This figure also shows an order 2 polynomial trend line closely fitted to the data, which suggests a possibility for mathematical correction of results.

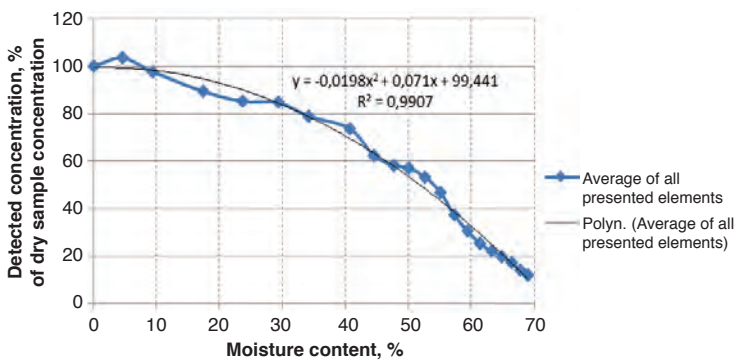


FIGURE 9. Dependence of detected elemental concentration on wood moisture content, average of all presented elements (S, Cl, K, Cu, Zn, As, Pb, Cr)

The results also showed high measured elemental concentration deviations. This was most likely due to the short analysis time of 5 seconds and a minor shift of the analyser above the spots from analysis to analysis. Upon drying, the sample particles slightly shrank and were displaced from their original

position in the sample. In some instances, elements were not detected, even though they were detected in the previous and next measurements. It led to an increased fluctuation of the average correlation trend. However, these visual representations provided a good general estimate of how moisture affected the XRF elemental analysis results.

## **Conclusions**

The studied handheld XRF analyser can be used in solid biofuel quality control. It is capable of identifying the elements listed in the EU biofuel standards, except for N and Na. An online XRF measurement system could be used to scan wood chips continuously on a moving conveyor. For accurate measurements, the XRF detector system should not be located further than 12 mm above the sample. An online XRF system should be able to analyse all ranges of elements, including light and heavy elements, without the need to switch between the element ranges

Further studies should be done to create usable correlation formulas for the effects of wood moisture and elevation distance above wood samples on the analysis results. Finally, the performance of the XRF-analyser over moving samples should be studied as a simulation of a working conveyor belt.

The XRF analysis is fast and accurate and the elemental XRF analysis with the handheld XRF-analyser can be performed by personnel without a background in physics or chemistry. However, personal radiation safety must be ensured when analysing wood samples due to high radiation dose rates near the analyser. Also, this system should have a cooling system, as the XRF-analyser overheats during long measurements and does not allow working until it has cooled down.

## REFERENCES

Alakangas, Eija, Koponen, Kati, Sokka, Laura, Keränen, Janne 2015. Classification of used wood to biomass fuel or solid recycled fuel and cascading use in Finland. Bioenergy 2015 "For Boost for Entire Bioenergy Business", 2 - 4 September 2015. Jyväskylä, Finland. Book of Proceedings. Benet Ltd. Pages 79-86.

Bankiewicz, Dorota 2012. Corrosion behaviour of boiler tube materials during combustion of fuels containing Zn and Pb. Academic dissertation. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/77050/bankiewicz\\_dorota.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/77050/bankiewicz_dorota.pdf?sequence=2)No update information. Referred 22.4.2015.

Fellin, Marco, Negri, Martino, Mazzei, Federico & Zanuttini, Roberto 2014. Characterization of ED-XRF technology applied to wooden matrix. Wood research. <http://www.centrumdp.sk/wr/201404/02.pdf>. Referred 22.4.2015.

Golubev, Vitaly 2015. Biofuel Quality Control by Portable XRF-analyser. Mikkeli University of Applied Sciences. Environmental Engineering. Thesis.

ISO 17225-1:2014. Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 1: general requirements. International standard.

Jones, Frida 2013. Characterisation of waste for combustion – with special reference to the role of zinc. Doctoral thesis. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/0024/93783/jones\\_frida.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/0024/93783/jones_frida.pdf?sequence=2). No update information. Referred 22.4.2015.

Karhunen, Antti, Ranta, Tapio, Heinimö, Jussi, Alakangas, Eija 2014. Market of Biomass Fuels in Finland – an Overview 2013. <http://www.bioenergytrade.org/downloads/iea-task-40-country-report-2014-finland.pdf>

Sandberg, Jan 2011. Fouling in biomass fired boilers. Doctoral thesis. PDF document. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:452326/FULLTEXT02>. No update information. Referred 22.4.2015.

Statistics Finland, 2012. Energy supply and consumption. [http://www.stat.fi/til/ehk/2012/ehk\\_2012\\_2013-12-12\\_tie\\_001\\_en](http://www.stat.fi/til/ehk/2012/ehk_2012_2013-12-12_tie_001_en). referred: 31.10.2015.

Thermo Fisher Scientific Inc 2010. XL3 analyzer. User guide. PDF document. <http://www.thermoscientific.com/wp-content/uploads/Manual-XL3-Series-v7.0.11.pdf>. No update information. Referred 22.4.2015.

Vainikka, Pasi 2011. Occurrence of bromine in fluidised bed combustion of solid recovered fuel. Academic dissertation. <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/publications/2011/P778.pdf>. No update information. Referred 22.4.2015.

# TORREFIOITUJEN BIOHIILIPELLETTIEN FYSIKAALISET OMINAISUUDET BIOPOLTTOAINEEN LAATUTEKIJÄNÄ

*Jemina Suikki & Hanne Soininen & Jarno Föhr & Tapio Ranta & Mikko Järvenpää*

Mikkelin ammattikorkeakoulun Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen *Torrefoidun biohiilipelletin laatu ja varastoitavuus* -hankkeessa tutkittiin torrefioitujen biohiilipellettien laatuominaisuuksia. Hankkeen yhtenä osakokonaisuutena selvitettiin torrefioitujen biohiilipellettien fysikaalinen laatu biopolttoaineena. Tarkoituksena oli selvittää kokeiltavan prosessitekniikan ja raaka-ainemateriaalin vaikutusta biomateriaalin laatuun bioenergiälähteenä. Hankkeen koetoiminta suoritettiin Mikkelin Pursialassa sijaitsevassa Torrec Oy:n pilot-laitoksessa. Hanketta rahoitti Suur-Savon Energiasäätiö. Lisäksi hankkeeseen osallistui pilottilaitoksen toiminnalla ja omalla työpanoksellaan paikallinen biopolttoaineisiin erikoistunut yritys Torrec Oy. Hanke suoritettiin yhdessä Lappeenrannan teknillisen yliopiston Bioenergiateknologian tutkimusryhmän kanssa.

## **Torrefioitujen biohiilipellettien valmistaminen**

Biomassa on ensisijainen uusiutuvan energian lähde hiilen tilalle, jota voidaan hyödyntää biopolttoaineena. Biomassan alhainen tilavuuspaino, korkea kosteuspitoisuus, hajoamisaste varastoinnin aikana ja alhainen energiatiheys ovat kaikki huomioon otettavia ominaisuuksia, joita jalostamalla voidaan vaikuttaa saadun lopputuotteen laatuun. (Medic 2012.)

Valtaosin biomassojen ominaisuudet eroavat paljon fossiilisista polttoaineista, mikä rajoittaa niiden käyttöä uusiutumattomien polttoaineiden ja raaka-aineiden korvaajana. Biomassaa ei yleensä pystytä käyttämään samoissa laitteistoissa fossiilisten polttoaineiden kanssa, koska niiden käyttöönotto vaatii usein laitteistomuutoksia, jotka lisäävät kustannuksia. Biomassoja voidaan jalostaa muistuttamaan ominaisuuksiltaan enemmän fossiilisia polttoaineita. Yksi jalostustapa on torrefiointi, jossa biomassaa paahdetaan. Kun biomassaa torrefioidaan ja pelletöidään, saadaan se muistuttamaan ominaisuuksiltaan fossiilisia polttoaineita. (Koppejan 2012.)

Torrefioitu biomassa valmistetaan paahtamalla valittua biomassaa hapettomissa olosuhteissa 200–300 °C:n lämpötilassa. Torrefiointiprosessi tapahtuu reaktorissa, joka voi olla nimenomaan suunniteltu prosessia varten tai jolla on alun perin ollut muu käyttötarkoitus, jonka prosessivaiheet muistuttavat toisistaan. Torrefiointiprosessin raaka-aineena voidaan erityisesti käyttää mm. metsänhoidosta ja metsäteollisuuden prosesseista sivutuotteina saatavaa puumateriaalia, kuten hakkuutähdettä, kuorta ja purua. Myös rakennusteollisuudesta saatavaa purkujätettä voidaan hyödyntää, ottaen huomioon puun aikaisempi käsittely. Kyllästysaineet sekä tietyntyyppiset maalit vapauttavat korkeissa lämpötiloissa myrkyllisiä kaasuja, jotka ovat haitallisia sekä ihmisille että ympäristölle. (Bergman 2005.)

### Koetoinnassa käytetyt materiaalit ja menetelmät

Projektin aikana tehtiin laatuominaisuuksien selvittämiseksi useita analyysejä raaka-ainehakkeille ja niistä valmistetuille torrefioituille biohiilipelleteille. Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa suoritettiin suurin osa hankkeen analytiikasta (taulukko 1). Kaikki analyysit suoritettiin standardoituin menetelmin.

**TAULUKKO 1. Hankkeessa käytetyt analyysilaitteet ja standardit**

Parametri	Analyyssimenetelmä/ käytetyt laitteet	Standardi
Lämpöarvo	PARR 6200	ISO 1716
Palakokoanalyysi	Scanteknik MR-1/seulat	SFS-EN 15149-1
Irtotiheys		SFS-EN 15103
Pellettien pituus ja halkaisija		SFS-EN 16127
Kosteuspitoisuus		SFS-EN 14774-2
Tuhkapitoisuus	Nabertherm B180	SFS-EN 14775

### Lämpöarvon määrittäminen

Raaka-ainehakkeiden, torrefioitujen hakkeiden ja biohiilipellettien lämpöarvot määritettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorion pommikalorimetrillä (PARR 6200). Lämpöarvoanalyysit suoritettiin standardin ISO 1716 mukaan. Pommikalorimetri määrittää ilmakehään lämpöarvon (kuva 1). Ylempi lämpöarvo ( $Q_{gr,d}$ ), tehollinen lämpöarvo ( $Q_{net,d}$ ) ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa ( $Q_{net,ar}$ ) perustuvat laskennalliseen määrittelyyn, jossa hyödynnetään kalorimetristä lämpöarvoa, kosteuspitoisuutta ja irtotiheyttä.



KUVA 1. Lämpöarvomääritys pommikalorimetrillä (kuvat Jemina Suikki)

Kalorimetrinen lämpöarvo ilmakeivatuista materiaalista suoritettiin ottamalla murskattua ja kuivattua näytettä 1–2 grammaa, joka puristettiin paineen avulla napiksi. Näytenappi asetettiin ruostumattomasta teräksestä valmistettuun astiaan. Astia asetettiin vesisäiliöön, jossa näytabletti poltettiin happiylipaineessa. Pommikalorimetri määrittää lämpöarvon näytteen vapautamana lämpönä massayksikköä kohden silloin, kun palaminen tapahtuu vakio-tilavuudessa ja happikehässä. Poltossa vapautuva lämpöenergia siirtyy astiaa ympäröivään veteen aiheuttaen siinä lämpötilan muutoksen. Lämpötilan muutoksen avulla voidaan laskea vapautuva lämpömäärä. Analyysitulokset on luotettava, kun palaminen on tapahtunut täydellisesti. Yhdestä näytteestä tulee tehdä useampi rinnakkaisnäyte. Laitte kalibroidaan käyttämällä standardinäytettä, minkä lämpöarvo tunnetaan tarkasti. (Kuokkanen 2011.)

### Irtotiheyden määrittäminen

Raaka-ainehakkeiden ja pellettien irtotiheyden määrittäminen suoritetaan SF-EN 15103 -standardin mukaan. Määrittäminen suoritetaan säiliössä, jonka korkeuden ja halkaisijan välinen suhde on välillä 1,25 ja 1,50. Astian tilavuus on vähintään 50 litraa, kun määritetään hakkeen irtotiheyttä. Määrittäminen tapahtuu punnitsemalla astia, jonka jälkeen astia täytetään kaatamalla, kunnes on muodostunut korkein mahdollinen keko (kuva 2).



KUVA 2. Irtotiheyden määrittäminen raaka-ainehakkeelle (kuvat Jemina Suikki)

Täytettyä säiliötä täräytetään kolme kertaa pudottamalla se vapaasti noin 15 cm:n korkeudesta puulevyille. Säiliöön syntynyt tyhjä tila täytetään uudelleen ja liika-aines poistetaan soiron avulla. Täytetty säiliö punnitaan ja rinnakkaismääritysten keskiarvo lasketaan. Pellettien irtotiheyden määrittämisessä sovelletaan pienempää astiaa, mutta menetelmä on sama (Alakangas 2014.)

### **Kosteus- ja tuhkapitoisuuden määrittäminen**

Raaka-ainehakkeiden ja torrefioitujen biohiilipellettien kosteuspitoisuus määritetään irtotiheyden määrittämiseen käytetystä näytteestä (kuva 3). Jokaisesta näyte-erästä tulee tehdä kolme rinnakkaisnäytettä, jotka kuivataan lämpökaapissa  $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  vakioämpötilaan. Käytetyn lämpökaapin tulee olla varustettu poistoilmaventtiilillä, jotta kosteus pääsee vapautumaan. Vakioämpötilan saavuttanut näyte punnitaan, josta lasketaan kosteuspitoisuus vertaamalla kuivatun näytteen massaa saapumistilassa olevan näytteen massa. Näytettä ei saa kuivata yli 24 tuntia. Näytemäärän tulee olla vähintään 300 g rinnakkaisnäytettä kohden. (Alakangas 2014.)



KUVA 3. Kosteus- ja tuhkapitoisuusmäärittäminen biopolttoaineista (kuvat Jemina Suikki)



Hake- ja pellettinäytteiden tuhkapitoisuus määritetään murskatusta näytteestä, joka on ilmakeivattu (kuva 3). Tuhkapitoisuuden määrittämisessä punnitaan noin 1 g näytettä valmiiksi hehkutettuun upokkaaseen. Näyte siirretään uuniin 105 C tunnin ajaksi, jotta kaikki jäljelle jäänyt kosteus poistuu. Näyte punnitaan välissä ennen kuin se asetetaan hehkutusuuniin. Hehkutusuunin lämpötila nostetaan vaiheittain 550 °C, jossa näytettä poltetaan vähintään kahden tunnin ajan. Hehkutus on onnistunut, kun näytteessä ei ole silmämääräisesti nähtävissä nokea. Näytettä poltetaan vielä 30 minuutin ajan, jos epäillään, että poltto on epätäydellinen. Hehkutettu näyte punnitaan ja sen massaa verrataan alkutilaisen näytteen massaan. (Alakangas 2014.)

### Raaka-ainehakkeiden palakokoanalyysi

Hakkeiden palakokoanalyysissä näyte seulotaan vaakasuorasti tärätettävien seulojen läpi, joilla palat lajitellaan aleneviin kokoluokkiin. Kokopuuhakkeille valitaan seulasarja, joka sisältää 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm, 40 mm ja 50 mm seulat. Testausnäytteen minimikoko on 8 litraa ja seulojen koosta riippuen näyte voidaan jakaa useampaan testausosioon (kuva 4).



KUVA 4. Palakokomääritys raaka-ainehakkeille seulasarjoihin tärätysmenetelmällä (kuvat Jemina Suikki)

Näyte seulotaan alle 20 % kosteudessa, jotta voidaan välttää partikkeiden tarttumisen toisiinsa ja seulan pinnoille. Seulonta tapahtuu oskilloivalla seulontalaitteella 15 minuutin ajan niin, että näytteen rakenne ei muutu. Kukin seula ja sille jäänyt näytemäärä punnitaan. Tulos ilmoitetaan prosentteina kaikkien jakeiden kokonaismassasta. Hakkeiden palakokomääritys antaa jokaisella fraktiolla prosenttiosuuden, josta voidaan päätellä palakokoluokitus kyseiselle hake-erälle.

## Pellettien pituuden ja halkaisijan määrittäminen

Edustavan pelletinäytteen sisältämien pellettien pituuden ja halkaisijan mittaaminen tehdään työntötulkilla. Pituuden mittaaminen suoritetaan aina sylinterin akselin suuntaan ja halkaisija mitataan kohtisuoraan akselista. Työntötulkin mittaustarkkuuden tulee olla vähintään 0,1 mm. Testierän koko määritetään kyseisen erän pelletin halkaisijan mukaan. Testierä tulee myös seuloa käsin käyttäen 3,15 mm seulaa, jotta hienoaines saadaan poistettua. Jokaisen testi-erän pelletti mitataan pituudeltaan ja kirjataan ylös (kuva 5).



KUVA 5. Pellettien pituuden ja halkaisijan määrittäminen (kuvat Jemina Suikki)

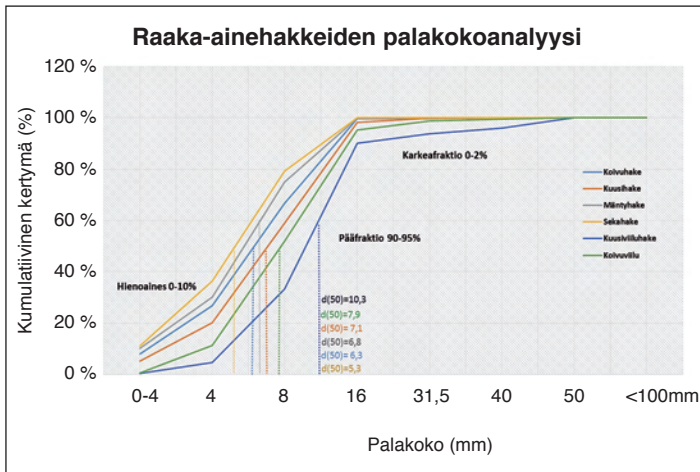
Testierän pellettien pituuksien keskiarvo lasketaan; tämä määrittää keskimääräisen pelletin pituuden koko pellettierälle. Pelletin halkaisija määritetään valitsemalla testierästä sattumanvaraisesti kymmenen pellettiä ja mittaamalla näiden halkaisija.

## Koetoinnin tulokset

Tärkeimmät biopolttoaineiden ominaisuudet, joita tulosten vertailussa käsitellään, ovat lämpöarvo, kosteuspitoisuus ja tuhkapitoisuus sekä hakkeen palakokojakauma ja irtotiheys. Oleellisena vertailukohteena on alku- ja lopputuotteen eri ominaisuuksien muuttuminen torrefiointikäsitelyn jälkeen. Raaka-aineena käytetyistä biomateriaaleista ja lopputuotteista on tehty vastaavat analyysit, jotta ominaisuuksia voidaan vertailla ja mahdollinen parantuminen voidaan todentaa.

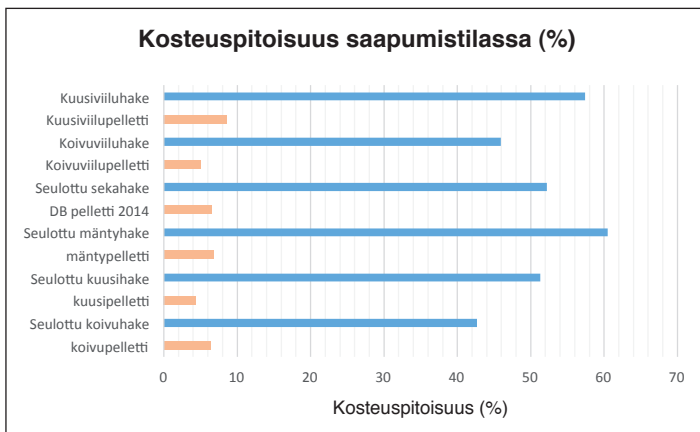
Kaikille hankkeessa käytetyille raaka-ainehakkeille määritettiin laatuluokitus palakokomäärityksellä. Hankkeessa mukana olleiden raaka-ainehakkeiden hienojaeosuus oli F05–F10 välillä. Kaikkien raaka-aine-erien pääfraktiolo-

kitus oli P16, mikä tarkoittaa, että koe-erän palakokoluokituksesta yli 60 % on halkaisijaltaan (mm) välillä  $3,15 \leq P \leq 16$ . Hake-erien karkeafraktioluokitus oli P16 tai karkeafraktioluokitusta ei ollut, koska palakokojakauma ei osoittanut vähintään 6 % yli 31,5 mm kappaleita. Kaikkien hakkeiden palakokoanalyysit osoittivat lähes yhtäläistä jakaumaa (kuva 6). Viiluhakkeiden palakokojakaumassa ei ollut yhtään hienoainesfraktiota.



KUVA 6. Kokopuuhakkeiden palakokojakauman kuvaaja

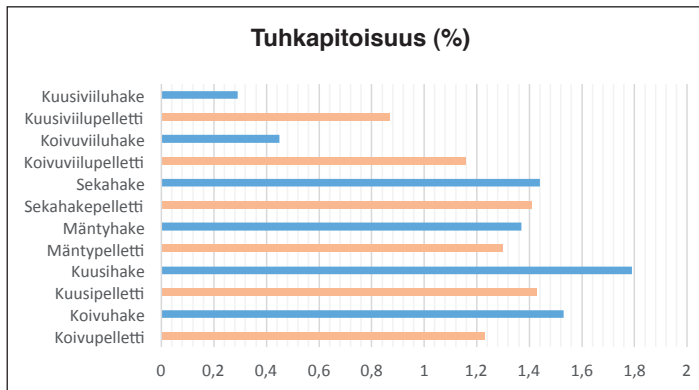
Torrefioinnilla saavutetaan alku- ja lopputuotteen välillä merkittävä kosteuspitoisuuden muutos. Oheinen kuva 7 osoittaa, että hankkeessa käytettyjen raaka-ainehakkeiden kosteuspitoisuudet olivat hyvin korkeat. Etenkin havuista valmistettujen hakkeiden kohdalla kosteuspitoisuus saattoi olla jopa 60 %.



KUVA 7. Alku- ja lopputuotteen saapumistilan kosteuspitoisuuden vertailu

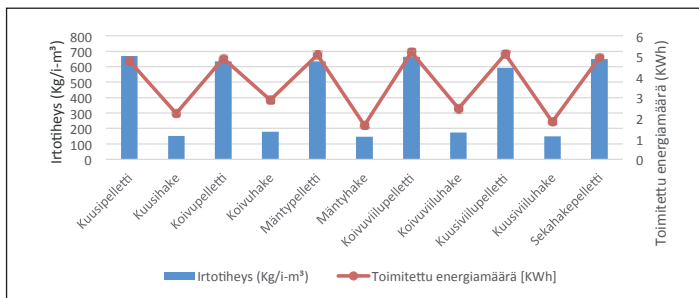
Kaikissa koeajoerissa saavutettiin 85–90 % suhteellinen kosteuspitoisuuden häviö. Kosteuspitoisuuden muutos, joka saadaan aikaan torrefioinnilla, parantaa lopputuotteen energiatihyyttä ja näin ollen pienentää kuljetus- ja varastointikustannuksia.

Kokopuuhakkeiden tuhkapitoisuudet vaihtelivat 0,3–1,8 % välillä (kuva 8). Suurimmat tuhkapitoisuudet analysoitiin kokopuuhakkeista, joissa oli kuorta seassa. Viiluhakkeet eivät sisältäneet lainkaan kuorta, joten niiden tuhkapitoisuus oli siksi niin alhainen. Merkittävänä muuttujana voidaan mainita viiluhakkeesta valmistettujen pellettien tuhkapitoisuuden nousu torrefiointikäsitteilyn jälkeen. Tuhkan määrä ei vastaa suoraan sitä epäorgaanisen aineen määrää, joka on raaka-aineen alkuperäisessä tilassa, koska useat mineraalit voivat hajota tai hapettua polton aikana.



KUVA 8. Alku- ja lopputuotteen tuhkapitoisuuden vertailu

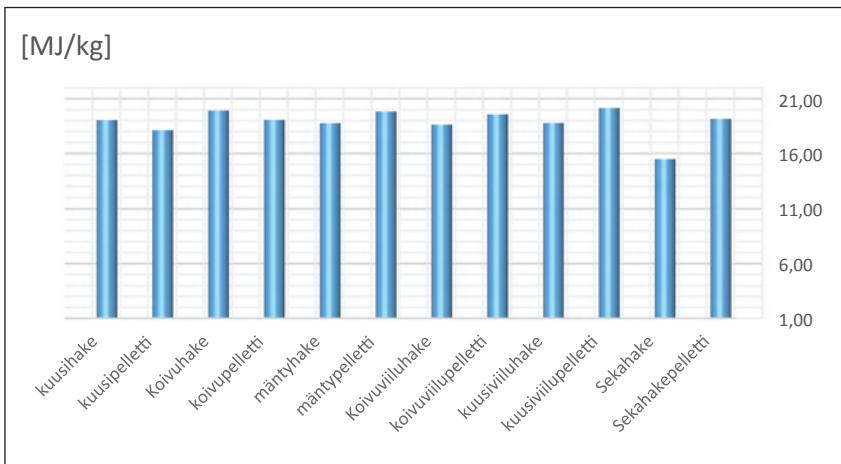
Irtotiheys on polttoaineen massa tilavuusyksikköä kohden; irtotiheys riippuu sekä tilavuudessa olevasta kuiva-ainemäärästä että kosteudesta. Torrefioinnilla ja pelletöinnillä saavutettiin kaikissa raaka-ainehakkeissa huomattava irtotiheyden kasvu (kuva 9). Raaka-aineesta riippuen alku- ja lopputuotteen irtotiheyden kasvut olivat 74 % - 77 %. Korkein kasvuprosentti saavutettiin torrefioimalla ja pelletöimällä kuusihaketta.



KUVA 9. Alku- ja lopputuotteen irtotiheyden muutos ja sen vaikutus toimitettuun energiamäärään

Biopolttoaineiden tuottamisessa kiinnostavana muuttujana on toimitetun energian määrä. Toimitettu energiamäärä on laskettu käyttämällä kaikkien biomateriaalien kohdalla toimitetun biopolttoaineen massana 1000 tonnia. Toimitettu energiamäärä on kasvanut torrefioidun ja pelletöidyn johdosta 42–64 % käytetystä materiaalista riippuen. Toimitettu energiamäärä kasvoi etenkin mäntyraaka-aineen alku- ja lopputuotteen välillä. Vähiten energiamäärän kasvua tapahtui koivuhakkeen ja koivupellettien välillä.

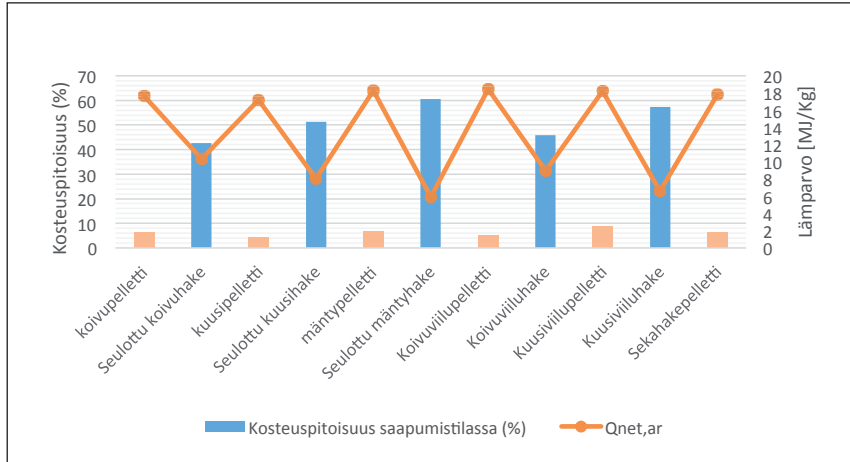
Hankkeessa käytettyjen eri puulajien ja niistä saatujen lopputuotteiden lämpöarvovertailussa ei ilmene suuria eroavaisuuksia (kuva 10). Suomessa biopolttoaineiden lämpöarvo ilmoitetaan yleensä kuiva-aineen tehollisena lämpöarvona ( $Q_{net,d}$ ), joka saadaan muunnoskaavan avulla kalorimetrisestä lämpöarvosta. Analysoidut lämpöarvotulokset vaihtelivat 15,5–20,15 MJ/kg välillä. Hankkeessa vertailussa olleista raaka-aineista lämpöarvoltaan tehokkaimmaksi ilmeni viiluhakkeista ja mäntyhakkeesta valmistetut torrefioidut biohiilipelletit. Suurin parannus alku- ja lopputuotteen välillä saavutettiin sekahakkeen ja siitä valmistetun pelletin välillä. Sekahakkeen alhaisen tehollisen lämpöarvon voidaan olettaa johtuvan sen pitkästä säilytysajasta. Sekahaketta oli säilytetty puoli vuotta Pursialan laitoksen varastossa, joka ei ollut säänkestävä. Kuusi- ja koivuhakkeesta valmistettujen pellettien tehollinen lämpöarvo laski hieman alkutuotteeseen verrattuna.



KUVA 10. Eri biopolttoaineiden kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon vertailu (MJ/kg)

Biopolttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on riippuvainen raaka-aineen kosteuspitoisuudesta. Kosteuspitoisuuden laskiessa tehollinen lämpöarvo kasvaa. Kuvassa 11 on esitetty eri raaka-ainehakkeiden ja niistä valmistettujen torrefioitujen biohiilipellettien kalorimetrisen lämpöarvon suhde

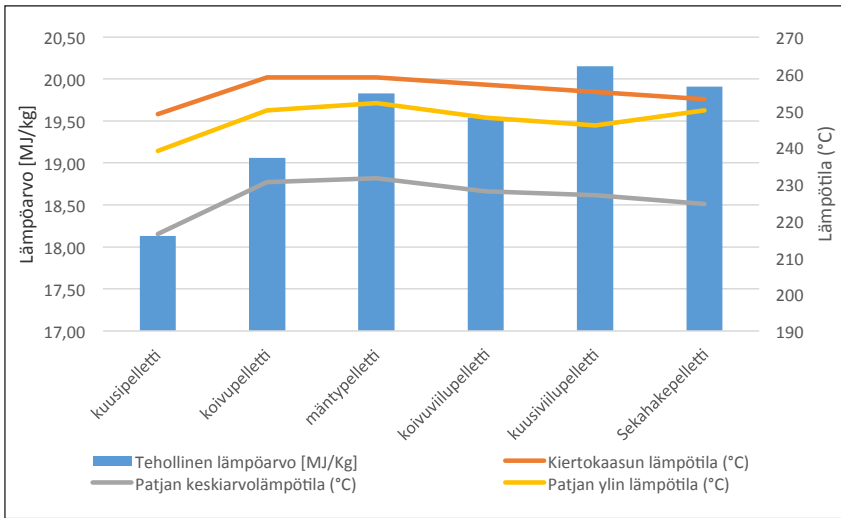
materiaalin kosteuspitoisuuteen. Raaka-ainehakkeiden kosteuspitoisuus saapumistilassa analysoitiin korkeaksi, mutta torrefiointikäsitellyn tuloksena torrefioitujen biohiilipellettien saapumistilainen kosteus laski selvästi. Torrefiointilla on onnistuttu parantamaan raaka-aineen lämpöarvoa huomattavasti jalostettuun tuotteeseen nähden.



**KUVA 11. Biopolttoaineen kosteuspitoisuuden vaikutus teholliseen lämpöarvoon saapumistilassa**

Erot eri materiaalien lämpöarvojen välillä olivat hyvin pieniä, mutta viuluhakkeista valmistetut pelletit antoivat kaikista korkeimmat lämpöarvotulokset mäntypellettien lisäksi. Koivuviilu- ja kuusiviilupellettien lämpöarvot eivät juuri eronneet toisistaan, vaikka kosteuspitoisuudessa kuusiviuluhake oli melkein puolet kostempaa. Kuusiviilupellettien kosteuspitoisuus oli korkeampi verrattuna muihin pellettieriin, mutta tämä ei kuitenkaan vaikuttanut laskevasti sen teholliseen lämpöarvoon. Raaka-ainehakkeiden kosteuspitoisuus korreloi lämpöarvon kanssa kaikkien materiaalien kohdalla, poissulkien kuusiviilupelletin korkea kosteuspitoisuus. Seulottu mäntyhake ja kuusiviuluhake olivat saapumistilassa kaikista kosteimpia ja niistä saadut lämpöarvotulokset olivat myös kaikista matalimpia.

Kunkin koeajon aikana seurattiin prosessiparametreja. Torrefiointin kestolla ja reaktorissa saavutetulla lämpötilalla on oma vaikutuksensa lopputuotteen laatuun. Kuvassa 12 on esitetty prosessin aikana mitattujen parametrien vaikutus lopputuotteen kuiva-aineen teholliseen lämpöarvoon.



**KUVA 12. Prosessiparametrien vaikutus lopputuotteen kuiva-aineen teholliseen lämpöarvoon**

Prosessin aikana seurattiin reaktorissa lämpöarvomuuttujia, kuten reaktorin lämpötilaa sekä patjan saavuttamaa ylintä lämpötilaa ja keskiarvolämpötilaa. Lämpöarvot eri materiaaleista valmistettujen pellettien välillä olivat pieniä, mutta maltillisia johtopäätöksiä voidaan tehdä parametrien vaikutuksesta. Kuusihakkeesta valmistettujen pellettien tehollinen lämpöarvo analysoitiin alhaisimmaksi. Kuusihakkeen torrefioinnin aikana mitatut lämpötilamuuttujat olivat myös koko hankkeen aikana suoritettujen koeajojen alhaisimmat. Vastaavaa korrelaatiota ei voida todeta kuusiviuluhakkeesta valmistettujen pellettien kohdalla. Kuusiviuluhakkeesta valmistetut pelletit analysoitiin lämpöarvoltaan laadukkaimmaksi, mutta prosessiparametreja tarkasteltaessa koeajo ei juuri poikennut muista koeajoista. Eikä kuusiviuluhaketta torrefioitaessa saavutettu kaikista korkeimpia lämpötiloja. Patjan keskiarvolämpötilaa ja lopputuotteen tehollista lämpötilaa vertailemalla eri koeajojen välillä on kuitenkin huomattavissa, että saavutettu korkeampi lämpötila parantaa lopputuotteen lämpöarvoa.

### Johtopäätökset

Hankkeen tarkoituksena oli selvittää raaka-aineen ja prosessiparametrien vaikutus lopputuotteen laatuun. Hankkeessa tehtiin vertailua kuuden eri raaka-ainehakkeen ja niistä valmistettujen torrefioitujen biohiilipellettien välillä. Pilottilaitoksella tarkkailtiin myös torrefioinnin kestoaikaa ja saavutettua lämpötilaa, joiden oletetaan vaikuttavan lopputuotteen laatuun. Tavoitteena oli saada laadukasta tietoa raaka-aineesta ja valmiista lopputuotteesta.

Yksi biopolttoaineen tärkeimmistä ominaisuuksista on energiasisältö. Tässä hankkeessa lopputuotepellettien kuiva-aineen teholliseksi lämpöarvoksi analysoitiin 17,5–20,5 MJ/kg. Pilottilaitoksella prosessoitujen pellettien aiempiin tutkimustuloksiin verrattuna pienempien lämpöarvojen voidaan epäillä johtuvan prosessin liian alhaisesta lämpötilasta 240–260 °C välillä. Prosessin saavuttama maksimilämpötila määräytyi Etelä-Savon Energia Oy:n laitoksen välittämän höyryn lämpötilan mukaan. Yhdeksi syyksi matalaan lämpöarvoon voidaan myös rinnastaa pelletöintiprosessissa käytetyn lauhdeveden liissäminen lopputuotteeseen. Lauhdevesi on lisännyt torrefioitujen biohiilipellettien kosteuspitoisuutta, joka on voinut alentaa lämpöarvoa. Raaka-aineena käytettyjen hakkeiden tehollinen lämpöarvo saapumistilassa vaihteli 5,8–10,3 MJ/kg välillä, kun taas lopputuotteen vastaava lämpötila vaihteli 18,5–20,5 MJ/kg välillä. Tästä voidaan todeta torrefiointiprosessin parantaneen lopputuotteen lämpöarvoa saapumistilassa huomattavasti.

Toimitettu energiamäärä ja energiatiheys ovat tärkeitä parametreja, kun vertaillaan eri biopolttoaineita. Energiatiheys kuvaa parhaiten biopolttoaineiden laatua, kun käyttötarkoituksena on energiantuotanto. Torrefioimalla raaka-ainehaketta parannettiin biopolttoaineen energiatheyttä huomattavasti. Parhaimmillaan raaka-aineen torrefiointi ja pelletointi nostivat toimitettua energiamäärää yli 50 %. Eri raaka-ainemateriaaleja verrattaessa voidaan todeta, että tämän koelaitoksen tuotetuista pelleteistä viilukoivuhakkeista valmistetut pelletit olivat ominaisuuksiltaan parhaita energiantuotannon kannalta.



## LÄHTEET

Alakangas, Eija ym. 2014. Puupolttoaineiden laatuohje. Valtion tieteellinen tutkimuskeskus VTT.

Bergman, P.C.A., Boersma, A.R., Zwart, R.W.R. & Kiel, J.H.A. 2005. Torrefaction for biomass cofiring in existing coal-fired power stations. ECN Biomass. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05013.pdf>.

Kuokkanen, Matti ym. 2011. Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen. PDF-dokumentti. Ei päivitystietoja. Luettu 10.7.2015

Koppejan, J. Sokhansanj, S. Melin, S. & Madrali, S. 2012. Status overview of torrefaction technologies. <http://www.ieabcc.nl/publications>. Luettu 10.7.2015

Medic, M 2012. Effects of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading. Iowa State University. Luettu 10.7.2015

SFS-EN 14775: 2010. SFS-käsikirja 35-2. Kiinteät biopolttoaineet osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näytteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoitusperustoille. Julkaistu 2012.

SFS-EN 14774-2: 2010. SFS-käsikirja 35-2. Kiinteät biopolttoaineet osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näytteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoitusperustoille. Julkaistu 2012.

SFS-EN 15103: 2010. SFS-käsikirja 35-2. Kiinteät biopolttoaineet osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näytteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoitusperustoille. Julkaistu 2012.

SFS-EN 15149-1: 2011. SFS-käsikirja 35-2. Kiinteät biopolttoaineet osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näytteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoitusperustoille. Julkaistu 2012.

SFS-EN 16127: 2012. SFS-käsikirja 35-2. Kiinteät biopolttoaineet osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näytteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoitusperustoille. Julkaistu 2012.

# TORREFIOITUJEN BIOHIILIPELLETTIEN KEMIALLISET OMINAISUUDET BIOPOLTTOAINEEN LAATUTEKIJÄNÄ

*Jemina Suikki & Hanne Soininen & Jarno Föhr & Tapio Ranta*

Puu on Suomen käytetyin biomateriaalin lähde, jota hyödynnetään energiantuotannossa. Kansainvälinen kiinnostus biomateriaalien hyödyntämiseen energiantuotannossa kasvaa jatkuvasti, kun fossiilisia polttoaineita pyritään vähentämään. Puuenergian käyttö lisääntyy eri puolilla Suomea ennen kaikkea uusien energialaitosten rakentamisen myötä. Suomessa biomassan osuus energian kokonaiskulutuksesta on teollisuusmaiden korkeimpia, ja puun merkitys on keskeinen. Vuonna 2014 puun osuus Suomen energian kokonaiskulutuksesta oli 25 %. Suomen uusiutuvan energian käytöstä puun osuus oli 77 %.

Torre eli torrefioidun biohiilipelletin laatu ja varastoitavuus -hanke on Mikkelin ammattikoreakoulun Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Bioenergiateknologian tutkimusryhmän yhteistyöhanke. Hankkeen tavoitteena oli selvittää torrefointiprosessin parametrien ja bioraaka-ainevalinnan vaikutuksia lopputuotteen laatuominaisuuksiin. Tämä artikkeli on lyhennelmä Torre-hankkeen osakokonaisuudesta, jossa tutkittiin eri puulajien ja torrefointiprosessin vaikutusta biopolttoaineen kemialliseen laatuun. Tutkimusta rahoitti Suur-Savon Energiasäätiön rahasto.

## **Puun kemiallinen koostumus**

Puun kuiva-aine koostuu suuri- ja pienmolekyylisistä aineista. Pääkomponentteja puussa ovat selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini, jotka ovat makromolekyylisiä rakenneaineita. Pienmolekyyliseen ainekseen luetaan uuteaineet ja epäorgaaniset aineet. Uuteaineiden koostumukset ja määrät eroavat huomattavasti eri puulajeissa ja puun eri osissa. Yleisesti runkopuun kuiva-aine sisältää 40 % selluloosaa, 25–35 % hemiselluloosaa, 20–30 % ligniiniä, uuteaineita alle 5 % ja epäorgaanisia aineita alle 0,5 %. Puulaji, puun ikä, kasvuolosuhteet ja puun osa vaikuttavat kemialliseen koostumukseen. (Alén, R. 2000.)

Puu koostuu kuiva-aineesta ja puuhun sitoutuneesta vedestä. Kuiva-aine sisältää tietyn määrän hiiltä, happea ja vetyä, jotka ovat kokonaisuudessa noin 97 % koko puun alkuainepitoisuudesta. Loppuosa on erilaisia aineita, pääasiassa tyyppiä, rikkiä ja tuhkaa. Puun palavat ja lämpöenergiaa tuottavat alkuaineet ovat hiili ja tyyppi. Palavasta aineksesta hiilen osuus on 88 % ja vedyn 12 %. Puun sisältämä happi ja tuhka eivät tuota energiaa. Tuhka sisältää puuaineksen maasta itseensä imemiä epäpuhtauksia, kuten hiekkaa ja savea. (Bioenergianeuvoja.)

Vety ja hiili vapauttavat palamisprosessissa lämpöä. Puun lämpöenergiasta hiili luovuttaa 67 % ja vety 33 %. Suhteellisesti verrattuna vety on kuitenkin tehokkaampi lämmöntuottaja. Vedyn osuus ei ole palavasta aineksesta kuin ainoastaan 12 % ja koko puun sisällöstä vähäiset 6 %. Silti noin kolmannes kokopuun tuottamasta lämpöenergiasta on peräisin vedyn lopputuotteesta. (Bioenergianeuvoja.)

Tärkeimmät biopolttoaineiden tuhkaa muodostavista alkuaineista ovat kasvien ravinneaineita. Näihin alkuaineisiin kuuluvat kalsium, kalium, magnesium, fosfori, rauta, rikki, pii ja kloori. Biopolttoaineiden alkuainesisällöt voivat poiketa huomattavasti saman lajin sisällä riippuen muun muassa maaperästä, lannoituksesta, geologisesta sijainnista, sääolosuhteista ja varastoinnista. (Wilen 1996.)

## **Näytteiden analysointi**

Raaka-ainehakkeiden ja torrefoitujen pellettien menetelmät kemiallisen koostumuksen analysoimiseksi suoritettiin ulkopuolisessa laboratorioissa ostopalveluna. Analyysit suoritti ALS Finland Oy. Biopolttoaineista analysoitiin alkuainepitoisuus sekä valikoidut maa-alkalit, alkalimetallit ja raskasmetallit.

ALS-konsernin laboratoriot sekä muut alihankintalaboratoriot ovat kansainvälisen ISO 17025 standardin mukaisesti akkreditoituja laboratorioita. Biopolttoaineiden kemiallisen laadun määrittämisessä käytettiin akkreditoituja analyysejä. Alkuaineanalyysi raaka-ainehakkeille ja pelleteille suoritettiin käyttämällä kaasukromatografia ja TCD-detektoria, joka soveltuu haihtuvien yhdisteiden erotteluun, tunnistamiseen ja kvantitatiiviseen määrittämiseen. Valitut maa-alkali- ja alkalimetallianalyysit suoritettiin ICP-AES-tekniikalla, joka on monialkuainemenetelmä, joka perustuu eri alku-aineista peräisin olevan valon eri aallonpituuksiin.

Alkuainemääritys suoritettiin polttomenetelmällä ja TCD-tekniikalla sisäisen menetelmän mukaisesti. Analysoinnissa tutkittavat komponentit kulkeutuvat kolonnin läpi, jossa inertti kaasu toimii liikkuvana faasina. Laitteistossa käytetään kantokaasuna tavallisesti typpeä, vetyä, argonia tai heliumia (Jaarinen & Niirainen 2008.) Analysoitava näyte ajetaan laitteiston injektiokammi-oon, jossa se höyrystyy 200–300 °C lämpötilassa. Höyrystyneet komponentit kulkeutuvat kantokaasun mukana kolonniin. Kolonnissa komponentit liikkuvat eri nopeuksilla riippuen niiden haihtuvuudesta ja vuorovaikutuksesta nestefaasikerroksen kanssa, joka on kolonnin sisäpinnalla. Siirtyttyään kolon- nin läpi komponentit saapuvat detektorille, joka tunnistaa yhdisteet tuottaen niistä signaalin. Tunnistetut signaalit näkyvät pikkeinä kromatogrammissa. Jokaisella yhdisteellä on oma ominainen retentioaikansa, jonka tunnistami- seen menetelmä perustuu. (Tissue 1996.)

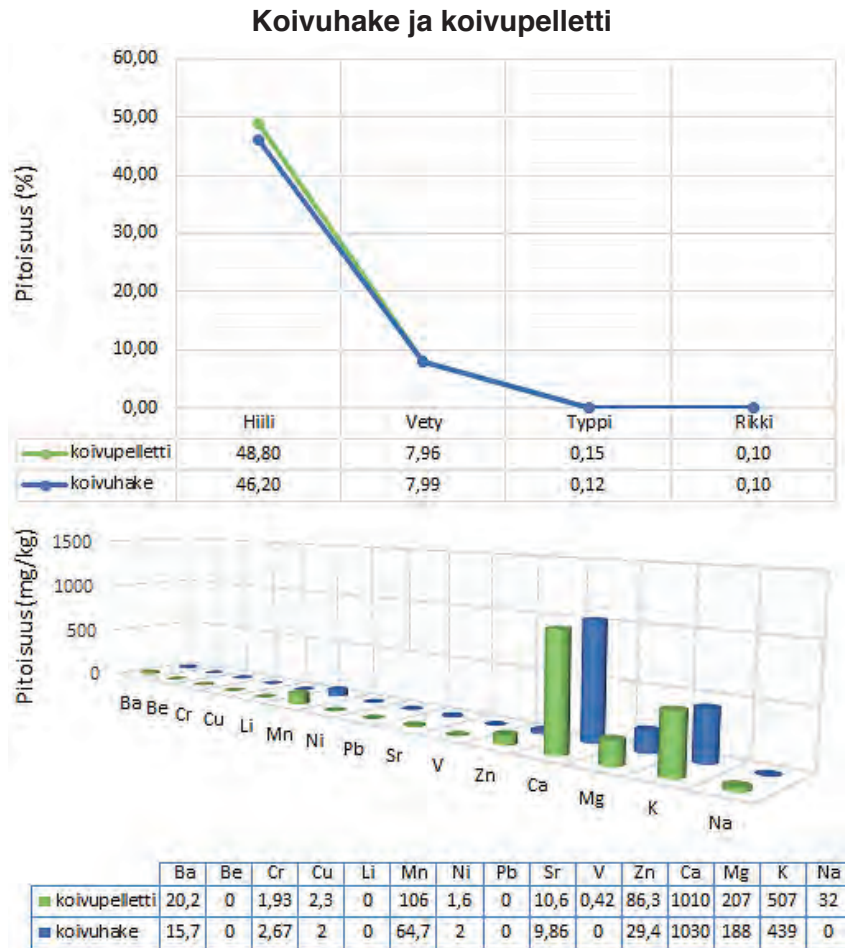
ICP-AES tarkoittaa induktiivisesti kytkettyä plasma-atomispektrometriaa. Menetelmässä radiotaajuuskentän läpi virtaava argonkaasu muodostaa plas- ma. Läpivirtaava kaasu pysyy ionisoituneena, eli se sisältää varattuja hiuk- kasia, mikä mahdollistaa erittäin korkean lämpötilan saavuttamisen (10 000 °C). Useimmat aineet säteilevät valoa niille tunnusomaisilla aallonpituuksilla korkeissa lämpötiloissa. Pitoisuusmäärityksiä voidaan tehdä mittaamalla alku- aineen aallonpituuksia. Eri alkuaineista peräisin oleva valo jaetaan eri aallon- pituuksiin hilan avulla ja rekisteröidään valoherkillä detektoreilla. ICP-AES on monialkuainemenetelmä, jonka havaitsemisrajan suuruusluokka on yleensä µg/l vesiliuoksessa. (ALS-analyysitekniikat.)

## **Tulokset ja niiden tarkastelu**

Hankkeessa analysoitiin viiden eri raaka-ainehakkeen ja niistä valmistettu- jen torrefioitujen biohiilipellettien kemiallinen laatu. Hakkeista ja pelleteistä määritettiin metallipitoisuus. Määritettäviksi maa-alkaleiksi, raskasmetalleiksi ja alkalimetalleiksi valikoituivat litium, natrium, kalium, beryllium, mangaani, kalsium, strontium, barium, kromi, kupari, mangaani, nikkeli, lyijy, vana- diini ja sinkki. Metallipitoisuus on ilmoitettu kuiva-ainetta kohti.

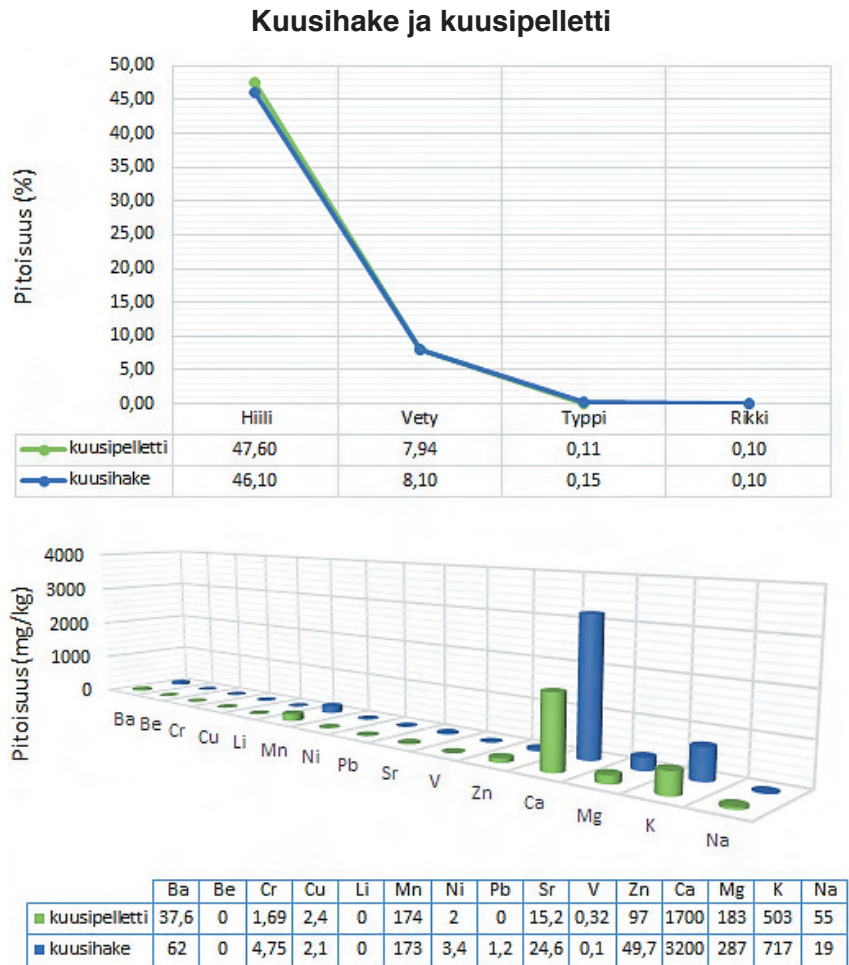
Viidestä hake-erästä ja niistä valmistetuista pelleteistä määritettiin myös haihtuvat alkuaineet. Alkuainepitoisuus on ilmoitettu prosenttiosuuden kes- kiarvona kuiva-ainetta kohti. Analysoinnissa on otettu huomioon veden alkuainepitoisuus, joka on poistettu analyysituloksista. Kuvissa 1–5 on esitetty raaka-aineena käytettyjen hakkeiden ja niistä valmistettujen torrefioitujen biohiilipellettien alkuainepitoisuus.

Kuvassa 1 on esitetty koivuhakkeen ja koivuhakkeesta torrefioitujen biohiilipellettien alkuainekoostumus. Koivuhakkeen ollessa torrefioinnissa raaka-aineena ei alku- ja lopputuotteen alkuainepitoisuudet juuri eroa toisistaan. Torrefiointiprosessi on kasvattanut kromi-, nikkeli- ja kalsiumpitoisuutta. Pitoisuuksien kasvut olivat kuitenkin hyvin maltillisia. Muiden analysoitujen alkuaineiden pitoisuudet ovat kasvaneet. Suurin kasvuprosentti alku- ja lopputuotteen välillä oli sinkki- ja mangaanipitoisuuksissa.



KUVA 1. Koivuhakkeen ja koivupelletin alkuainepitoisuus

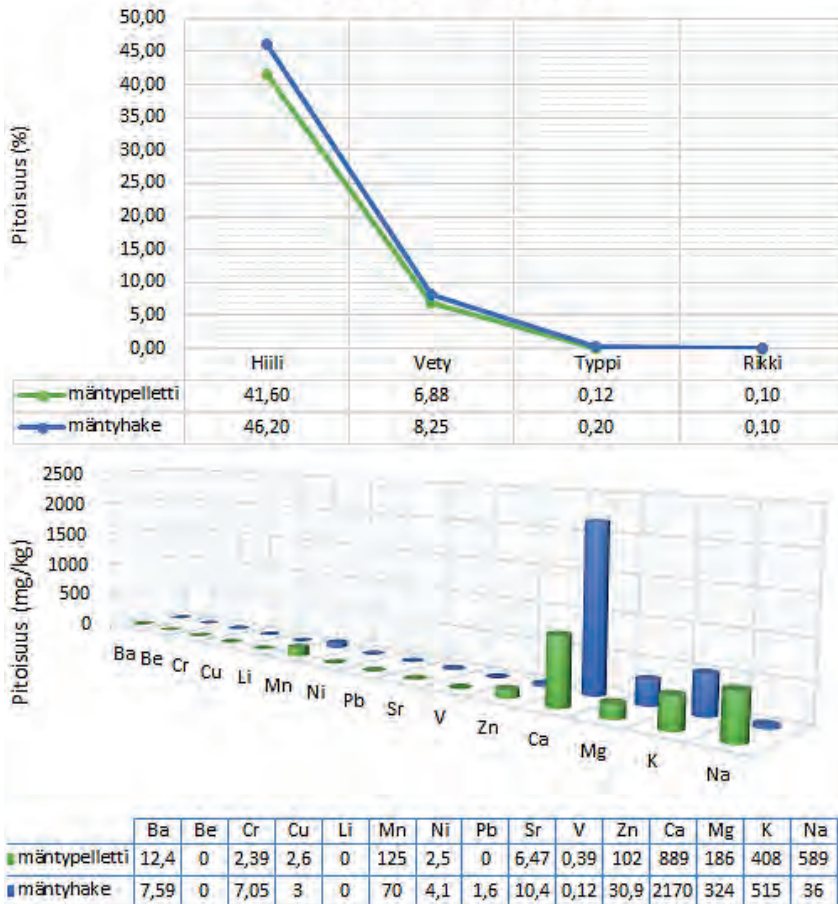
Kuvassa 2 on esitetty kuusihakkeen ja torrefoidun kuusipelletin alkuainepitoisuus. Pääasiassa torrefiointi vaikutti laskevasti alku- ja lopputuotteen alkuainepitoisuuteen. Ainostaan kupari- ja sinkkipitoisuudet nousivat kuusihakkeen ollessa torrefioinnin raaka-aineena. Muiden analysoitujen alkuainepitoisuuksien kohdalla tapahtui laskua.



KUVA 2. Kuusihakkeen ja kuusipelletin alkuainepitoisuus

Kuvassa 3 on esitetty mäntyhakkeen ja torrefioitujen mäntypellettien kemiallinen koostumus. Torrefiointiprosessi on pääasiassa laskenut analysoitujen mäntypellettien eri alkuaineiden pitoisuuksia. Mangaani-, vanadiini-, sinkki- ja natriumpitoisuudet olivat ainoastaan nousseet. Alku- ja lopputuotteen välillä kalsiumpitoisuus on torrefioinnin vaikutuksesta laskenut yli 50 prosenttia.

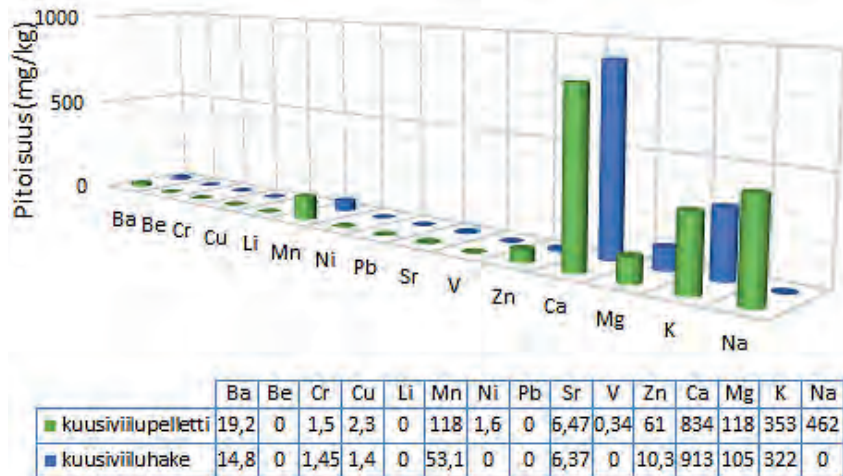
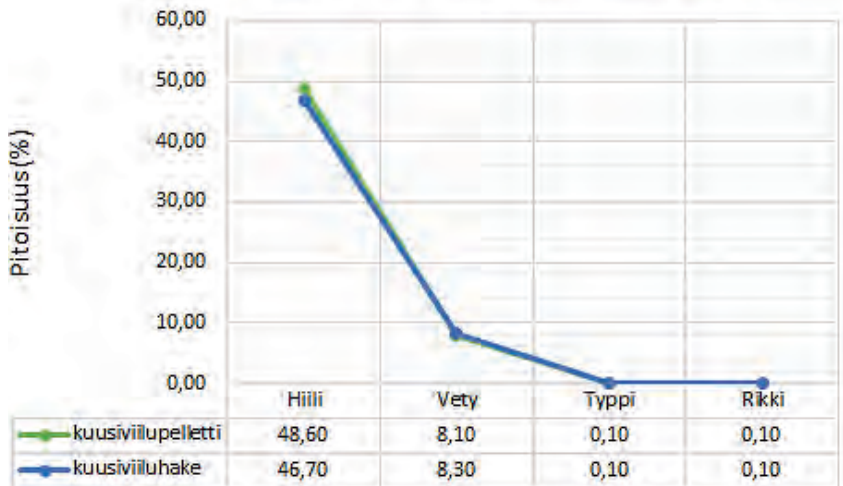
### Mäntyhake ja mäntypelletti



KUVA 3. Mäntyhakkeen ja mäntypelletin alkuainepitoisuus

Kuvassa 4 on esitetty kuusiviiluhakkeesta ja siitä valmistettujen torrefioitujen biohiilipellettien alkuainepitoisuus. Torrefoinnilla ei ole ollut vaikutusta biopolttoaineen hiili-, typpi-, vety- ja rikkipitoisuuteen. Ainoastaan hiilipitoisuus on hieman noussut, mutta ero alku- ja lopputuotteen välillä on hyvin vähäinen. Muista torrefiointiin käytetyistä raaka-aineista poiketen kuusiviiluhaketta torrefioitaessa kaikkien alkuaineiden pitoisuudet ovat nousseet kalsiumia lukuun ottamatta.

### Kuusiviiluhake ja kuusiviilupelletti



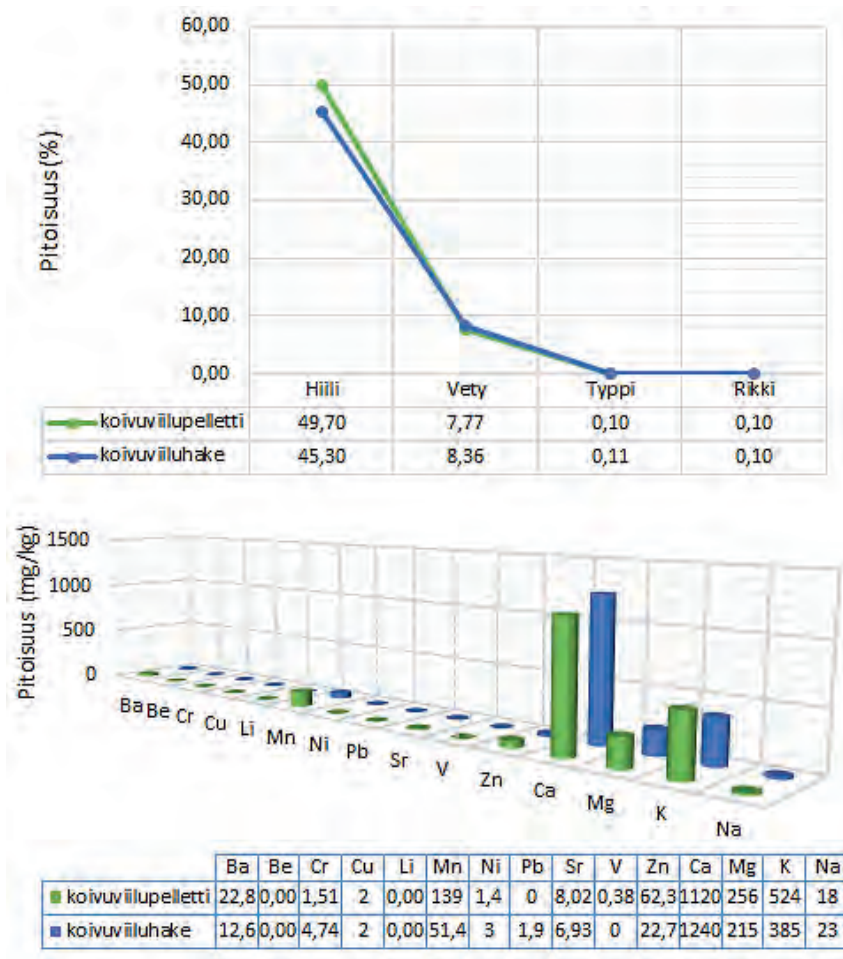
KUVA 4. Kuusiviiluhakkeen ja kuusiviilupelletin alkuainepitoisuus



Kuvassa 5 on esitetty koivuviuluhakkeesta ja siitä torrefioitujen biohiilipellettien kemiallinen koostumus. Torrefioinnilla ei ole ollut suurta vaikutusta biopolttoaineen haihtuvien aineiden pitoisuuteen. Hiilipitoisuudessa on analysoitu alku- ja lopputuotteen välillä alle 5 prosenttiyksikön nousu. Verrattaessa alku- ja lopputuotteen muita analysoituja alkuaineita torrefioinnilla ei ole ollut suurta vaikutusta pitoisuuseroihin. Kromi-, nikkeli-, lyijy-, kalsium- ja natriumpitoisuudet ovat nousseet torrefioinnin vaikutuksesta hieman. Muut analysoidut alkuainepitoisuudet ovat laskeneet tai pysyneet ennallaan.

Verrattaessa eri puulajeista valmistettujen alku- ja lopputuotteiden haihtuvien aineiden pitoisuuseroja, mäntyhaketta ja mäntypellettejä lukuun ottamatta torrefiointiprosessi nosti materiaalien hiilipitoisuutta. Torrefiointiprosessi on nostanut biomateriaalien hiilipitoisuutta noin 2–4 prosenttiyksiköllä, mutta mäntyhakkeen kohdalla hiilipitoisuus on laskenut viiden prosenttiyksikön verran.

### Koivuviuluhake ja koivuviulupelletti



KUVA 5. Koivuviuluhakkeen ja koivuviulupelletin alkuainepitoisuus

Biopolttoaineiden vetypitoisuutta tarkasteltaessa voidaan todeta pitoisuuksien olevan noin 7–8 % välillä. Torrefiointiprosessi laski alku- ja lopputuotteen vetypitoisuutta hyvin vähän tai sillä ei ollut vaikutusta. Poikkeuksena voidaan havaita mäntyhakkeen ja mäntypellettien välillä noin yhden prosenttiyksikön lasku alku- ja lopputuotteen välillä.

Tarkasteltaessa biopolttoaineiden typpipitoisuutta voidaan todeta, että torrefiointiprosessilla ei ole suuria vaikutuksia typpipitoisuuteen. Kaikkien biopolttoaineiden typpipitoisuus oli hyvin pieni: 0,1 % ja 0,2 % välillä. Pääsääntöisesti alkutuotteen typpipitoisuus laski jalostettuun tuotteeseen verrattuna; poikkeuksena tästä oli koivuhakkeen matalampi typpipitoisuus verrattuna koivupellettiin.

Tuloksien perusteella torrefiointiprosessi on laskenut alku- ja lopputuotteen kalsiumpitoisuutta. Suurin lasku on tapahtunut mäntyhakkeen ja mäntypelletin välillä. Muissa raaka-aineissa kalsiumpitoisuuden lasku ei ole yhtä suurta. Kaikkien raaka-aineiden kohdalla voidaan huomata torrefiointiprosessin nostaneen mangaani- ja sinkkipitoisuutta. Muutokset näiden alkuaineiden kohdalla olivat pieniä alku- ja lopputuotteen välillä. Mänty- ja kuusiviuluhakkeesta valmistettujen pellettien natriumpitoisuus on muihin biopolttoaineisiin verrattuna huomattavasti korkeampi. Yleistystä ei voida tehdä koskemaan kaikkia havupuista valmistettuja pellettejä, koska kuusihakkeesta valmistettujen pellettien natriumpitoisuus oli samaa pitoisuusluokkaa koivu- ja koivuviihupellettien kanssa.

## **Johtopäätökset**

Tulosten perusteella ei voida sanoa torrefiointiprosessin vaikuttaneen alkuaineipitoisuuteen merkittävässä määrin. Hankkeen biopolttoaineista analysoitiin valitut maa-alkalit, metallit, siirtymämetallit ja alkalimetallit. Suurin osa analysoiduista metallipitoisuuksista oli hyvin pieniä, eikä näiden kohdalla huomattu eroja alku- ja lopputuotteen välillä. Pitoisuuseroja voidaan havaita kalsiumin, magnesiumin, kaliumin ja natriumin kohdalla. Raskasmetallipitoisuudet eivät juuri eronneet toisistaan. Tulosten perusteella ei voida sanoa, että havu- tai lehtipuulla raaka-aineena olisi vaikutusta lopputuotteen kemialliseen laatuun. Puupolttoaineiden kemialliseen laatuun vaikuttaa maaperä, geologinen sijainti, sääolosuhteet ja varastointi. Raskasmetallipitoisuudet saattavat vaihdella paljonkin eri puulajien välillä. Tähän vaikuttavat maaperän raskasmetallipitoisuus ja ilman laskeutumien raskasmetallit.

## LÄHTEET

Alén, R. 2000. Structure and chemical composition of wood. *Forest Products Chemistry*, Fapet Oy, Helsinki, s. 11 - 57. Luettu 19.8.2015.

ALS analyysitekniikat. ALS life sciences. WWW-dokumentti. Luettu 5.8.2015.

Bioenergianeuvoja. Bioenergian pikkujättiläinen. WWW-dokumentti. Luettu 22.8.2015.

Jaarinen, Soili & Niirainen, Jukka 2008. Laboratorion analyysitekniikka. Edita prima oy

Tissue M, Brian 1996. Spectroscopy. SCIMEDIA. WWW-dokumentti. Luettu 5.8.2015. Päivitystietoja ei saatavilla.

Wilen C., Moilanen A., Kurkela E. 1996. Biomass feedstock analyses. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT publications 282. Luettu 5.8.2015.

# TORREFIOITUJEN BIOHIILIPELLETTIEN SÄILYVYYS JA VARASTOITAVUUS

*Jemina Suikki & Hanne Soininen & Sari Seppäläinen*

Biopolttoaineiden käytettävyyden laatua Tutkittaessa yhtenä mielenkiintoisena tekijänä on säilyvyys. Biopolttoaineiden, varsinkin pellettien, varastointi on suunniteltava huolellisesti, jotta se olisi toimivaa ja turvallista. Pelletti vie varastointitilaa huomattavasti vähemmän kuin monet muut biopolttoaineet. Pellettien säilytyksessä on kuitenkin vaatimuksia, jotka tulee ottaa huomioon turvallisuuden ja toimivuuden takaamiseksi. Pellettien varastoinnin huoltaminen on oleellista, jos halutaan säilyttää biopolttoaineen laatu mahdollisimman hyvänä ja taata turvallinen työympäristö säilön käyttäjille.

Torre eli Torrefoidun biohiilipelletin laatu ja varastoitavuus -hanke on Mikkelin ammattikorkeakoulun ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston yhteishanke. Torre-hankkeen yhtenä osakokonaisuutena toteutettiin koejärjestely, jolla jäljiteltiin torrefioitujen biohiilipellettien varastosäilytyksen olosuhteita. Koejärjestelyssä testattiin torrefioitujen biohiilipellettien säilytyksessä tapahtuvaa happi-, rikkivety-, metaani- ja hiilidioksidipitoisuuksien muutosta kolmessa eri lämpötilassa. Torrefoitujen biohiilipellettien säilyvyyttä selvitettiin myös puolen vuoden mittaisella kenttäkokeella.

## **Koejärjestelyt ja näytteiden analysointi**

Pellettien siilosäilytystä jäljittelevä koe järjestettiin laboratorio-olosuhteissa (kuva 1). Kokeeseen valittiin kaksi vertailukelpoista pellettinäyte-erää. Molempia näytteitä otettiin noin 90 litraa, jolloin voitiin asettaa kolme rinnakkaista koejärjestelyä kolmeen eri lämpötilaan. Koejärjestelyssä käytettiin 10 litran kannellisia saaveja, jotka varustettiin kaasunmittausletkuilla GeoTech GA5000-analysointia varten. Koeastiat tehtiin mahdollisimman ilmatiiviiksi, jotta kaasupitoisuuksien muodostumista voitaisiin seurata. Kaasumittausta varten asennetut näytteenottoletkut varustettiin sulkimilla. Koejärjestelyn aikana jouduttiin tiivistämään näytteenottoletkujen kiinnityskohtia.



KUVA 1. Pellettien siilosäilytystä jäljittelevä laboratoriomittakaavainen koejärjestely (kuvat Jemina Suikki)

Pellettinäytteet viilukoivu- ja viilukuusihake-eristä laitettiin ämpäreihin siten, että kaasujen muodostumiselle jäi ilmatilaa. Näyteastiat asetettiin kolmeen eri lämpötilaan (5 °C, 25 °C ja 35 °C) ja koejärjestelytilat varustettiin tallentavilla jatkuvatoimisilla lämpötilamittareilla. GA5000-analysaattorilla mitattiin koeastiassa vallitsevaa happi-, rikkivety-, metaani- ja hiilidioksidipitoisuutta 24 tunnin välein. Koejärjestely suoritettiin 1.7. - 17.7.2015 välisenä aikana.

Pellettien siilosäilytystä jäljittelevä koejärjestely purettiin 17.7., jonka jälkeen kaikki pellettierät eri lämpötiloista siirrettiin huoneenlämpöön säilytykseen. Kahden viikon säilytysjakson jälkeen kaikista koejärjestelyn pellettieristä analysoitiin massa, kosteus- ja tuhkapitoisuus. Analyysit suoritettiin seitsemän päivää säilytyskokeen purkamisen jälkeen. Saatuja tuloksia verrattiin vastaviin tuloksiin ennen koejärjestelyn aloittamista.

Hankkeen aikana analysoitiin myös yksi pellettierä, jota oli säilytetty Pur-sialan pilottilaitoksen varastossa säkissä. Pellettierä oli valmistettu Etelä-Savon Energia Oy:n sekahakkeesta ja sen torrefiointiajankohta oli 10.11.2014. Valmiiden pellettien säilöminen tapahtui varastorakennuksessa, joka ei ollut säänkestävä. Ilmatieteen laitoksen mukaan pellettien säilöntäaikana kylmin keskilämpötilakuukausi oli tammikuu (-6,5 °C) ja lämmin keskilämpötila-

kuukausi oli huhtikuu (3,4 °C). Pellettien säilytys kesti seitsemän kuukautta. Säilytyksen jälkeen pellettierästä otettiin laboratorionäyte ja siitä analysoitiin lämpöarvo ja kuiva-aine- ja tuhkapitoisuus. Saatuja tuloksia verrattiin vastaviin tuloksiin, jotka oli analysoitu ennen säilytystä.

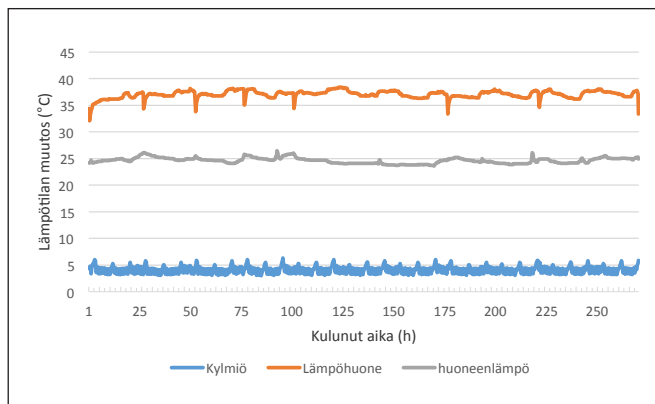
## Tulokset

Taulukossa 1 on esitetty siilosäilytystä jäljittelevän laboratoriomittakaavaisen kokeen tulokset koejärjestelyn alussa ja lopussa. Koejärjestelyssä seurattiin kolmessa eri lämpötilassa kahdesta eri puulajista valmistettujen TOP-pellettien koeastiassa tapahtuvaa happi-, rikkivety- ja hiilidioksidipitoisuuden muutosta. Kokeen aikana mitattiin myös metaanipitoisuutta, mutta yksikään testauseri ei muodostanut metaania, joten tulosta ei ole raportoitu osana koejärjestelyn tuloksia.

**TAULUKKO 1. Säilytyskokeen 14 vuorokauden aikana mitatut kaasupitoisuusmuutokset**

Lämpötila (°C)	Koeajoerä	Näyte	koejärjestelyn aloitus (0 päivää)			koejärjestely (14 vuorokautta)		
			CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
5	7	koivu	0,1	20,7	0	0,2	19,9	0
5	6	kuusi	0,1	21,4	0	0,17	20	0
25	7	koivu	0,1	20,2	0	1,5	11,4	12,3
25	6	kuusi	0,1	20	0	1,1	16,5	7,3
35	7	koivu	0,1	21,6	0	1,7	11,5	13,7
35	6	kuusi	0,1	21,5	0	1,7	14,9	10,7

Säilytyskokeen 14 vuorokauden aikana seurattiin kussakin olosuhdehuoneessa lämpötilan muutosta (kuva 2). Huoneisiin asennettiin jatkuvatoiminen tallentava lämpötilamittari, joka kirjasi ylös lämpötilan 15 minuutin välein.



**KUVA 2. Säilytyskokeen aikana tapahtuneet lämpötilan muutokset olosuhdehuoneissa**

Ennen laboratoriomittakaavan säilytyskokeen aloitusta koivuviilu- ja kuusiviilupellettieristä analysoitiin kosteus- ja tuhkapitoisuus sekä punnittiin kunkin koeastian pellettien massa. Säilytyskokeen jälkeen tehtiin vastaavat määritykset. Taulukossa 2 on esitetty 14 vuorokauden säilytyksen aikana tapahtuneet muutokset kosteus- ja tuhkapitoisuudessa sekä koe-erän massan muutos.

**TAULUKKO 2. Säilytyskokeen aikana tapahtuneet fysikaaliset muutokset torrefoiduissa pellettierissä**

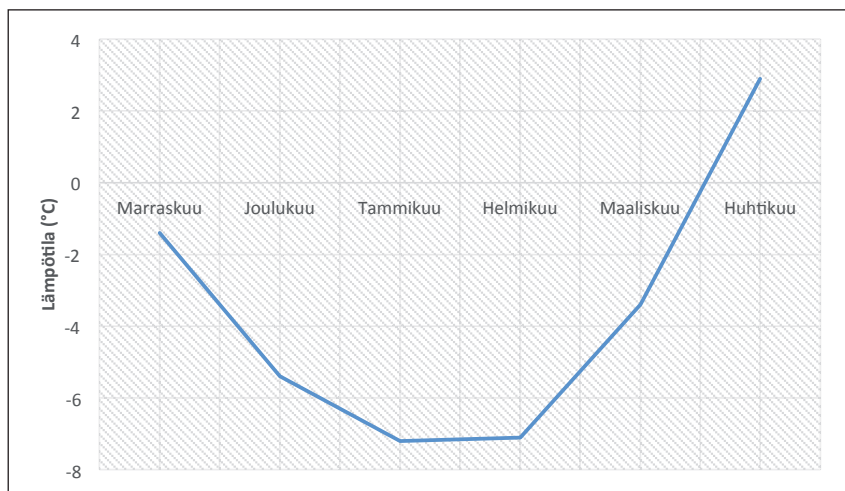
Lämpötila (°C)	Koeajoerä	Näyte	koejärjestelyn aloitus (0 päivää)			koejärjestely (10 vuorokautta)		
			Kosteus (%)	Tuhka (%)	massa (kg)	Kosteus (%)	Tuhka (%)	massa (kg)
5	7	koivu	5	1,16	5,17	5	1,22	5,16
5	6	kuusi	9	0,87	5,15	5	0,88	5,15
25	7	koivu	5	1,16	5,18	5	1,28	5,17
25	6	kuusi	9	0,87	4,88	6	0,88	4,88
35	7	koivu	5	1,16	5,07	5	1,26	5,03
35	6	kuusi	9	0,87	5,17	6	0,87	5,15

Hankkeen aikana selvitettiin varastoinnin vaikutusta yhden pellettierän fysikaalisiin ominaisuuksiin (taulukko 3). Etelä-Savon Energia Oy:n sekahakkeesta valmistetun pellettierän lämpöarvo ja tuhka- ja kosteuspitoisuus analysoitiin 11.9.2014 ennen varastointia. Varastoinnin jälkeen vastaavat ominaisuudet analysoitiin kesäkuussa 2015 varastoinnin jälkeen.

**TAULUKKO 3. Kenttävarastointikokeen ominaisuuksien muutos kuuden kuukauden säilytyksen aikana**

Näyte	Analysoitu	Koeajoerä	Kosteus (%)	Tuhka (%)	Lämpöarvo (MJ/Kg)
Sekahakepelletti	19.11.2014	8	6,56	1,31	19,78
Sekahakepelletti	18.6.2015	8	6,25	1,41	19,29

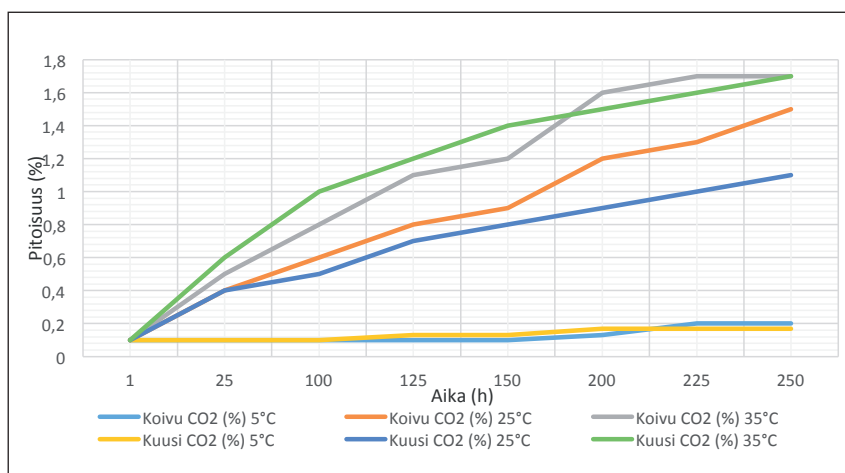
Hankkeessa suoritettu kenttävarastointikoe kesti seitsemän kuukautta, jolloin kokeessa analysoitu pellettierä oli varastoituna ulkovarastossa Pursialan koelaitoksella. Varasto ei ollut säänkestävä, mutta se esti sateen pääsyn sisätiloihin. Kuvassa 3 on esitetty varastointikokeen kuuden kuukauden aikana mitatut kuukausittaiset keskilämpötilat Mikkelissä.



KUVA 3. Kuukausittaiset keskilämpötilat Mikkelissä kenttäkokeen 2014–2015 aikana (NOAA)

## Tulosten tarkastelu

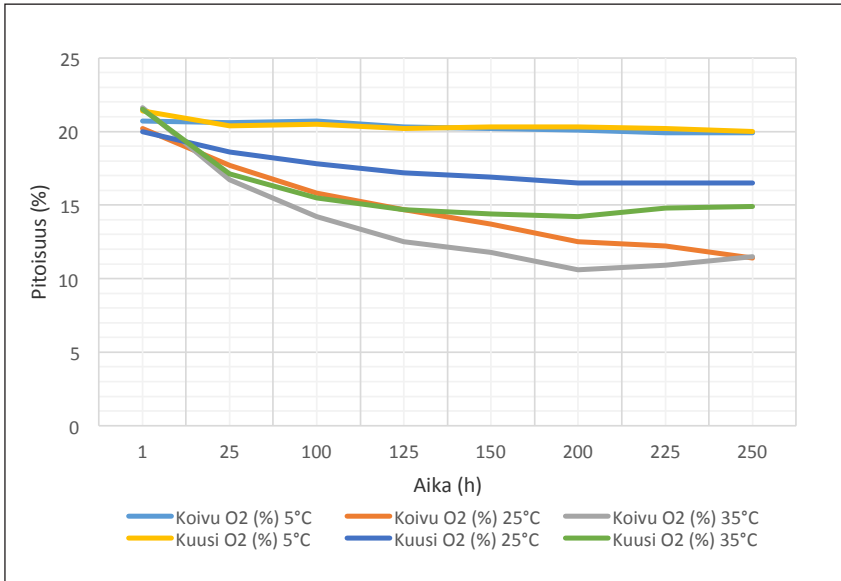
Kahdelle vertailukelpoiselle torrefioidulle biohiilipellettierälle suoritettiin siilosäilytystä jäljittelevä laboratoriomittakaavainen koejärjestely. Koejärjestelyssä mitattiin pellettien tuottamia kaasuja ja hapen syrjäytymistä ilmatiiviissä olosuhteissa. Mitattavia kaasuja olivat rikkidioksidi, hiilidioksidi, metaani ja happi. Kuvissa 4–6 on esitetty säilöntäkokeen aikana tapahtuneet kaasupitoisuuden muutokset 250 tunnin aikana. Koejärjestelyn aikana ei havaittu metaanipitoisuuksia.



KUVA 4. Hiilidioksidipitoisuuden muuttuminen ajan funktiona

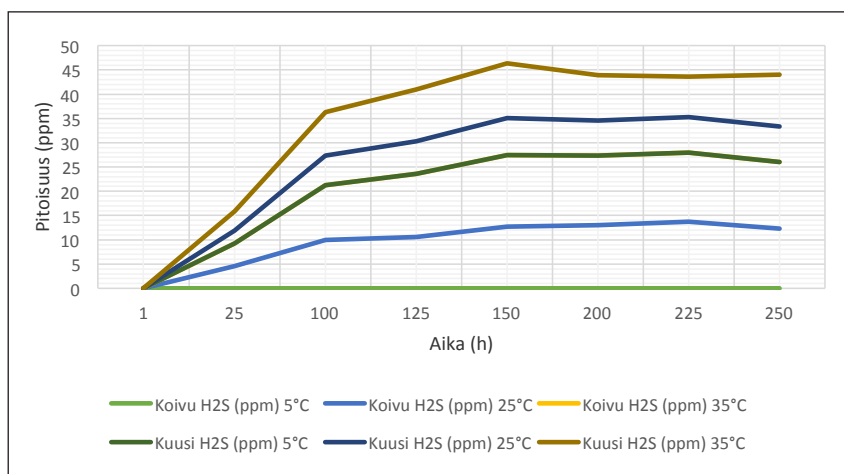


Hiilidioksidipitoisuuden kasvua tapahtui kaikissa kolmessa koejärjestelylämpötilassa. Prosentuaalinen pitoisuuden kasvu oli kuitenkin hyvin vähäistä. Alhainen lämpötila vaikutti kuitenkin hiilidioksidipitoisuuden kasvuun. Kylmiössä varastoitujen pellettien hiilidioksidipitoisuus nousi vain 0,1 prosenttiyksikön verran ja muutos alkoi koejärjestelyn lopussa. Koivu- ja kuusipellettien välillä ei ollut eroa. Huoneenlämpötilassa ja lämpöhuoneessa hiilidioksidia alkoi muodostua heti koejärjestelyn aloituksessa. Vertailussa olleiden koivu- ja kuusipellettien välillä ei ilmennyt merkittäviä pitoisuuseroja.



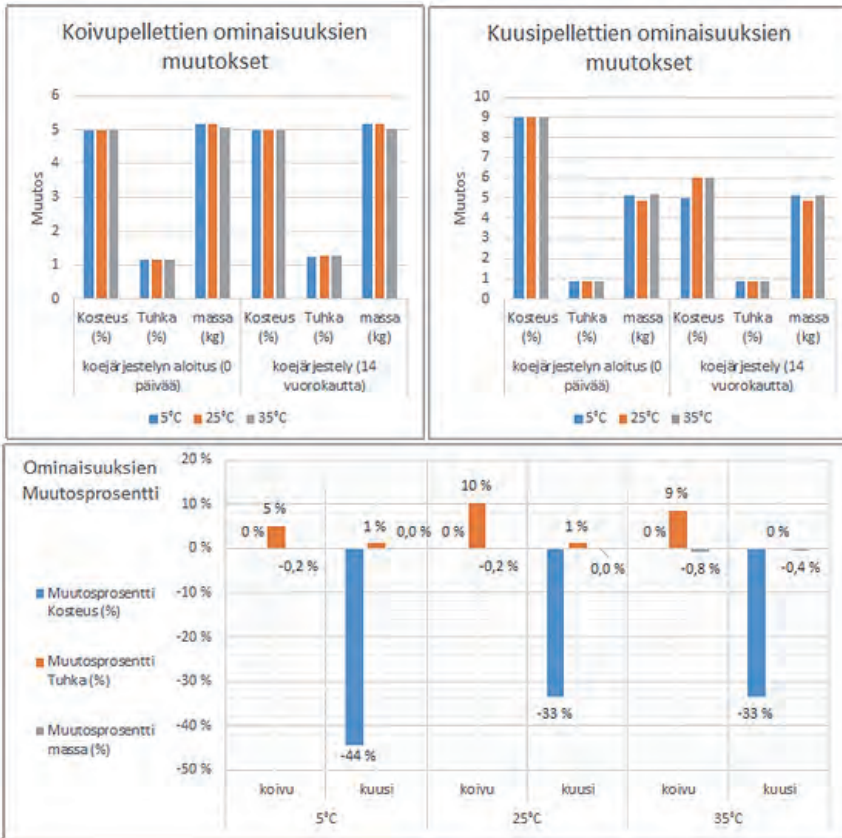
KUVA 5. Happipitoisuuden muuttuminen ajan funktiona

Koejärjestelyn aikana inertisointia tapahtui vain huoneenlämpötilassa ja lämpöhuoneessa varastoiduissa pelleteissä. Happipitoisuuden lasku oli suurinta lämpöhuoneessa, mutta erot lämpöhuoneessa ja huoneenlämpötilassa varastoitujen pellettien välillä olivat vähäisiä. Voidaan kuitenkin todeta, että korkeammassa lämpötilassa inertisointi on voimakkaampaa. Kylmiösäilytyksessä pelleteissä ei havaittu happipitoisuuden laskua. Koivusta valmistettujen pellettien koeastioissa happipitoisuus laski noin 20 %:sta noin 11 %:in. Kuusipellettien koeastioissa vastaavasti happipitoisuus laski vain noin 14 %:in. Koivupellettien koeastioissa inertisointi oli voimakkaampaa huoneenlämpötilassa ja lämpöhuoneessa. Huoneenlämpötilassa varastoidut koivupelletit syrjäyttivät happea tehokkaammin kuin 10 °C kuumemmassa säilötyt kuusipelletit.



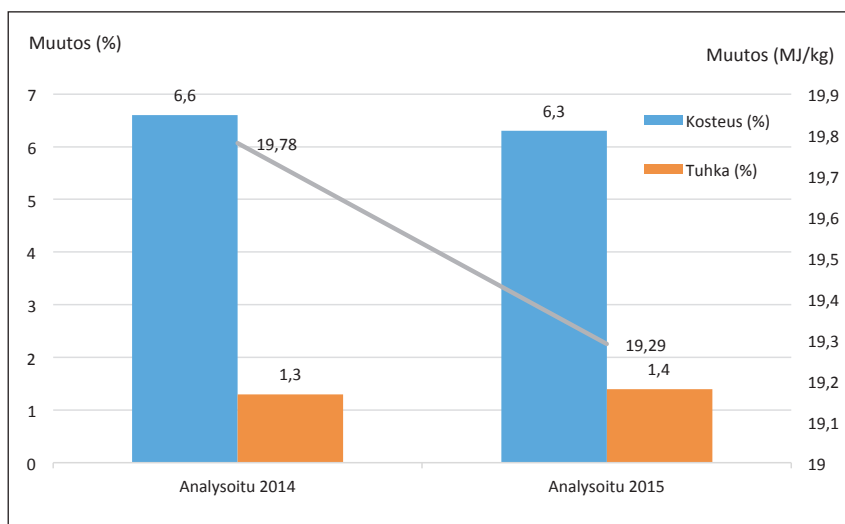
KUVA 6. Rikkivetypitoisuuden muuttuminen ajan funktiona

Koejärjestelyn aikana kylmiössä varastoidut pellettierät eivät muodostaneet rikkivetyä. Huoneenlämpötilassa ja lämpöhuoneessa varastoidut pellettierät alkoivat muodostaa rikkivetykaasua heti koejärjestelyn ensimmäisen vuorokauden aikana. Rikkivetypitoisuuden muodostumiseen vaikutti korkeampi lämpötila, mutta havaittavissa on myös eroja pellettien valmistusraaka-ainneiden välillä. Kuusihakkeesta valmistetut pelletit muodostivat vähemmän rikkivetykaasua kuin koivupelletit. Koejärjestelyn viidennestä päivästä lähtien koivuhakkeesta valmistettujen pellettien huoneenlämpötilassa olleista koeastioista mitattiin korkeammat H<sub>2</sub>S-pitoisuudet kuin kuusipellettiastioista, jotka oli sijoitettu 10 °C korkeampaan lämpötilaan lämpöhuoneeseen. Myös huoneenlämpötilaan varastoiduista koivu- ja kuusipellettieristä mitatut H<sub>2</sub>S-pitoisuudet eroavat toisistaan niin, että koivupelletit tuottivat enemmän rikkivetyä kuin kuusipelletit. Kuvassa 6 voidaan havaita lämpöhuoneessa varastoitujen kuusihakkeesta valmistettujen pellettien rikkivetypitoisuudessa notkahdus yhdeksäntenä koejärjestelypäivänä. Tämän voidaan arvioida johtuvan koeastioiden huonosta tiivistyksestä.



KUVA 7. Säilytyskokeen vaikutus pellettien fysikaalisiin ominaisuuksiin

Laboratoriomittakaavan säilytyskokeen jälkeen analysoitiin mukana olleista koivu- ja kuusipellettieristä massa, tuhka- ja kosteuspitoisuus. Saatuja tuloksia verrattiin saapumistilassa oleviin vastaaviin pelletteihin (kuva 7). Koejärjestelyn aikana ei havaittu suuria muutoksia pellettien massassa. Koivuviiluhakkeesta valmistettujen pellettien tuhkapitoisuus nousi koejärjestelyn aikana 5–10 %. Nousua tapahtui eniten huoneenlämpötilassa ja lämpöhuoneessa varastoiduissa koivupelleteissä. Tuhkapitoisuuden nousua ei havaittu kuusiviilusta valmistetuissa pelleteissä. Kosteuspitoisuus laski huomattavasti kuusiviilupellettien koejärjestelyn kohdalla. Suurin kosteuspitoisuuden lasku tapahtui koe-erissä, jotka varastoititiin kylmiöön. Muutosprosentteja tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että tuhka- ja kosteuspitoisuuden koejärjestelyn jälkeisiä analyysituloksia verrattiin saapumistilaisiin vastaaviin arvoihin. Molempia pellettieriä oli säilytetty varastoituna Pursialan Torrec Oy:n pilottilaitoksen varastossa ennen koejärjestelyn aloittamista. Säilytysaika on voinut vaikuttaa kosteuspitoisuuksien muutokseen koejärjestelyn sijaan.



**KUVA 8.** Kenttäkokeen aikana pellettien fysikaalisten ominaisuuksien muutos

Hankkeen aikana tutkittiin, miten ulkovarastosäilytys vaikuttaa pellettien lämpöarvoon sekä tuhka- ja kosteuspitoisuuteen. Analysoitavaksi pelletti-eräksi valikoitui Etelä-Savon Energia Oy:n sekahakkeesta valmistettu pelletti. Kenttäkokeen aikana muutokset analysoiduissa ominaisuuksissa olivat pieniä. Sekahakepellettien lämpöarvossa ja kosteuspitoisuudessa havaittiin pientä laskua (kuva 8). Tuhkapitoisuus nousi kenttäkokeen aikana 0,1 prosenttiyksikköä. Varastointikokeen seitsemän kuukauden säilytysaika ei juuri muuttanut analyysoituja ominaisuuksia. Lämpöarvon pieni lasku kertoo, että pelletti säilyttää hyvin lämpöarvon pitkästä varastointiajasta huolimatta.

### Johtopäätökset

Pellettien varastoitavuutta tutkittiin laboratoriomittakaavan säilytyskokeella ja seitsemän kuukauden kenttäkokeella. Laboratoriomittakaavan säilytyskokeessa tutkittiin kahden pellettierän kaasupitoisuusmuutoksia kolmessa eri lämpötilassa. Pellettien valmistusraaka-aineella ei ollut yhtä suurta vaikutusta kokeen tuloksiin kuin lämpötilalla. Säilytyskokeen aikana molemmat pellettierät olivat maksimissaan muodostaneet 1,7 % hiilidioksidia. Työterveyslaitoksen OVA-ohje määrittää, että lyhytaikaisena altistuksena alle 2 % hiilidioksidipitoisuudet eivät aiheuta oireita (Työterveyslaitos a). Kylmiön 5 °C lämpötilassa ei havaittu kummassakaan pellettierässä hiilidioksidipitoisuuden kasvua. Kokonaisuudessaan CO<sub>2</sub>-pitoisuuden kasvu oli pientä kaikissa lämpötiloissa, mutta lämpötilan voidaan todeta vaikuttavan hiilidioksidipitoisuuden kasvuun.

Rikkivety on vaarallinen soluhengitysmyrkky, joka aiheuttaa ärsytysoireita jo 10–20 ppm pitoisuuksissa. Akuutin altistumisen raja-arvona on 0,75 ppm/10 min ja työhygienisenä raja-arvona 10 ppm/15min (Työterveyslaitos b.) Säi-

lytyskokeen aikana kylmiössä säilytyksessä olleissa koeastioissa ei muodostunut rikkivetyä. Rikkivedyn muodostumiseen vaikutti korkeampi säilytyslämpötila, ja havaittiin myös puulajilla olevan vaikutusta pitoisuuden määrään. Koivupelletit muodostivat alemmassa lämpötilassa enemmän rikkivetyä kuin kuusipelletit 10 °C korkeammassa lämpötilassa. Yli 25 °C lämpötilassa molemmat pellettierät muodostivat rikkivetyä yli sallitun akuutin altistumisen ja työhygieenisen raja-arvon.

Säilytyskokeen aikana havaittiin lämpötilan ja puumateriaalin vaikuttavan koeastioissa vallitsevaan happipitoisuuden muutokseen. Kylmiösäilytyksessä koeastioiden O<sub>2</sub>-pitoisuus laski vain prosentit. Kuumemmissa varastointiolosuhteissa erot eri puulajeista valmistettujen pellettien välillä korostuivat. Koivupellettien säilytyksessä tapahtui inertisointia enemmän kuin vastaavien kuusipellettien säilytyksessä. Työterveyslaitos määrittää happipitoisuuden ohjeelliseksi raja-arvoksi 17 %, jonka alittuessa tulisi käyttää lisähappea. Säilytyslämpötilan ollessa yli 25 °C kuusi- ja koivupellettien säilytyksessä happipitoisuus laski alle ohjeellisen raja-arvon koejärjestelyn lopussa. Happipitoisuus laski nopeammin lämpimämmässä säilytysolosuhteissa.

## LÄHTEET

NOAA. National Centers for Environmental Information. <https://www.ncei.noaa.gov/>. Luettu 14.8.2015.

Työterveyslaitos, a. OVA-ohje: hiilidioksidi. <http://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.html>. Luettu 17.8.2015. Päivitetty 15.8.2014.

Työterveyslaitos, b. OVA-ohje rikkivety. <http://www.ttl.fi/ova/rikkivet.html>. Luettu 17.8.2015. Päivitetty 15.8.2014.

# TORREFIOINTIPROSESSISSA VAPAUTUNEEN LAUHDEVEDEN LAATU

*Jemina Suikki & Hanne Soininen & Mikko Järvenpää & Heikki Sonninen*

Biomassaa lämpökäsiteltäessä puun nesteiden tislautuminen alkaa noin 150 °C lämpötilassa, jolloin puuaineksesta höyrystyy siihen sitoutunut vesi. Sitoutunut vesi on adsorboitunut selluloosa- ja hemiselluloosamolekyylien pinnalle. Torrefiointiprosessin lämpötila on alle 240 °C, jolloin puusta tislautuu metanoli, etikkahappo ja furfuraali. Puutisleitä ja niiden komponentteja on tuotteistettu esimerkiksi lääke-, torjunta- ja pinnoitusaineiksi.

Mikkelin ammattikorkeakoulun Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston ”Torrefoidun biohiilipelletin laatu ja varastoitavuus” -yhteishankkeen aikana selvitettiin torrefiointiprosessista vapautuneen puulauhteen kemiallista laatua. Hankkeen pilot-toimintaa suoritti paikallinen Torrec Oy, joka kehittää ja kaupallistaa biohiilipellettituotantoteknologiaa. Torrec Oy:n biohiilipellettituotannossa erikoispiirteenä on, että pelletointiin ei käytetä lisätyjä sidosaineita.

## **Torrefiointiprosessi ja vapautuneet puutisleet**

Pilottilaitoksessa torrefiointi perustuu painovoimaiseen biomassan tulppavirtaukseen pystyasentoisessa reaktorissa. Torrefiointi tapahtuu tulistetulla höyryllä, prosessi inertisoidaan vesihöyryllä ja prosessin toistettavuus varmistetaan täsmällisellä prosessinhallinnalla. Lämmityksessä käytettävä korkeapaineinen höyry saadaan paikalliselta Etelä-Savon Energia Oy:n voimalaitokselta suoraan pilottilaitokselle. Hake kuljetetaan säilytyksestä torrefiointiyksikköön, jossa tapahtuu kaikki torrefiointivaiheet: esikuivaus, jälkikuivaus, paahtaminen ja jäähdytys. Koska torrefioitu biomateriaali on kuivaa, sen pelletointi on hankalaa.

Torrefiointivaiheessa biomassa lämpökäsitellään noin 250 °C lämpötilassa. Puun sitkeys katoaa ja rakenne haurastuu, jolloin sitä voidaan jauhaa perinteisissä olemassa olevissa hiilimyllyissä. Materiaalin tasapainokosteus laskee alle 5 %, eli se on hydrofobinen, mikä mahdollistaa varastoimisen myös ulkona. Torrefioitu materiaali siirretään säilytysyksikköön jäähtymään pelletointiä

varten. Torrefiointiyksikkö on täysin ilmatiivis, joten prosessi tapahtuu hapettomissa olosuhteissa.

Pelletöinnissä torrefioitu biomateriaali murskataan ja siihen lisätään torrefioinnissa vapautunutta lauhdevettä vähentämään kitkaa prosessissa ja sitomaan materiaalia. Materiaali työnnetään rei'itetyn matriisin läpi pyörän avulla. Reiän olennaisin osa on muutaman sentin mittainen puristuskanava, johon torrefioitua biomateriaalia syötetään jatkuvasti lisää. Kanavassa raaka-aineen lämpötila kohoaa jatkuvan puristuksen ansiosta. Pelletöitynä tuotteen tiheys ja ominaislämpöarvo kasvavat, jolloin energiatiheys on lähellä kivihiltä. Pelletöinnin jälkeen valmis tuote siirretään säilytykseen suurpakkauksiin.

Kuivauksen ja torrefioinnin seurauksena muodostuu lauhdevettä (kuva 1). Lauhdevedellä tarkoitetaan vettä, joka lähtee käsiteltävästä biomateriaalista prosessilämmön vaikutuksesta. Lauhdevesi sisältää enimmäkseen vettä, etikkahappoa ja muita hapettimia. Torrefioinnissa vapautunut lauhde voidaan jakaa kolmeen alaryhmään, jotka ovat vesi, orgaaniset aineet ja lipidit. Vesi on torrefiointiprosessin tärkein kondensoituvu tuote. (Tumuluru 2011.) Yhden kertapanostuotannon aikana syntyy noin 200 litraa lauhdetta, jota käytetään pelletöintivaiheessa sidosaineena puristamisen ja kuumentumisen helpottamiseksi.



KUVA 1. Prosessissa vapautunut lauhdevesi ja sen näytteenotto (kuvat Jemina Suikki)

## Näytteiden analysointimenetelmät

Torrefoinnissa vapautuneen lauhdeveden analysoinnissa selvitettiin kemiallinen hapenkulutus, kokonaisfosfori- ja typpipitoisuus, pH, sähkönjohtokyky ja kiintoainepitoisuus sekä hehkutusjäännös. Näytteet analysoitiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa. Analyysimenetelmät suoritettiin standardiohjeistuksien mukaan.

Kokonaisfosforinmääritys perustuu peroksidisulfaattihapetukseen, jossa näytteen sisältämä orgaaninen ja epäorgaaninen fosfori hapetetaan autoklaavissa. Tämän jälkeen se muutetaan värilliseen muotoon lisättävien reagenssien avulla. Värillisen fosforin absorbanssi mitataan spektrofotometrillä aallonpituudella 880nm. Lauhdesinäytteiden hyvin tumman värin johdosta tulee tehdä riittävät laimennokset, jotta analyysimenetelmä voidaan suorittaa.

Näytteiden typpipitoisuus määritetään ns. Kjeldahl-menetelmällä. Katalyysaattoria ( $\text{CuSO}_4$ ) ja pelkistintä (Dewardan metalliseos) sisältävää rikkihaposta näyteliuosta kuumennetaan polttolaitteessa noin 400–450 °C:ssa kunnes liuos on kirkas, eikä näytteessä ole enää mustaa hiiltä. Orgaaninen aine hapettuu kuparikatalyysaattorin ja rikkihapon vaikutuksesta hiilidioksidiksi, vedeksi ja ammoniakiksi. Ammoniakki sitoutuu rikkihappoliuoksessa ammoniumsulfaatiksi. Hiilidioksidi, rikkihaposta muodostuva rikkidioksidi ja vesi haihtuvat polton aikana pois. Nitraatti- ja nitriittityppi pelkistyvät Dewardan metalliseoksen avulla ammoniumtyypeksi, joka myös sitoutuu ammoniumsulfaatiksi. Ammoniakki tislataan tisluslaitteella, jossa se siirtyy vesihöyryn mukana tisluslaitteiston etuastiaan. Etuastiassa se sidotaan boorihappoon. Boorihappoliuoksesta ammoniakki titrataan suolahapolla. Haponkulutuksen perusteella lasketaan typen määrä näytteessä.

Lauhdesien kemiallinen hapenkulutus määritetään suljetulla putkimenetelmällä, jossa hapettimena käytetään dikromaattiliuosta. Näytettä keitetään kaksi tuntia suljetussa näyteputkessa väkevän rikkihapon, elohopeasulfaatin, hopeakatalyysaattorin ja tunnetun kaliumkloridimäärän kanssa. Näytteessä oleva hapettava aine pelkistää osan dikromaatista. Jäljelle jäävä dikromaattimäärä määritetään titraamalla rauta(II)liuoksella.  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ -arvo lasketaan hapena näytteen kuluttamasta dikromaattimäärästä.

## Hankkeen koeajoerät ja niiden tulokset

Taulukossa 1 on esitetty lauhdevesistä analysoidut tulokset. Hankkeeseen valikoitui neljä koeajoerää, joista kerättiin lauhdesinäytteet. Näytteenottopäivänä lauhdevesistä määritettiin pH ja sähkönjohtokyky, jonka jälkeen osa näytettä kestävästi kylmiösäilytykseen ja osa pakastettiin myöhemmin suoritettavia analyyseja varten. Näytteet tietyistä koeajoista valikoituivat satumanvaraisesti. Kaikissa koeajoissa ei ollut edes mahdollista saada näytettä lauhteesta.



## TAULUKKO 1. Lauhdeveden kemialliset ominaisuudet

Materiaali	koivulauhde	kuusilauhde	mäntylauhde	viilukoivulauhde
Johtokyky (mS/cm)	10,3	5,74	5,3	8,87
pH	4,04	4,24	4,11	3,83
Kemiallinen hapenkulutus (mg/l)	68000	18000	26000	71000
Fosforipitoisuus (µg/l)	247,0	51,6	74,9	210,9
Typpipitoisuus (mg/l)	21,0	8,75	7,0	35,0
Kiintoaines (%)	3,73	1,11	1,01	2,39
Tuhkapitoisuus (%)	1,07	0,39	0,40	0,74

Saatuja analyysituloksia verrattiin Valtioneuvoksen päätöksen (365/1994) määrittämiin raja-arvoihin teollisuusjäteveden kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja COD<sub>Cr</sub>-pitoisuuksista (taulukko 2). Torrec Oy on saanut ympäristöluvan laskea vesijohtoverkostoon pilottilaitoksensa ylijäämälahdevedet, jota pilot-laitoksen toiminnasta muodostuu.

## TAULUKKO 2. Pitoisuusraja-arvot teollisuusjätevedelle (VNp 365/1994)

Kemiallinen hapenkulutus (COD <sub>Cr</sub> )	125
Kokonaisfosfori	2
Kokonaistyyppi	15

Torrec Oy:n pelletöintiprosessin yksi ominaispiirteistä on, että lauhdevesi käytetään pelletöintiin lisättävien sidosaineiden sijasta. Pilottilaitoksen prosessissa vapautuneiden lauhdeiden käyttö pelletöintiin vähentää loppusijoitettavan jäteveden määrää. Torrefoinnin jälkeen ylijäämälahde, jota ei käytetty pelletöintiin, säilytettiin muovisäiliössä.

### Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Analyysitulosten perusteella voidaan todeta lauhdeveden kokonaisfosfori-, typpi- ja COD<sub>Cr</sub>-pitoisuuksien olevan huomattavan korkeat, kun raaka-ainemateriaalina on käytetty koivua (kuva 2). Pitoisuudet koivulauhteiden ja havupuulauhteiden välillä erosivat noin 60 %. Suhteet analysoitujen pitoisuuksien välillä näyttävät korreloivan osittain. Eroja eri raaka-ainemateriaalin korrelaatioiden välillä on, joten ei voida todeta analysoitujen kemiallisten pitoisuuksien olevan riippuvaisia toisistaan.



KUVA 2. Lauhdevesien kemiallisten ominaisuuksien keskinäinen korreloiminen

Kun verrattiin analysoituja kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja  $COD_{cr}$ -pitoisuuksia Valtioneuvoston (365/1994) päätöksen määrittämiin raja-arvoihin, voidaan vesijohtoverkoston todeta olevan sopimaton paikka kaikkien hankkeessa mukana olleiden lauhdevesien loppusijoituspaikaksi. Kaikkien lauhdevesien kemiallinen hapenkulutus on huomattavan korkea verrattuna asetettuihin enimmäispainoisuuksien raja-arvoihin. Kaikkien lauhdevesien kokonaisfosforipitoisuus on alle 2 mg/l, joten asetettu raja-arvo ei ylity. Koivuhakkeista vapautuneet lauhdevedet ylittävät sallitun 15 mg/l kokonaistyyppipitoisuuden raja-arvon. Koivun ollessa raaka-aineena torrefioinnissa on lauhdeveden kemiallinen koostumus voimakkaampi kuin havupuista saadun lauhdeveden. Vaatisi lisää tutkimuksia ja useampia koeajoja, jotta voitaisiin tarkemmin selvittää eri puulajien vaikutus tisleen kemialliseen laatuun.

## LÄHTEET

SFS 3021:1979. Veden pH-arvon määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 3008: 1990. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäätännöksen määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 5504: 1988. Veden kemiallisen hapen kulutuksen ( $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ) määrittäminen suljetulla putkimenetelmällä. Hapetus dikromaatilla. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 5505: 1988. Jäteveden epäorgaanisen ja orgaanisen typen määrittäminen. Modifioitu kjeldahlmenetelmä. Hapetus dikromaatilla. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 6878: 2004. Water quality. Determination of phosphorus. Ammonium molybdate spectrometric method. International Organization for Standardization.

Tumuluru, Jaya 2011. A Review on Biomass Torrefaction Process and Product Properties. PDF-tiedosto. Luettu 28.9.2015

Valtioneuvoston päätös yleisestä viemäristä ja eräiltä teollisuudenaloilta vesiin johdettavien jätevesien sekä teollisuudesta yleiseen viemäriin johdettavien jätevesien käsittelystä 1994. Valtioneuvoston päätös 365/1994.

# ETELÄ-SAVOSTA SAATAVILLA OLEVIEN MAATALOUDEN JA TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEIDEN SEOSTEN SOVELTUVUUS TERMOFIILISEEN ANAEROBISEEN KÄSITTELYYN

*Sami Luste & Leena Pekurinen*

Tutkimuksessa tarkasteltiin Etelä-Savossa saatavilla olevien materiaalien yhteismädätystä termofiilisessä (~55 °C) lämpötilassa. Tutkimuksessa huomiointiin kiertotalouden käytänteen vaateet lopputuotosten mahdollisimman korkealaatuiselle hyödyntämiselle, ja seokset jaettiin erillään mädätettävään maatalouspohjaiseen sekä teollisuuspohjaiseen seokseen. Seosten ominaisuudet tutkittiin ja niiden metaanin(CH<sub>4</sub>)tuottopotentiaaleja verrattiin olemassa oleviin kirjallisuusarvoihin. Lisäksi erikseen tutkittiin kalvoerotukseen perustuvalla puhdistuksella (MBR-tekniikka) erotellun jätevesilietteen soveltuvuutta anaerobiseen mädätykseen. Tutkimus on osa EcoSairila-projektia tukevaa tutkimusta.

## **Johdanto**

Biokaasulaitoksen tekniikkaan ja taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat ensisijaisesti saatavilla olevat materiaalit, niiden alkuperä ja lainsäädännön määrittämät käsittely- ja hyödynnysvaihtoehdot, materiaalien soveltuvuus (yhteis)mädätykseen sekä eri materiaalien spesifiset metaanin(CH<sub>4</sub>)tuottopotentiaalit.

Sähköä ja lämpöä sekä liikennepolttoaineena hyödynnettävää biokaasua sekä uusiolannoitteenä hyödynnettävää ravinnerikasta mädätettä voidaan tuottaa mm. maatalouden, yhdyskuntien ja teollisuuden jätelietteistä, sivuainevirroista ja jätteistä sekä peltobiomassoista. Tämän lisäksi stabiloivaa käsittelyä kaipaavat orgaaniset jätteet, sivutuotteet ja lietteet voidaan hyödyntää suljetusti niin, että kasvihuonekaasujen määrä vähenee verrattuna kontrolloimattomaan hajotukseen. Käsiteltävän materiaalin määrä ja ominaisuudet, prosessikokonaisuus sekä lopputuotteen käyttötarkoitus toimivat nimittävinä ajureina sopivaa syöteseosta muodostettaessa.

Karjan lietelanta ja jätevesilietteet ovat yleensä matalan kuiva-ainepitoisuuden (Total Solids; TS) materiaaleja: niiden vesi-osuus on korkea ja biologinen metaanintuottopotentiaali on suhteellisen matala (120–260 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS; Ahring ym. 2001; Møller ym. 2004; Amon ym. 2006; Bougrier ym. 2006; Lehtomäki ym. 2007a; Luostarinen ym. 2009). Ne tarjoavat kuitenkin erinomaisen pohjan yhteismädätettäville jakeille, joiden metaanintuottopotentiaalit ja TS-pitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat (taulukko 1). MBR-tekniikan käyttö jätevedenpuhdistuksessa lisääntyy vauhdilla, ja se tarjoaa mahdollisuuden poistaa vedestä yhä pienempiä haitta-aineita. MBR-lietteen käsittelyä anaerobisen mädätysprosessin raaka-aineena ei tiettävästi ole aiemmin tutkittu.

### TAULUKKO 1. Orgaanisille materiaaleille määritettyjä biologisia metaanintuottopotentiaaleja (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS)

Materiaali	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t VS	Lähde
Biojäte	300–400; 500–600	Heikkinen 2011; Kiviluoma-Leskelä, 2010; Watrec Oy, 2015
Hevosien kuivikelanta	100–400	Vänttinen ym., 2009; Luste ym. 2013
Kasvibiomassa	300–450	Lehtomäki ym. 2007
Nurmi	410	Luostarinen, 2013
Lehmän lanta	200–250	Watrec Oy, 2015
Naudan kuivalanta	126–250	Luostarinen, 2013
Paistorasvajäte	690–700	Heikkinen, 2011
Puhdistamoliete	200–400	Kiviluoma-Leskelä, 2010; Watrec Oy, 2015; Vänttinen ym., 2009
Rasvanerotuskaivon liete	920	Luostarinen, 2013
Sian lietelanta	300–400	Watrec Oy, 2015
Teollisuusliete (Metsät.)	100–120	Vänttinen ym., 2009
Teurasjäte	210–1000	Luste, 2011; Vänttinen ym., 2009

Termofiilinen käsittely (~55 °C) lisää seoksen hydrolyyttistä aktiivisuutta tehostaen näin mädätyksessä tapahtuvaa biohajoamista (Gavala ym. 2003; Climet ym. 2007; Lu ym. 2008; Ge ym. 2010). Se lisää myös mädätteen hygieenisyyttä verrattuna alemman lämpötilan anaerobisiin käsittelyihin.

Tutkimuksessa selvitetään Etelä-Savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien käsittelyä ja metaanintuottopotentiaaleja termofiilisessä (~55 °C) yhteismädätysprosessissa. Lisäksi tarkastellaan membraanikalvosuodatuksella (MBR) käsitellyn jätevedenpuhdistamolietteen soveltumista biokaasuprosessin raaka-aineeksi. Tutkimus on osa EcoSairila-projektia tukevaa tutkimusta, jossa tarkastellaan tulevan biokaasulaitoksen materiaalivirtojen yhdistettyä ja optimaalista hyödynnystä.

## Materiaalit ja menetelmät

Kokeessa tutkittiin Etelä-Savosta saatavilla olevien orgaanisten sivutuotteiden (taulukko 2) yhteismädätystä termofiilisessä (n. 55 °C) anaerobiprosessissa. Lisäksi tutkimme erillisesti MBR-lietteen soveltuvuutta anaerobiseen käsitteelyyn. Muiden raaka-aineiden spesifinen soveltuvuus mädätykseen on todettu aiemmissa Mamkin ja Itä-Suomen yliopiston tutkimuksissa (Luste ym. 2013; Luste 2011). Mädätyskokeet suoritettiin panosreaktoreissa, jotka käynnistettiin anaerobisesta prosessista peräisin olevalla bakteeriympillä. Kokeet kestivät 26–33 vuorokauden ajan. Muutoin raaka-aineista ja lopputuotteista määritettiin pH, TS, kiintoaine (Volatile Solids; VS) ja kokonaistyyppipitoisuudet. Lisäksi määriteltiin C:N-suhde sekä biohajoaminen (VS-poistuma). Tarkempi kuvaus koemenetelmistä on luettavissa Mamkin aiemmista julkaisuista (Luste ym. 2013, Luste 2011).

### TAULUKKO 2. Teollisuus- ja maatalouspohjaisten seosten materiaalit ja osuudet seoksissa

Teollisuusseos	Osuus (%)	Maatalousseos	Osuus (%)
Biojäte	44	Separoitu lehmän lanta	64
Teollisuusliete (UPM)	4,5	Hevoson kuivikelanta	15
Puhdistamoliete	15	Puutarhajäte	10
Rasvakaivoliete	1,1	Peltovihermassa **	10
MBR-liete	36		

Tutkimuksessa huomioitiin sivutuoteasetuksen piiriin kuuluvat materiaalien hygienisointivaatimus (1774/2002/EY) sekä lopputuotteen hyödynnettävyyteen vaikuttavat alkuperätekijät (mm. hyödynnys luomuviljelyssä). Tämän vuoksi materiaalivirrat jaettiin sekä teollisuus- että maatalouspohjaisiin syötteisiin. Saatavilla olevien materiaalien määrät ja kirjallisuudessa todennetut suhteet määrittivät syöteseosten tekemiseen käytettyjä materiaaliosuuksia (Luste ym. 2013a,b; Lehtomäki ym. 2007).

### Tulokset

Materiaalimääritykset suoritettiin sekä saatavilla olleista raaka-aineista että pannonen stabiloituneista lopputuotteista, mädätteistä (taulukko 3).

### TAULUKKO 3. Käytettyjen raaka-aineiden ja mädätteiden ominaisuudet

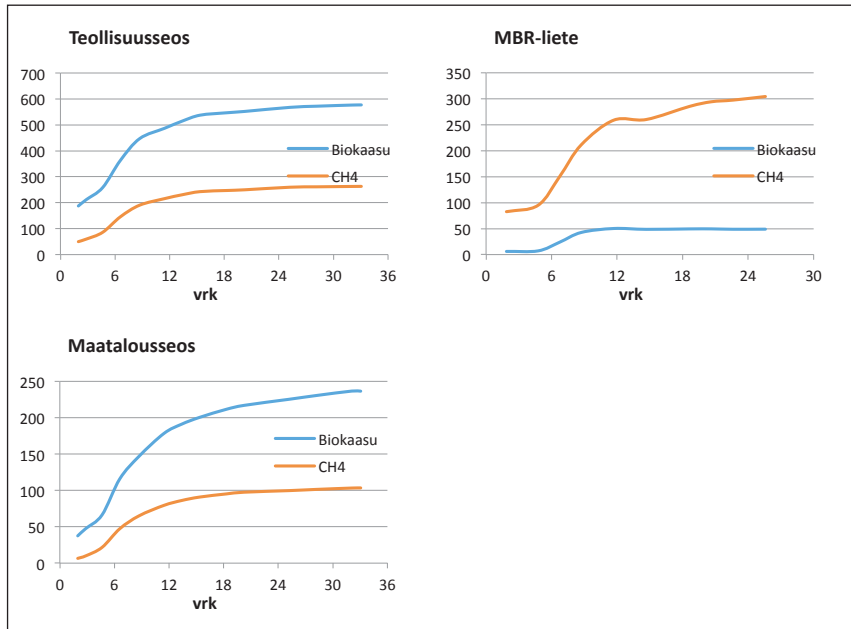
Raaka-aine	pH	TS %	VS %TS	N <sub>tot</sub> , g/100g TS	C:N
Biojäte	5,0	30	95	4,5	21:1
Puhdistamon MBR-liete	6,5	1,7	68	5,6	12:1
Puhdistamon aktiiviliete	7,4	17	60	4,5	22:1
Teollisuusliete (UPM)	6,4	16	83	3,8	9:1
Rasvakaivoliete	5,6	6,9	94	1,8	65:1
Separoitu lehmän lanta	8,1	19	88	2,6	33:1
Hevosien kuivikelanta	7,9	27	91	1,3	62:1
Puutarhajäte	4,9	38	75	1,4	57:1
Peltovihermassa	6,1	23	88	1,9	50:1
Ympäri	8,0	5,9	73	6,7	11:1
Mädäte	pH	TS %	VS %TS	N <sub>tot</sub> , g/100g TS	C:N
MBR-liete	7,6–7,7	1,6	50–51	6,2–6,8	8:1
Teollisuusseos	7,7	2,7–2,9	65–67	8,6–9,9	7:1
Maatalousseos	7,5–7,6	3,5–3,6	70–71	7,2–8	9:1
Ympäri	7,6	2,1–2,5	66–68		10:1

Rinnakkaisista panoksista määritettiin sekä muodostuneen biokaasun määrä että siinä olevan metaanin prosenttiosuus. Bakteeriympin kaasuntuotto on vähennetty materiaalien kaasuntuotosta (taulukko 4).

### TAULUKKO 4. MBR-lietteen sekä maatalouspohjaisen ja teollisuuspohjaisen seoksen biokaasu(BK)- ja metaanintuottopotentialit (m<sup>3</sup>/t VS; P1 = Panos 1; P2 = Panos 2)

Panos	BK	BK P1/P2	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> P1/P2	CH <sub>4</sub> %
MBR-liete	300	190	490	50	17
Teollisuusseos	580	670/490	270	300/220	45
Maatalousseos	240	300/180	130/80	105	42

Kuvassa 1 on esitetty materiaalien kumulatiivinen kaasuntuotto ajan funktiona. Materiaaleiksi valittiin MBR-liete, teollisuus- ja maatalousseos.



KUVA 1. Teollisuus- ja maatalouspohjaisten seosten sekä MBR-lietteen kumulatiivinen biokaasun ja metaanin tuotto (ml)

## Johtopäätökset

Etelä-Savosta saatavilla olevista materiaaleista muodostettujen sytöeseosten TS-pitoisuudet (teollisuuslietepohjainen seos 18 %; maatalouslietepohjainen seos 23 %) olivat sellaisenaan soveltuvia kuivaa mädätystekniikkaa hyödyntäviin prosesseihin (TS > 15 %; Nallathambi Gunaseelan 1997; de Baere 2005). Sen sijaan märkäprosessiin seosta tulisi laimentaa (TS < 10%) esimerkiksi kierrättämällä vettä (Kuokkanen 2010).

Kirjallisuudessa ja taulukossa 1 annettujen vaihtelujen perusteella lasketut metaanintuottopotentialit ovat teollisuusseokselle 450–560 ja maatalousseokselle 260–330 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS. Metaanin osuus biokaasusta (17–45 %) oli huomattavasti kirjallisuuden yleistä keskiarvoa (~60 %) pienempi. Tämä luultavasti johtuu sekä panostyyppisestä koejärjestelystä, jossa substraattia on rajoitetusti, että käytetyn bakteeriympin hitaasta adaptoitumisesta uuteen syötöeseen. Tämä näkyy erityisesti metaanintuotannossa, sillä metanogeenibakteerit ovat muutoksille kaikkein herkimpiä (Bitton 1999).

Jos metaanin osuus biokaasusta olisi ollut 60 %, niin molemmat tutkituista seoksista olisivat tästä huolimatta jääneet alle kirjallisuuden odotusarvojen. Myös MBR-lietteen metaanintuottopotentiali (180 m<sup>3</sup>/t VS) pysyi matalana verrattuna jätevedenpuhdistamolietteen metaanintuottopotentialeihin



(200–400 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS; Kiviluoma-Leskelä 2010; Watrec Oy 2015; Väntinen ym. 2009). Orgaanisen aineen väheneminen (VS-poistuma) oli panoksissa 65–73 %. Materiaalit olivat todennäköisesti suhteellisen loppuun asti hajonneita ja näin ollen luovuttaneet huomattavan osuuden sisältämästään biokaasusta. Noin 20 vuorokauden aikana saavutetaan noin 25–60 % poistuma, kun kokonaishajoamisen on erilaisissa syötepanoksissa raportoitu olevan 62–95 % (Luste 2011).

On oletettavaa, että osa materiaaleista ei käytännössä vastannut kirjallisuudesta löytyneitä vastaavia materiaaleja ja niiden metaanintuottopotentiaaleja (esimerkiksi rasvakaivoliete ja hevosenlanta). On myös mahdollista, että osa materiaaleista oli jo hajonnut ja menettänyt osan potentiaalistaan (esimerkiksi biojäte ja separoitu lehmänlanta).

## LÄHTEET

Ahring B., Ibrahim A., Mladenovska Z. (2001): Effect of temperature increase from 55 to 65°C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure. *Wat Res.* 35: 2446–2452.

Amon B., Kryvoruchko V., Amon T., Zechmeister-Boltenstern S. (2006): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agr Ecosyst Environ.* 112: 153–62.

Bitton G.: *Wastewater Microbiology*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley-Liss Inc., New York, USA, 1999.

Bougrier C., Delgenès J.-P., Carrère H. (2006): Combination of Thermal Treatments and Anaerobic Digestion to Reduce Sewage.

Climent M., Ferrer I., Mar Baeza M., Artola A., Vázquez F., Font X. (2007): Effects of thermal and mechanical pretreatments of secondary sludge on biogas production under thermophilic conditions. *Chem Eng J.* 133: 335–342.

De Baere L. (2005). Anaerobic Digestion of Solid Waste: State of the Art. *Wat Sci Tech.* 41: 283–290.

Gavala U. Yenal I.V. Skiadas P. Westermann B.K. Ahring B. (2003): Mesophilic, thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature. *Wat Res.* 37: 4561–4572.

Ge H., Jensen P.D., Batstone D.J. (2010): Pre-treatment mechanisms during thermophilic-mesophilic temperature phased anaerobic digestion of primary sludge. *Wat Res.* 44: 123–130.

Heikkinen (2011). Biokaasu workshop Keuruu -esitysaineisto. 23.2.2011.

Kiviluoma-Leskelä, L. (2010). Biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen Lappeenrannassa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 2010.

Kuokkanen P. (2010). Kananlannan ominaisuudet mädätyksen ja polton kannalta. Lappeenrannan teknillinen yliopiston julkaisuja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Suomi.

Lehtomäki, Annimari, Paavola, Teija, Luostarinen, Sari, Rintala, Jukka (2007). Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Jyväskylän yliopisto, 2007.

Lehtomäki A., Huttunen S., Rintala J. (2007): Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio. *Resour Conserv Recycl.* 51: 591–609.

Luostarinen, S. (2013). Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi – käytännön kokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta 2013. Teoksessa Biokaasuteknologiaa maataloilla I. MTT Raportti 113. MTT Jokioinen.

Luostarinen S., Luste S., Sillanpää M. (2009): Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat-processing plant. *Biores Tech.* 100: 79–85.

Luste, S. (2001). Anaerobic digestion of organic by-products from meat processing industry – The effect of pre-treatments and co-digestion (2011). Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences. ISBN 978-952-61-0522-2.

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

Luste, S., Soininen, H., Seppäläinen, S. 2013b. Etelä-Savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien soveltuvuus biokaasulaitoksen raaka-aineeksi – metaanintuottopotentialit, yhteismädätys ja hygienia. ES BIO-hankkeen loppujulkaisu. Energiaomavarainen maatila. Helsingin yliopiston julkaisusarja. <http://www.helsinki.fi/ruralia/julkaisut/pdf/Julkaisuja29.pdf>. Luettu 19.10.2015.

Møller H., Sommer S., Ahring B. (2004): Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass Bioenerg.* 26: 485–495.

Nallathambi Gunaseelan V., (1997): Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review. *Biomass Bioenerg.* 13: 83–114.

Vänttinen, V-H, Tähti, H, Seppälä, M, Lensu, A & Rintala J (2009). Optimizing the use of biogas technology for renewable energy production and material flow management in regional scale – case Central Finland. Teoksessa

Savolainen, Mia (toim.) Bioenergy2009. Sustainable Bioenergy Business. 4th International Bioenergy Conference from 31st of August to 4th of September 2009. Book of Proceedings Part II. Jyväskylä. FINBIO – The Bioenergy Association of Finland.

Watrec Oy. Selvitys biokaasun hyödyntämisestä osana jäteveden puhdistusta maataloilla ja meijereillä. Loppuraportti. Saatavilla <http://www.oulunkaari.com/tiedostot/Uusiutuvaenergia/raportit/Watrecin%20biokaasuselvitys.pdf>. Laadittu kesäkuu 2011. Luettu 13.8.2015.

# MITTAAMALLA KOHTI PUHTAAMPAA YMPÄRISTÖÄ

*Niina Laurila & Hanne Soininen*

Mitattu tieto ympäristöstä on avain päästöjen ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen. Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa - VIM –hanke tuottaa tietoa vesi- ja ilmapäästöjen määristä, koostumuksesta ja vaikutuksista. Analysoitu tieto auttaa alueen yrityksiä ympäristövaikutusten vähentämisessä, resurssien tehokkaassa käytössä ja kilpailukyvyyn kasvattamisessa. Mikkelin ammattikorkeakoulun toteuttamaa hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Etelä-Savon Energia Oy, Metsäsairila Oy ja Mikkelin Vesilaitos. Hanke alkoi 1.1.2015 ja päättyy 31.12.2016.

## **Tavoitteena kaupalliset sovellukset**

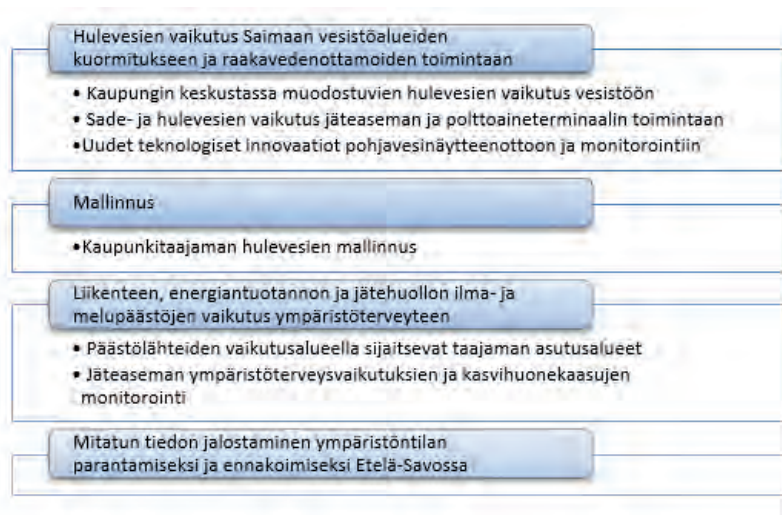
Hankkeessa tutkitaan näytteenoton, mittalaiteverkoston ja paikkatiedon avulla taajama-alueiden hulevesien vaikutusta Mikkelin vesistöalueiden kuorimitukseen ja raakavedenottamoiden toimintaan (kuva 1). Hankkeessa mallinnetaan hulevesien käyttäytymistä ympäristöriskien ennakoimiseksi ja mitataan ja analysoidaan liikenteen ja energiantuotannon ilma- ja melupäästöjen vaikutuksia taajaman ympäristöterveyteen.

Ympäristöstä mitattu tieto analysoidaan ja jalostetaan maakunnan ympäristötilan parantamiseksi ja kaupallisten sovellusten luomiseksi yrityksille. Eri-tyinen osuus tiedon jalostuksessa on kansainvälisillä verkostoilla ja mittaustiedon integroinnilla.



KUVA 1. VIM-hankkeen aikana otetaan näytteitä Mikkelin alueen vesistöistä (kuva Manu Eloaho)

Hanke jakautuu neljään eri toimenpiteeseen, jotka on esitetty kuvassa 2. Kuvassa esitettyjen toimenpiteiden lisäksi hankkeen aikana raportoidaan ja tiedotetaan hankkeen toimenpiteiden etenemisestä.



KUVA 2. VIM-hankkeen toimenpiteet

### Hulevesien vaikutus Saimaan vesistöalueiden kuormitukseen ja raakavedenottamoiden toimintaan

Hulevedet ovat sade- ja sulamisvesiä, jotka keräävät mukaansa ravinteita ja muita epäpuhtauksia. Hulevesien mukana pinta- ja pohjavesiin päätyy epäpuhtauksia, ravinteita sekä liikenteen päästöistä peräisin olevia ympä-

ristömyrkyjä, jotka lisäävät maaperän sekä pinta- ja pohjavesien pilaantumisriskiä. Hulevesimäärien oletetaan ilmastonmuutoksen myötä kasvavan entisestään. Tämän seurauksena myös kaupunkitulvat tulevat lisääntymään. Lisäksi jätevedenpuhdistamoihin päätyvät hulevedet aiheuttavat ongelmia, sillä ne heikentävät jäteveden puhdistamon toimintaa ja voivat lisätä ohjuoksutustarvetta.

Hankkeessa tutkitaan taajama-alueen hulevesien vaikutusta Mikkelin läheisen Saimaan vesistöalueiden kuormitukseen ja raakavedenottamoiden toimintaan. Päästöjen tarkastelua tehdään vuodenaikakierron mukaan ottaen huomioon vallitsevat sääolosuhteet. Näytteenottopisteiden valintaan on vaikuttanut muun muassa vesistöjen valuma-alueet, arvioidut päästölähteet sekä kohteet, joissa vesistökuormituksen tiedetään kasvavan. Hulevesien vaikutusta ympäristöön selvitetään manuaalisella näytteenotolla sekä online-mittauksilla.

Kuvassa 3 on esitetty VIM-hankkeessa käytössä olevien online-laitteiden mittaamat parametrit sekä perinteisellä laboratorioanalytiikalla tutkittavat muuttujat. Mikkelin ammattikorkeakoululla on käytössä kaksi online-mittaussondia, joilla monitoroidaan vedenlaatua. Mittareiden toiminta ja niiden mittaamien tulosten paikkansapitävyys todennetaan ottamalla mittauspisteestä säännöllisin väliajoin myös manuaalisia vesinäytteitä.

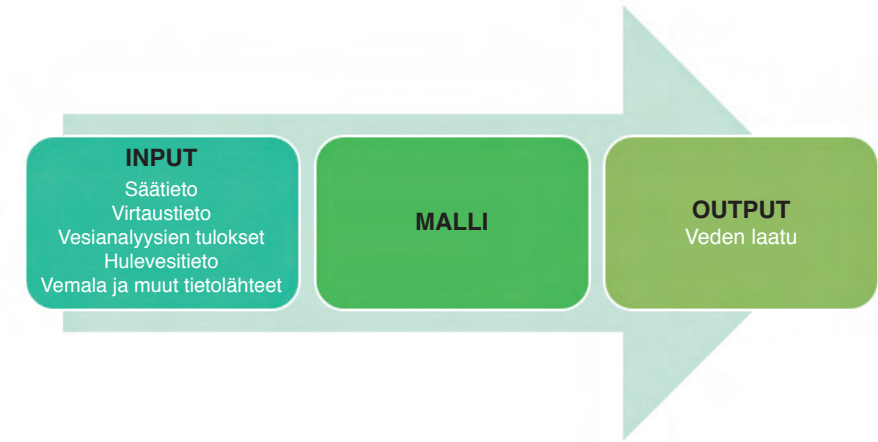
		
<p><b>On line-mittaukset, vesistösondi:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH, johtokyky, O<sub>2</sub> (mg/l, kyllästys%), lämpötila, sameus, TDS, paine, kloridi/nitraatti</li> </ul>	<p><b>On line-mittaukset, suovesianturi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH, johtokyky, lämpötila, sameus, redox (ORP), TDS, syvyys, suolaisuus, kloridi ja nitraatti</li> </ul>	<p><b>Manuaalinen näytteenotto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH, johtokyky, lämpötila, sameus, kiintoaine, ravinteet, (P, N), väriluku, happi, COD, redox, virtaama, kloridi ja nitraatti</li> </ul>

KUVA 3. Online-mittaussondien mittaukset ja manuaalisen näytteenoton analyysit (kuva Niina Laurila)

Lisäksi VIM-hankkeessa tutkitaan passiivisia näytteenottimia ja niiden soveltuvuutta maaperän kautta suodattuvien haitallisten aineiden mittaamiseen pohjavesistä. Hankkeessa selvitetään myös geotuubin soveltuvuutta haitallisia yhdisteitä sisältävien ruopattujen sedimenttien käsittelyssä.

## Hulevesien mallinnus

Hulevesien mallinnuksessa keskitytään kaupunkitaajamassa mitatun hulevesitiedon analysointiin ja jalostamiseen ympäristötilan parantamiseksi ja ympäristöriskien ennakoimiseksi (kuva 4). Mallinnuksen avulla voidaan entistä paremmin ymmärtää ja ennakoida esimerkiksi poikkeuksellisten sääolojen aiheuttamia riskitilanteita ja ongelmia.



KUVA 4. Mallintamisen periaate (kuva Tuija Ranta-Korhonen)

## Liikenteen, energiantuotannon ja jätehuollon ilma- ja melupäästöjen vaikutus ympäristöterveyteen

VIM-hankkeessa selvitetään myös ilma- ja melupäästöjen vaikutusta ympäristöterveyteen. Mittauksia tehdään päästölähteiden vaikutusalueella sijaitsevilla taajama-alueilla. Kohteista mitataan eri vuodenaikoina mm. melua, ilman hiukkas- ja kokonaispölypitoisuutta, kokonaislaskeumaa sekä kaasumaisia yhdisteitä (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, VOC). Lisäksi tehdään mittauksia henkilökohtaisilla hiukkaskeräimillä pienhiukkasten altistusalueella.

## Osaamista ennakoinnin tueksi

Hankkeen välittömät tulokset ovat mittaus- ja tutkimustietoa sekä menetelmäosaamista, joiden avulla voidaan ennakoida ja vähentää ympäristöriskejä. Tulokset auttavat yrityksiä tehostamaan energiantuotantoa ja vähentämään investointi- ja huoltokustannuksia. Kansainvälisen vertailun, kertyvän mitaustiedon ja soveltavan tutkimuksen avulla tunnistetaan ne alueelliset vaihtuudet, joita kehittämällä on mahdollista saavuttaa kansainvälistä kaupallista kärkeosaamista ympäristötiedon hyödynnyksessä.



# HULEVESIEN VAIKUTUS SAIMAAN VESISTÖALUEIDEN KUORMITUKSEEN JA RAAKAVEDENOTTAMOIDEN TOIMINTAAN

*Tuija Ranta-Korhonen & Niina Laurila*

Mitattu tieto ympäristöstä on avain päästöjen ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen. Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa -hanke tuottaa tietoa vesi- ja ilmapäästöjen määristä, koostumuksesta ja vaikutuksista. Analysoitu tieto auttaa alueen yrityksiä ympäristövaikutusten vähentämisessä, resurssien tehokkaassa käytössä ja kilpailukyvyyn kasvattamisessa. Mikkelin ammattikorkeakoulun hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Etelä-Savon Energia Oy, Metsäsairila Oy ja Mikkelin Vesilaitos. Tässä artikkelissa kerrotaan VIM-hankkeen toimenpiteen ”Hulevesien vaikutus Saimaan vesistöalueiden kuormitukseen ja raakavedenottamoiden toimintaan” alustavista tuloksista.

## **Hulevedet osana kaupunkiympäristöä**

Hulevedet ovat sade- ja sulamisvesiä, jotka huuhtovat mukaansa ravinteita ja epäpuhtauksia ja kuljettavat niitä pinta- ja pohjavesiin. Epäpuhtauksien lähteitä ovat muun muassa liikenne, eläinten jätökset, erilaiset laskeumat ja rakennustyömaat. Ongelmaksi hulevedet muodostuvat rakennetussa ympäristössä, jossa maan pinta on lähes kauttaaltaan katettu vettä läpäisemättömillä materiaaleilla.

Sademäärien kasvaessa ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät myös hulevedet. Samalla kaupunkitulvien riski kasvaa. Hulevesien pääsy viemäriverkostoon vuotovesinä heikentää jätevedenpuhdistamon toimintaa, mikä puolestaan näkyy pintaveden laadussa. Myös lumien sulamisen aiheuttama kuormitus ympäristössä kasvaa. VIM-hankkeessa selvitetään Mikkelin kaupunkitaajaman alueella syntyvien hulevesien vaikutusta Mikkelin alapuolisen Saimaan vesistöalueiden kuormitukseen ja raakavedenottamoiden toimintaan.

## Tutkimustyössä käytetyt menetelmät ja mittauspisteet

Hulevesien vaikutus ympäristöön selvitetään VIM-hankkeessa manuaalisella näytteenotolla sekä online-mittauksilla, joita tehdään säännöllisesti vuoden-aikakierron mukaisesti keväällä, kesällä sekä syksyllä. Näytteistä analysoitavat parametrit on esitetty taulukossa 1. Näytteiden analysointi suoritetaan Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa. Jokaisesta näytteestä tehdään kolme rinnakkaista analyysiä. Sääoloja seurataan Mikkelin ammattikorkeakoulun omalla sääasemalla, joka on sijoitettu kaupungin keskustassa sijaitsevan rakennuksen katolle.

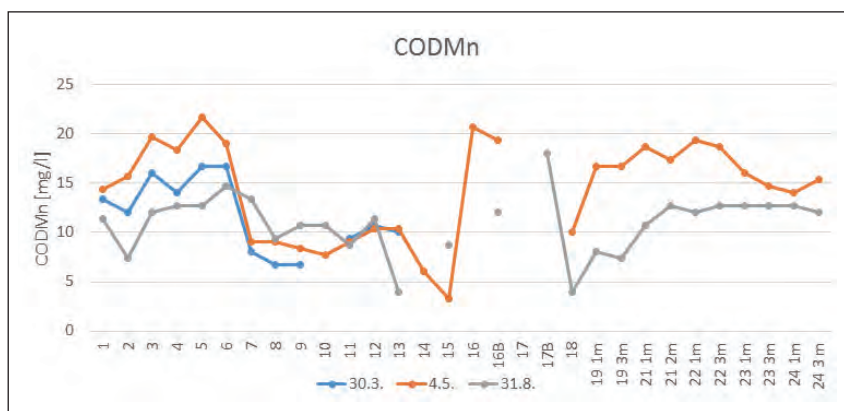
### TAULUKKO 1. Analyysimenetelmät määrittämisrajoineen sekä laitteistot

Parametri	Analyysimenetelmä	Ohjeelliset määrittämisrajat	Laitteisto
pH	SFS 3021 Veden pH- arvon määrittäminen		MeterLab PHM210 Standard pH Meter/WTW 3301
Sähkönjohtavuus	SFS-EN 27888 Veden laatu. Sähkönjohtavuuden määrittäminen		WTW 3301
Redox	WTW portable Meters	-2000 ... +2000 ±1 mV	WTW 3301
Sameus	SFS-EN ISO 7027 Veden laatu. Sameuden määrittäminen		Oaklon Turbidimeter T-100
Liukoinen happi	SFS-EN 25813 Veden laatu. Liuenneen hapen määrittäminen. Iodometrin menetelmä		
Kiintoaine	SFS 872 Veden laatu. Kiintoaineen määrittäminen	>2 mg/l	
Todellinen väri	SFS-EN ISO 7887 Veden laatu. Väriin tarkastelu ja määrittäminen		Hach Lange DR 6300
KMnO <sub>4</sub> / COD <sub>mn</sub>	SFS 3036 Veden kemiallisen hapen kulutuksen (COD <sub>mn</sub> - arvon tai KMnO <sub>4</sub> -luvun) määrittäminen. Hapetus permanganaatilla	> 1 mg/l	Hach Lange DR 6300
Kokonaistypppi	SFS-EN 5505 Jäteveden epäorgaanisen ja orgaanisen typen määrittäminen. Modifioitu Khjeldalmenetelmä.	>1 mg/l	
Kloridi	SFS 3002 Veden kloridipitoisuuden määrittäminen. Titraus Mohrin menetelmällä	10 ...250 mg/l	
Nitriitti	SFS 3029 Veden nitriittityypin määrittäminen	1 µg/l ... 500 µg/l	Hach Lange DR 6300
Kokonaisfosfori/ Liukoinen fosfori	SFS 3026 Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajotus peroksidisulfaattilla	0,2 ... 800 µg/l	Hach Lange DR 6300

Vesinäytteitä otetaan Mikkelin kaupungin taajama-alueella 7-nimisestä joesta (Panka-, Rouhialan-, Emolan- ja Rokkalanjoesta) sekä Saimaan vesistön Savilahdesta ja Launialanselältä. Lisäksi näytteitä otetaan Urpolanjoen valuma-alueeseen kuuluvista Pitkäjärvestä, Urpolanlammesta, Urpolanjoesta, Kattilanlahdesta ja Pursialanlahdesta. Tutkittava alue koostuu keskusta-alueen hulevesien sekä kaupunkitaajaman purkuvesien mittauspisteistä.

Online-mittaukset suoritetaan YSI-sondeilla, joita Mamkilla on kaksi. Sondeilla voidaan mitata seuraavia suureita: pH, sähkönjohtavuus, kylläinen happi, lämpötila, sameus, TDS, kloridi- ja nitraattipitoisuus. Kesällä 2015 online-mittauksia suoritettiin Pankajoella. Tällä hetkellä online-anturit on sijoitettu Veturitallin lahteen ja Kenkäveron jätevedenpuhdistamon alueella sijaitsevaan lampeen.

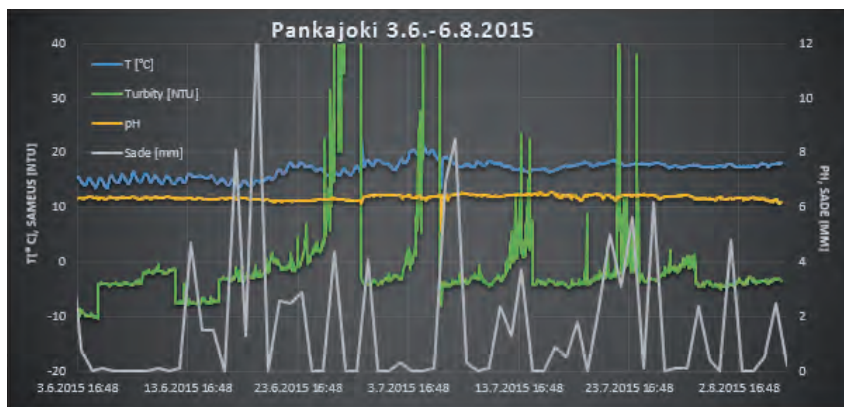




KUVA 2. Kaupunkitaajaman vesinäytteiden sameuspitoisuudet näytteenottoker-  
toina 1–4

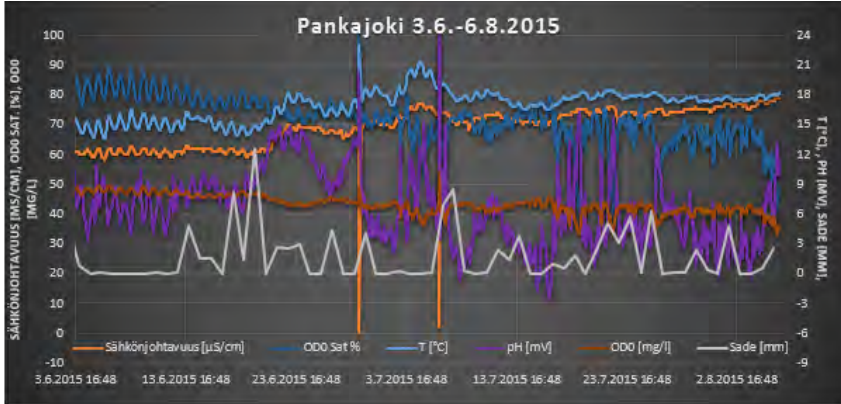
### Online-mittaukset

Pankajoella Online-mittauksia suoritettiin 3.6.–6.8.2015. Tuloksista nähdään sateen vaikutus sameusarvoon, sillä sen voi havaita kohoavan sateen myötä (kuva 3). Sameusanturin negatiiviset arvot johtuivat kalibrointivirheestä, jota ei onnistuttu poistamaan mittausajanjaksolla. Vaikka sameusarvo on negatiivinen, voidaan sen avulla kuitenkin nähdä olosuhteissa tapahtuneet muutokset.



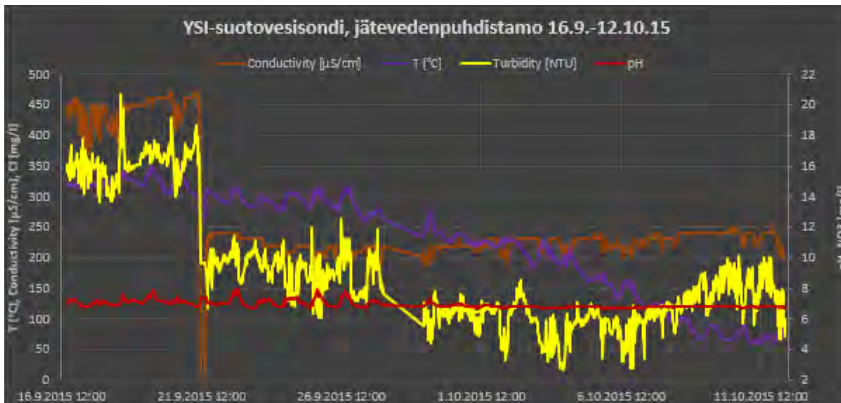
KUVA 3. Online-mittaukset 3.6.–6.8.2015

Jokeen liuenneen hapen määrä väheni veden lämpenemisen myötä (kuva 4). Myös sähkönjohtavuus nousi, mikä todennäköisesti viittaa anturin likaantumisen aiheuttamaan tuloksen ”ryömimiseen”. Tämä tarkoittaa sitä, että anturi olisi pitänyt kalibroida muiden antureiden kalibroinnin yhteydessä.



KUVA 4. Pankajoen online-mittaustuloksia

Kuvassa 5 on esitetty tuloksia Mikkelin jätevedenpuhdistamon lammella tehdyistä online-mittauksista. Uudelleenkalibroinnin myötä anturit saatiin asetettua oikealle mittaustasolle.



KUVA 5. Online-mittaukset, jätevedenpuhdistamon lampi 16.9.–12.10.2015

## Mittausten jatko

Selvitystyötä hulevesien vaikutuksesta ympäristöön jatketaan vielä vuoden ajan. Tämä vaatii lisädatan hankintaa sekä online-mittauksilla että manuaalisten näytteiden analysoinnilla sekä mittaustulosten tarkasteluilla. Online-mittaukset jatkuvat nykyisissä mittauspisteissä, sillä molempiin kohteisiin ohjataan kaupunkialueen hulevesiä. Manuaalista näytteenottoa jatketaan neljä näytteenottokertaa.

# UUDET MALLINNUSOHJELMISTOT VESIJÄRJESTELMIEN TUTKIMUKSESSA – HULEVEDET HALLINTAAN

*Hannu Poutiainen*

Artikkeli on osa Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa –hanketta. VIM-hankkeen tavoitteena on ennaltaehkäistä ja vähentää ympäristöpäästöjä sekä lisätä Etelä-Savon ympäristöturvallisuutta ja sekä lisätä että tunnistaa siihen liittyvää osaamista. Hankkeessa tuotetaan ja mallinnetaan ympäristömittaustietoa. VIM-hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Etelä-Savon Energia Oy, Metsäsairila Oy ja Mikkelin Vesilaitos.

## **Taustaa**

Automaation ja tietotekniikan kehitys näkyy nykypäivänä teollisen prosessitekniikan lisäksi myös traditionaalisemmilla aloilla, kuten jätevedenpuhdistuksessa ja vesijärjestelmien hallinnassa. Vaikka jatkuvatoimisten mittarien käytössä on haasteensa (Arola ym. 2014), ovat ennusteet niiden käytön lisääntymisestä (Olsson ym. 2005; Poutiainen 2010) toteutumassa. Suomessa ollaan hyvin mukana kehityksessä, ja jatkuvatoimisia antureita käytetään enenevässä määrin (Poutiainen & Heinonen-Tanski 2008).

Yksittäisten mittausten korvaantuminen online-järjestelmillä lisää datan määrää räjähdysmäisesti, ja kun datan oikeellisuus varmistetaan, antaa se mahdollisuuksia myös mallintamisen käyttöön. Malleja on toki hyödynnetty aiemminkin, mutta käsiteltävän datamäärän lisääntyminen korostaa niiden asemaa. Vaikka mallin toiminta viime kädessä perustuu perustutkimuksen antamiin tietoihin eri muuttujien välisistä lainalaisuuksista (esim. mikrobin hiilen, typen ja hapen käyttö/lisääntynyt biomassa) ja monia niiden antamia tuloksia voidaan laskea käsin (ja näin kannattaa välillä tehdä oikean toiminnan varmistamiseksi), tätä työmäärää ei voida käytännössä perustella. Mallit tuovat tehokkuutta ja järjestelmällisyyttä vesijärjestelmien hallinnan kehittämiseen. Mallien käyttöön pyritään tällä hetkellä luomaan myös laadun takaavaa ohjeistusta kansainvälisen vesijärjestön IWA:n toimesta (Rieger ym. 2012).

## Mallintaminen jätevedenpuhdistuksessa

Jätevedenpuhdistuksen malleja kehitettiin alun perin EU:n COST-projekteissa (COST 682; COST 624) Näiden tuloksena syntyi metodiikka puhdistusprosessin simuloimiseksi tietokoneella (Copp 2002) ja lopulta vuosien kuluessa laaja malliperhe, jossa voidaan käsitellä eri tyyppisiä prosesseja (taulukko 1).

**TAULUKKO 1. Eri determinististen aktiiviliitemallien erot**

ASM1	Orgaanisen aineen ja typen poistuminen prosessissa
ASM2	Laajenuksena biologinen fosforin poisto
ASM3	Mikrobisolujen käyttämät ravinteet tuodaan soluun sisälle ja säilytetään siellä ennen niiden käyttöä kasvuun (tämä on kuvattu matemaattisesti)
ASM2d	ASM2-malli, jonka parametrit on säädetty niin, että se antaa samat tulokset kun saksalainen standardi ATV-A-131

Toimiva jätevedenpuhdistamomalli on perustyökalu, jolla vesihuoltoinsinööri voi ennustaa puhdistamon toimintaa eri sisään tulevan kuorman arvoilla ja tutkia ja toteuttaa puhdistamontoimintaa optimoivia säätöratkaisuja. Yleinen ja toimiva strategia on esimerkiksi säätää sopivalla viiveellä aktiivilietealtaan ilmastusta influenttiin ammoniummittauksen osoittaessa kohonnutta jätekuormaa.

Kun puhdistamolle suunnitellaan esimerkiksi uusien ympäristövaatimusten johdosta muutoksia, voidaan mallinnuksella tutkia alustavia prosessivaihtoehtoja. Parhaassa tapauksessa osa normaalisti toteutettavista laboratorio- tai pilot-mittakaavan kokeista voidaan sivuuttaa ja saada huomattavia säästöjä. Edelleen mallien avulla voidaan olemassa olevan puhdistamon pullonkauloja identifioida ja toimintaa tehostaa vastaamaan laajenevien urbanisoituvien alueiden kasvavaan kuormaan. Lisäksi sisään tulevan virtauksen, ts. käytännössä sääolojen vaihtelujen, tai verkostoon liittyneen teollisuuden prosessien poikkeuksellisten päästöjen aiheuttamia riskejä voidaan tutkia käyttämällä dynaamista mallinnusta perinteisen staattisen analysoinnin sijasta. (Poutiainen 2010.)

Käytännön näkökulmasta ongelmana on, että mallinnuksella saadut edut ovat usein tapauskohtaisia. Mallin rakentamisen tarve johtuu jostain ongelmasta, joka vaatii ratkaisua. Tämä määrittelee myös tehtävän mallin ominaisuuksia, ja yleensä pyritään edullisimpaan mahdolliseen malliin. Toisaalta nykypäivänä uusia puhdistamoita suunniteltaessa voitaisiin jatkuvasti ylläpidettävä puhdistamomalli nähdä osana laitoksen ICA-ratkaisua (instrumentaatio, säätö ja

automaatio), jonka olemassaolo on osa laitoksen riskinhallintaa. (Poutiainen 2012.) Ideaalitilanne siis on, että mallinnus tehtäisiin ennen ongelmien synty- mistä puhdistusprosessin tai sisään tulevan virtauksen hallinnassa, ja ohjelmaa käytettäisiin prosessin ennakoivaan säätöön ja sen toimivuuden optimointiin ja energiankäytön minimointiin.

Kun Mikkelin uudelle jätevedenpuhdistamossa ollaan nyt ottamassa käyttöön membraanibioreaktoriteknikkaa (Poutiainen & de las Heras 2015), on tämän Suomessa uuden prosessin hallinta jo itsessään haaste. Tutkijayhteisössä pyritään kehittämään prosessinhallinnan avuksi matemaattista kuvausta myös MBR-yksikköoperaatiolle (Fenu 2010; Zuthi ym. 2012) – vastaavasti biokaasusureaktoreiden yleistyessä jätevedenpuhdistamoilla energian hinnan noustessa ja lietteen sijoitusongelmien yleistyessä panostettiin biokaasuprosessin kuvaamiseen (Nopens ym. 2009).

### **Mallinnuksen hyödyt ja käytännön esimerkkejä puhdistamomallintami- sesta**

Mallinnus tarkoittaa puhdistamoprosessin kuvaamista matemaattisesti taval- la, joka hyödyttää prosessin analysointia. Tavoitteena on perinteisesti ollut yksinkertaisin malli, joka on sopiva kuhunkin tarpeeseen tai päätöksenteko- tilanteeseen. Nyt mallinnustyökalujen kehityttyä voi toisaalta harkita myös monimutkaisemman mallin käyttöä, joka kuvaa tällöin prosessin olosuhteita tarkemmin. Yksinkertaisinkin malli perustuu tieteelliseen tutkimukseen. Täl- löin esim. sen sisältämät parametrit mikrobien kasvunopeudelle ja ylläpito- energian tarpeelle tai eri aineiden liukoisuusvakiolle prosessiolosuhteissa ovat perustutkimuksen antamia.

Jätevedenpuhdistamon mallinnus on vesijärjestelmien mallinnuksessa yleisin kohde. Tänä päivänä deterministiset mallit tehdään kaupallisilla ohjelmistoilla jotakin IWA:n ASM-malliperheen versiota käyttäen. Malleilla tutkitaan puh- distamon toimintaa erilaisilla dynaamisilla kuormituksilla ja etsitään proses- simuutoksia, jotka parantavat laitoksen kapasiteettia ja/tai puhdistustulosta. Erityisesti ilmastusta ja lietteen muodostukseen vaikuttavaa kemikaalien syöt- tää mallintamalla voidaan usein laskea puhdistamon suorita käyttökustannuk- sia huomattavasti (Murphy ym. 2009).

Esimerkkinä Yong ym. (2006) vertailivat kuutta eri puhdistamon hallinta- vaihtoehtoa tyypenpoistoon prosessissa, jossa oli käytössä nitraatin denitrifi- ointi ja läshiililähteen syöttö. Paras tulos saatiin, kun läshiililähteen syöttö aloitettiin nitraattipitoisuuden ylittäessä 2 mg/l toisen anoksisen säiliön jäl- keen ja kun lietteen takaisinkierätyksellä säädettiin nitraatti 7 mg/l tasolle vii- meisen aerobisen säiliön jälkeen. Prosessina oli Coppin ym. (2002) kuvaama Ludzack-Ettinger-aktiivilieteprosessi.

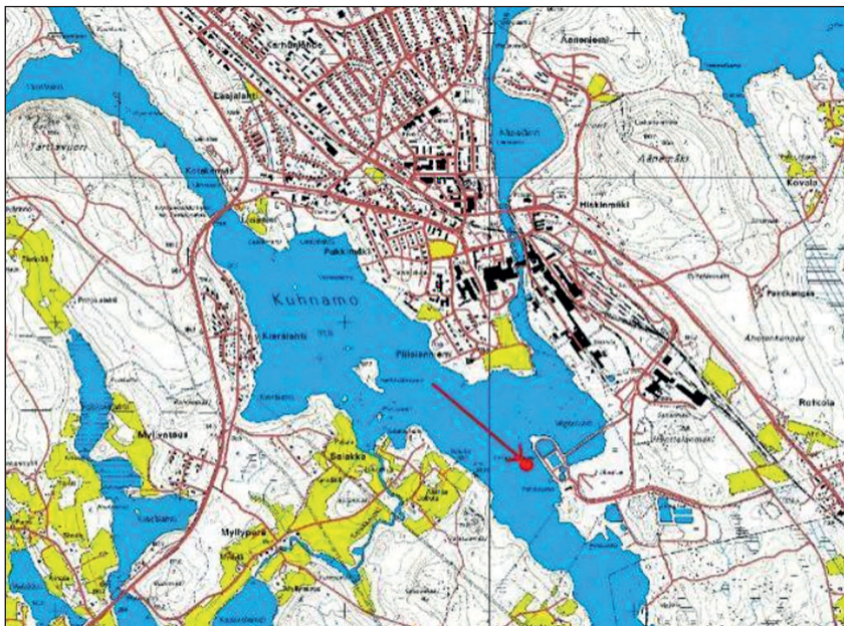


Hauduc ym. (2009) arvioivat, että globaalisti noin 2 000–5 000 henkilöä on erikoistunut vesijärjestelmien mallinnukseen ja käyttää ASM-malleja tai muita deterministisiä malleja – heistä suurin osa työskentelee tutkimuslaitoksissa ja vähemmistö insinööritoimistoissa. Myös suomalaisista insinööritoimistoista löytyy onneksemme alan osajia – kuten korkeakouluistakin.

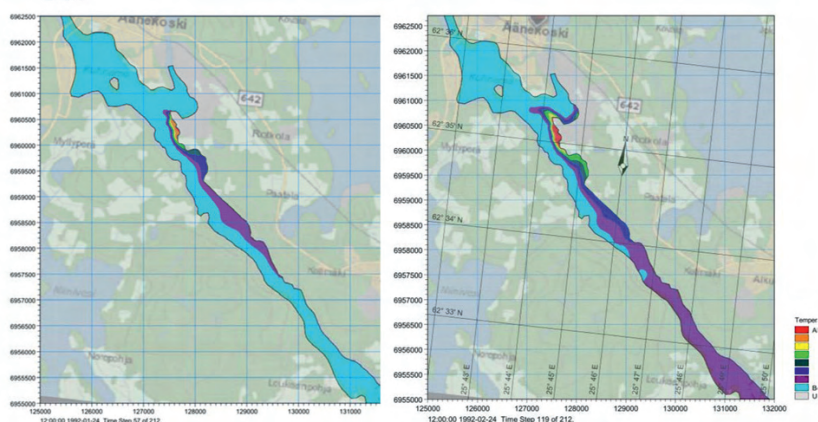
## Integroitu vesijärjestelmien mallintaminen

Mallinnusta käytetään jätevedenpuhdistamon prosessimallinnuksen lisäksi myös viemäriverkostojen suunnittelussa ja toiminnan optimoinnissa. Yleisimmät käyttökohteet ovat putkiston saneerausjärjestyksen suunnittelu, viemäriverkoston pumppujen käytön optimointi korkean kuorman aikana ja vuotojen havainnointi. Mallinnuksessa verkostodatan tulee olla luotettavaa. Tällä hetkellä verkostojen kartoituksessa käytetään mm. akustisia ja sähkömagneettisia tekniikoita, paineaaltoanalyysia sekä virtaaman seuraamista rajoitetussa verkoston osassa (Aksela 2010; Poutiainen 2012).

Edelleen joen tai vesialueen virtaamaa ja muita ominaisuuksia voidaan tutkia omalla mallinnusohjelmallaan. Suomessa on tutkittu esim. Äänekoskelle rakennettavan biodiesellaitoksen jäähdytysveden vaikutuksia alapuolisen vesistön olosuhteisiin (lämpötilaan) Mike21-virtausmallilla (Biodiesellaitos 2010). Tuloksien perusteella voidaan vetää johtopäätöksiä vaikutuksista kasvillisuuteen ja kalakantoihin ja vertailla eri jäähdytysvesien purkuputkien sijaintivaihtoehtoja (kuvat 1 ja 2).



KUVA 1. Äänekosken biodiesellaitoksen rakennuspaikka (Biodiesellaitos 2010)



KUVA 2. Jäähdytysveden vaikutus (keskivirtaama 2,65 m<sup>3</sup>/s, keskilämpötila 30,2 °C) Kuhnamon veden lämpötiloihin 50 m<sup>3</sup>/s (vasen) ja 100 m<sup>3</sup>/s (oikea) kokonaisvirtaamalla (Biodiesellaitos 2010)

Kun yhdistetään sadantaennusteet, malli, joka kuvaa hulevesien kulkeutumista puhdistamoille, luonnonmukaisiin käsittelyjärjestelmiin tai vesistöihin, viemäriverkostomalli ja puhdistamon toimintaa kuvaava malli sekä virtaamamallit vesistöissä saadaan tehtyä ns. integroitu vesimalli. Koska usein vieläkin nämä eri osat kuvataan eri ohjelmistoilla, on haasteena tiedon yhteensopiavuus. Mamkissa on käytössä yhden valmistajan ohjelmistoperhe, joka kattaa nämä kaikki alueet; nämä vaikeudet on siis oletettavasti minimoitu.

On kuitenkin huomioitava, että laajan toimivan mallin luominen on vuosien työ. Esimerkiksi Århusissa (Water Vision 2100) tehtiin sade-ennusteen perusteella puhdistamon sisäänvirtaaman eli influenttin välisäiliöiden kapasiteetin käytön optimointi ja automaattisen säätöjärjestelmän rakentaminen seitsemän vuoden aikana ja 50 m€ kokonaiskustannuksin. Kustannuksissa säästettiin kuitenkin 60 %, kun muutenkin uudistettavien välisäiliöiden kokoa ja sitä kautta investointikustannusta voitiin pienentää.

Haasteena mallien hyödyntämisessä on riittävän ja virheettömän datan saatavuus. Jos käytetään monimutkaista determinististä mallia tilanteessa, jossa data on vähäistä tai sen laatu puutteellista, voi tämä antaa erheellisen kuvan mallin oikeellisuudesta. Siksi mallien kalibrointi ja validointi on äärimmäisen tärkeää. Malleja kehitettäessä on varattava riittävä työpanos datan generoimiselle, ja jos se on jo saatavissa, sen tarkastamiseen ja tarvittaessa korjaamiseen. Onneksi tähän on työkaluja olemassa; esim. sensoririkoista johtuvia puuttuvia arvoja on mahdollista korvata matemaattisesti (Rustum & Adeloey 2007).

## Mallit hulevesien hallinnassa

Hulevedet tarkoittavat sade- ja valumavesiä, jotka syntyvät taajama- tai kaupunkialueella ja jotka johdetaan joko luonnonuomissa tai tätä varten erikseen rakennetuissa viemäristöissä käsiteltäväksi tai suoraan luontoon. Usein hulevedet ovat syynä tulviin kaupunkialueilla, koska hulevesiverkoston mitoitukset on suunniteltu keskimääräiselle kuormalle, ja sateen voimakkuus voi vaihdella hyvin voimakkaasti.

Mallinnuksen tavoitteista riippuen voi hulevesimalli koostua eri moduuleista. Esim. erillisviemäroidyn kaupunkialueen hulevesimalli koostuu vain Urbanviemäriverkkomallista. Taajaman malli voi koostua Mike SHE –mallista, joka kuvaa tietylle alueelle kertyvän sadeveden liikkumista maan pinnalla ja sen läpi ja lopulta kulkeutumista avouomiin ja niiden kautta vesistöihin.

Malleissa voidaan käsitellä virtaustietoa sekä tietoa veden laadusta, ja niillä voidaan tutkia yksittäisen tapahtuman vaikutuksia tai tehdä jatkuvaa simulaatiota pitemmän aikasarjan avulla. Sateen määrä vaikuttaa suoraan valuma-alueen eri osiin ja siihen, kuinka paljon ravinteita huuhtoutuu veden mukana eteenpäin. Mallissa voi olla mukana lukuisia avouomia ja erillisviemäreitä ja erilaisia virtauksen säätelyrakennelmia ja pumppuja.

Myös Mikkelissä on mahdollista hyödyntää malleja tutkittaessa kaupungin hulevesien vaikutuksia Saimaan vedenlaatuun. Tällöin tulee käyttää kaksidimensionaalista matemaattista mallia (Mike 21) yhdistettynä vedenlaatumoduuliin (Ecolab). Aiempia tehtyjä tutkimuksia, joissa em. malleja on hyödynnetty, on olemassa jonkin verran. Esim. Zhu ym. (2013) tutkivat Erhai-järven veden (Mekong-suisto, Kiina) virtauksia ja laatua perustuen järveen virtaavien jokien dataan. Filipova ym. (2012) käyttivät Mike 21 -mallia Göteborgin (Ruotsi) keskustan tulvamallin luomiseen. Mallia voidaan käyttää erilaisia tulvimisenestotoimenpiteitä priorisoitaessa.

Zhun ym. (2013) esimerkin pohjalta voidaan Mikkelissä esim. mallintaa hulevesien purkuputkien vaikutuksia vedenlaatuun kaupunkia ympäröivissä vesistöissä. Mallin kalibrointiin käytetään VIM-hankkeessa tehtäviä mittauksia veden virtaamasta ja laadusta.

## LÄHTEET

Aksela, K. (2010). Kaikki irti vuodoista. *Vesitalous* 6, 11.–17.

Arola, J., Aarniosalo, P., Poutiainen, H., Hannus, E. and Isotalus, H. (2014). Open-tietojärjestelmä – Etämonitoroinnin kehittäminen osana ympäristöteknologian koulutusta ja innovaatiotoimintaa Mikkelin ammattikorkeakoulun julkaisusarja A – Tutkimusraportteja 88. ISSN 1795-9438, 71 sivua.

Biodieselaitos 2010. Biodieselaitoksen jäähdytysvesienleviämismallinnus Äänekoski. WSP Environmental Oy. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC2E1CEB6-6ACB-4153-AAB5-F9FE582C1489%7D/76789>. vierailtu 22.9.2015.

Copp, J. B. (Ed.) (2002). *The COST Simulation Benchmark - Description and Simulator Manual*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN92-894-1658-0.

COST 624. [http://www.cost.eu/COST\\_Actions/essem/624](http://www.cost.eu/COST_Actions/essem/624). vierailtu 22.9.2015.

COST 682. [http://www.cost.eu/COST\\_Actions/essem/682](http://www.cost.eu/COST_Actions/essem/682), vierailtu 22.9.2015.

Fenu, A, Guglielmi, G., Jimenez, J., Spèrandio, M., Saroj, D. Lesjean, B., Brepols, C., Thoeye, C. ja Nopens, I. (2010). Activated sludge model (ASM) based modelling of membrane bioreactor (MBR) processes: A critical review with special regard to MBR specificities. *Water Research* 44, 4272–4294.

Filipova, V., Rana, A. ja Prasoon, S. (2012). Urban Flooding in Gothenburg – A MIKE21 Study. *VATTEN – Journal of Water Management and Research* 68, 175–184.

Hauduc, H., Gillot, S., Rieger, L., Ohtsuki, T., Shaw, A., Takács, I. ja Winkler, S. (2009). Activated sludge modelling in practice: an international survey. *Water Science and Technology* 60(8), 1943–1951.

Murphy, R.B., Young, B.R. ja Kecman, V. (2009). Optimising operation of a biological wastewater treatment application. *ISA Transactions* 48, 93–97.

Nopens, I., Batstone, D. J., Copp, J., Jeppsson, U., Volcke, E., Alex, J. ja Vanrolleghem, P. (2009). An ASM/ADM model interface for dynamic plant-wide simulation. *Water Research* 43, 1913–1923.

Olsson, G., Nielsen, K.M., Yuan, Z., Lynggaard-Jensen, A. ja Steyer, J.-P. (2005). *Instrumentation, Control and Automation in Wastewater Systems*, Scientific and Technical Report No 15. IWA Publishing, Lontoo.

Poutiainen, H. (2010). *Tools for Improved Efficiency and Control in Wastewater Treatment – Tehokkaampaa jätevedenpuhdistusta*. Väitöskirja, Itä-Suomen Yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunnan julkaisuja 8, 123 sivua.

Poutiainen, H. (2012). *Mallien käyttö vesijärjestelmien suunnittelussa – yhteenveto ja kehittämiskohteet*. Teoksessa: *Modernit menetelmät yhdyskuntien jätevedenkäsittelyn tehostamisessa*, H. Poutiainen ja H. Heinonen-Tanski (toim), *Ympäristötieteen laitoksen julkaisusarja 1/2012*, Itä-Suomen yliopisto, s. 35–37.

Poutiainen, H. ja de las Heras, I. (2015). *MBR teknologiaa hyödyntävä jätevedenpuhdistamo Mikkeliin? Ympäristö ja Terveys 4/2015*.

Poutiainen, H. ja Heinonen-Tanski, H. (2008). *Jäteveden laadun hallinta*. Teoksessa: *Aksela, K. (toim.), Vesi- ja energiaverkostojen hallinnan kehittäminen*, Teknillinen korkeakoulu, *Vesihuoltotekniikan julkaisu*, Espoo 2008, ISBN 978-951-22-9538-8, s. 98–106.

Rieger, L., Gillot, S., Langergraber, G., Ohtsuki T., Shaw, A., Takacs, I. ja Winkler, S. (IWA task group on good modelling practice). (2012). *Guidelines for Using Activated Sludge Models*. IWA, 312 S.

Rustum, R. ja Adeloje, J.A. (2007). *Replacing Outliers and Missing Values from Activated Sludge Data Using Kohonen Self-Organizing Map*. *Journal of Environmental Engineering* 133 (9), 909–916.

Water Vision 2100. <http://www.prepared-fp7.eu/viewer/file.aspx?FileInfoID=464> Vierailtu 1.10.2015.

Yong, M., Yongzhen, P. ja Jeppson, U. (2006). *Dynamic evaluation of integrated control strategies for enhanced nitrogen removal in activated sludge processes*. *Control Engineering Practice* 14(11), 1269–1278.

Zhu, C., Liang, Q., Yan, F. ja Hao, W. (2013). *Reduction of Waste Water in Erhai Lake Based on Mike 21 Hydrodynamic and Water Quality Model*. *The Scientific World Journal*, Artikkelin ID 958506, 9 p.

Zuthi, M.F.R., Ngo, H.H. ja Guo, W.S. (2012). *Modelling bioprocesses and membrane fouling in membrane bioreactor (MBR): A review towards finding an integrated model framework*. *Bioresource Technology* 122, 119–129.

# VESISTÖN MONITOROINTIA YSI-ANTUREILLA

*Ville Viljanen & Niina Laurila & Tuija Ranta-Korhonen*

Mitattu tieto ympäristöstä on avain päästöjen ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen. Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa –hanke tuottaa tietoa vesi- ja ilmapäästöjen määristä, koostumuksesta ja vaikutuksista. Analysoitu tieto auttaa alueen yrityksiä ympäristövaikutusten vähentämisessä, resurssien tehokkaassa käytössä ja kilpailukyvyyn kasvatamisessa. Mikkelin ammattikorkeakoulun toteuttamaa hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Etelä-Savon Energia Oy, Metsäsairila Oy ja Mikkelin Vesilaitos. Hanke alkoi 1.1.2015 ja päättyy 31.12.2016. Tässä artikkelissa kerrotaan online-antureiden soveltuvuudesta vesistöjen monitorointiin.

## **Online-monitorointi**

Ympäristön tilan seurannan tavoitteena on saada pitkäaikaista tietoa ympäristöstä ja sen muutoksista. Kerätyn tiedon avulla pyritään selvittämään ihmisen toiminnan vaikutuksia ympäristön tilaan. Saatuja seurantatuloksia voidaan käyttää esimerkiksi tukena ympäristöpoliittisessa päätöksenteossa, sekä niitä voidaan hyödyntää erilaisissa tutkimus- ja kehittämishankkeissa.

Vesistöjen tilaa seuraamalla saadaan tietoa muun muassa vesistöjen rehevöitymisestä, veden happitilanteesta ja mahdollisten haitallisten aineiden pitoisuuksista. Tarvittaessa seurantatietojen avulla on mahdollista selvittää esimerkiksi vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusta vesistöjen tilaan.

Online-mittausten avulla suoritettu ympäristön tilan seuranta on huomattavasti tehokkaampaa perinteiseen näytteenottoon verrattuna. Automaattisten mittausten avulla säästetään näytteenottoon kuluva aikaa ja resursseja, sekä saadaan hankittua jatkuvaa mittausdataa.

## YSI-sondit

YSI 6 -sarjan sondit ovat veden laadun monitorointiin käytettäviä mittalaitteita. Sondeja voidaan käyttää monenlaisissa olosuhteissa ja niihin voidaan liittää eri muuttujia mittaavia antureita. Mitattavia parametreja ovat esimerkiksi liuennut happi (Rapid Pulse Polarographic DO), ROX-optinen liuennut happi (DO), johtokyky, ominaiskonduktanssi, suolapitoisuus, TDS (Total Dissolved Solids), lämpötila ja pH. Lisäksi sondeilla voidaan mitata redox-arvoa, veden syvyyttä ja pinnan korkeutta, sameutta sekä nitraatti-, ammonium- ja kloridipitoisuuksia.

Mikkelin ammattikorkeakoululla on käytössään kaksi YSI 6 -sarjan sondia: YSI 6920-V2 ja YSI 6820-V2. YSI 6920-V2 on tarkoitettu puhtaisiin vesiin (YSI-vesistösondi) ja vastaavasti YSI 6820-V2 on tarkoitettu likaisiin kohteisiin (YSI-suotovesisondi). Sondit on hankittu ja niistä on saatu käyttökokeesta Mikkelin ammattikorkeakoulun vuosina 2012–2014 toteuttamassa EU-osarahoitteisessa (EAKR) Open-tietojärjestelmä – etämonitoroinnin kehittämisenä osana ympäristötekniikan koulutusta ja innovaatio toimintaa -hankkeessa. VIM-hankkeen aikana sondeja on täydennetty nitraatti- ja kloridiantureilla. Antureiden tiedot on esitetty taulukossa 1.

### TAULUKKO 1. Sondien anturit

YSI 6920 V2-sondi	YSI 6820-V2
6136 Turbidity	6136 Turbidity
6561 pH	6561 pH
6560 Conductivity / Temperature	6560 Conductivity / Temperature
ROX Optical Dissolved Oxygen 6150	ISE 6884 Nitrate
ISE 6882 Chloride	ISE 6882 Chloride

### Antureiden kalibrointi

Sondien kalibrointitarve vaihtelee veden laadusta riippuen. Ongelmia aiheuttaa biofilmin muodostuminen anturien mittauspinnalle pitkän käytön aikana. Anturien likaantuminen näkyy esim. mittaustulosten ”ryömimisenä” tai poikkeavana mittaustuloksena. Tämä voidaan todeta mitatun datan lisäksi myös analysoimalla sama suure mittaustuloksesta otetuista vesinäytteistä. Antureiden kalibrointi tulee suorittaa aina myös käyttöäönnoton yhteydessä. Anturit kalibroidaan anturikohtaisilla standardiliuoksilla ohjeen mukaisesti. Kaikki kalibrointiliuokset, pH-liuoksia lukuun ottamatta, valmistetaan itse välittömästi ennen kalibrointia.

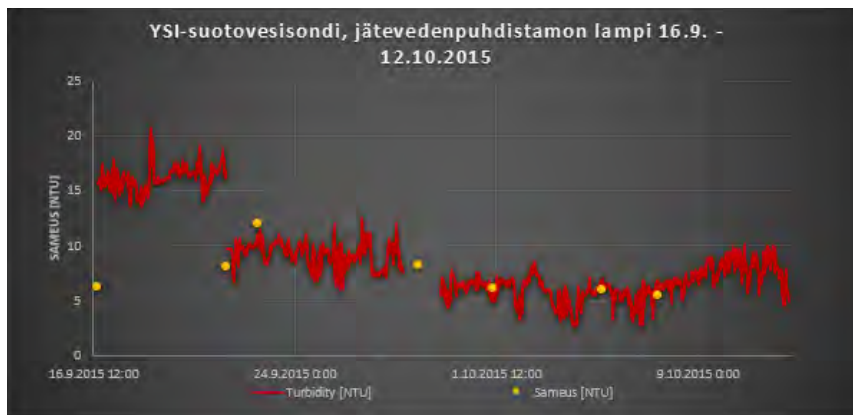
Anturi voidaan kalibroida monella tavalla. Esimerkiksi sameusanturin kalibrointi voidaan suorittaa kahdella tavalla, joista ensimmäinen on ns. nolla-kalibrointi. Tällöin kalibrointiin käytetään puhdasta vettä. Toinen tapa on

2-pistekalibrointi, jossa kalibrointi suoritetaan tutkimuskohteen lämpötilassa kahdella liuoksella, joista toinen on tislattu vesi ja toinen tunnettu standardiliuos. Kun kalibroidaan esim. kloridianturia, käytetään 2-pistekalibroinnissa kahta tunnettua standardiliuosta. Kolmas tapa YSI-antureiden kalibroinnissa on 3-pistekalibrointi. Käytettäessä 3-pistekalibrointia kalibrointi suoritetaan samoin kuin kaksipistekalibrointi, mutta sitä jatketaan pienimmän pitoisuuden omaavalla standardiliuoksella, jonka lämpötila vastaa jääkaappilämpötilaa.

Ioniselektiivisten antureiden (nitraatti/kloridi) kalibroinnissa voi joutua ottamaan huomioon toisten antureiden suuria ionipitoisuuksia sisältävät kalibrointiliuokset, jotka saattavat hetkellisesti vääristää ioniselektiivisen anturin mittaustulosta kalibroinnin yhteydessä. Esim. pH-anturin kalibrointiliuokset ovat tällaisia liuoksia. Tällöin paras tapa kalibroinnin suorittamiseen on joko poistaa kalibroinnin ajaksi ne anturit, joihin vahvat ionipitoiset liuokset vaikuttavat, tai suojata kyseinen anturi.

Kalibroinnissa moni asia vaikuttaa lopputulokseen. Esim. käytettävä astian likaisuus saattaa aiheuttaa negatiivisen arvon mittaustilanteessa, vaikka itse kalibrointi näyttäisikin olevan onnistunut. Myös antureiden puhtaudesta kannattaa pitää huolta esim. vaihtamalla optisten antureiden puhdistustyyntynyt uusiin. Samalla kannattaa tarkistaa myös antureiden pinnat.

Ja kuinka siitä negatiivisesta sameusarvosta pääsee eroon? Keinoja on kolme, joista ensimmäinen on uusintakalibrointi puhdistetussa kalibrointiastiassa. Toinen on ns. korjauskertoimen käyttö, ja kolmas on käyttää toista astiaa, eli YSI-sondien kohdalla suorittaa kalibrointi anturisuojan kanssa puhtaassa astiassa. Kuvassa 1 on esitetty kuinka oikein tehdyllä kalibroinnilla saadaan mittaus skaalattua oikealle tasolle.



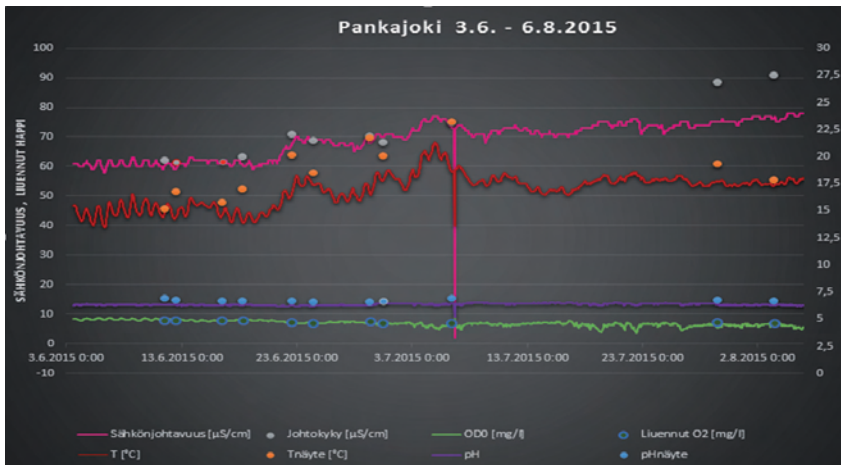
KUVA 1. Sameusanturin uudelleen kalibroinnin vaikutus mittaustuloksiin



## YSI-sondient toiminnan seuraaminen

Sondien toimintaa seurataan analysoimalla vesinäytteitä sondien sijoituspaikoilta. Saatuja analyysituloksia verrataan antureiden mittaustuloksiin. Syy analyysitulosten poikkeavuuteen mittaustuloksista tulee selvittää. Syynä voi olla esimerkiksi virheellisesti tehty analyysi tai sondin anturien likaantuminen. Anturi voidaan joutua kalibroimaan oikean mittaustason saavuttamiseksi.

Sondin toiminnan varmistamiseksi näytteitä otetaan samasta paikasta, johon sondit on sijoitettu, ja näytteiden analysoinnissa tutkitaan sondin mittaamia parametreja (kuva 2). Sondin mittausdataa ja näytteiden analysoinnin tuloksia verrataan keskenään ja vertailun avulla arvioidaan huollon tarve.



KUVA 2. YSI-vesistösondin mittaukset vs. vesinäytteiden analyysit

Sondi likaantuu helposti vesistössä ollessaan ja sen kuntoa on hyvä tarkkailla näytteenoton ohessa. Joskus sondiin saattaa jäädä kiinni veden pinnalla liikkuvia roskia. Likaisessa vedessä ollutta sondia on kuitenkin erittäin vaikea saada kokonaan puhtaaksi siihen muodostuvan biofilmin vuoksi. Tällöin sondiin voi jäädä likaa, joka haittaa sondin kalibrointia.

## Johtopäätöksiä

Oikean mittaustason saavuttamiseksi anturit tulee kalibroida mahdollisimman huolellisesti. Kalibroinnin oikean suorituspaikan löytäminen vaatii joskus työtä, kuten esimerkiksi sameusanturin kalibroinnissa saimme huomata. Kun kalibrointi ja antureiden huolto suoritetaan oikein, saadaan YSI-sondeilla hyvää ja käyttökelpoista mittausdataa.

# YMPÄRISTÖVAHINKOJEN JA -RISKIEN MINIMOINTI

*Arto Sormunen & Vuokko Malk*

Ympäristöriskinarviointi on kehittynyt selvästi viimeisten vuosien aikana. Esimerkiksi passiivisten näytteenottimien soveltaminen riskinarvioinnissa on kerännyt huomiota ja kiinnostusta. Toisaalta uudet markkinoille tulevat yhdisteet tuovat jatkuvasti uusia haasteita. Ympäristöriskinarvioinnissa tarkastellaan päästöjä, niiden leviämistä sekä ihmisten ja eliöiden altistumista. Arvioinnissa tarvitaan eri alojen asiantuntemusta sekä kykyä yhdistää informaatio poikkitieteellisesti. Onnettomuustilanteessa on tärkeää osata kohdistaa torjuntatoimet oikein vahingon minimoimiseksi. On kuitenkin ilmeistä, että toistaiseksi käytössä olevalla tietämyksellä ja riskinarviointimenetelmillä pelastus/suojelutoimien kohdentaminen oikein on haastavaa.

Mikkelin ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulujen yhteinen ympäristövahinkojen torjuntaa kehittävä Älykö-hanke tutkii, ennakoii ja pienentää ympäristöriskejä herkällä Saimaan alueella. Hankkeessa tutkitaan erityisesti öljyhiilivetyjen käyttäytymistä suomalaisessa luonnossa; toisaalta kartoitetaan myös riskikohteita vahinkoihin varautumiseksi. Älykö-hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Metsäsairila Oy ja Meritaito Oy. Hanke alkoi 1.1.2015 ja päättyy 31.12.2016.

## **Yleistä riskinarvioinnista**

Pilaantuneita maita tai niiden käsittelyä koskevassa päätöksenteossa tavoitteena on estää pilaantumisesta aiheutuvat ympäristö- ja terveyshaitat. Tämä työvaihe edellyttää haittojen ja riskien tunnistamista ja niiden arviointia. Riskinarviota tarvitaan päätöksenteon useassa eri vaiheessa, esimerkiksi akuutissa onnettomuustilanteessa, alueen kunnostustarvetta arvioitaessa, kunnostustavoitteiden saavuttamisessa sekä jäännöspitoisuuksien riskejä arvioitaessa.

Riskinarviointi, kuten nimikin sanoo, on aina arvio todellisuudesta. Riski voi olla merkityksetön, jos haitan aiheuttamisen todennäköisyys on pieni tai haitta toteutuessaan on siedettävä. Tästä syystä päätöksentekijän on pystyttävä määrittelemään myös sellaisen epävarmuuden taso, joka voidaan pitää vielä

hyväksyttävänä (Ympäristöhallinnon ohjeita 2014). On siten erityisen tärkeää koko riskinarvioprosessin kannalta tuntea haitta-aineen ominaisuudet, sekä arvioida aineiden kulkeutumisesta ja altistumisesta aiheutuvaa haittaa.

Älykö-hankkeen yhtenä osana selvitetään erilaisten öljyhiilivetyjen ja yhden bioöljyn käyttäytymistä suomalaisessa ympäristössä (kuva 1). Tällä tiedolla pystytään kohdentamaan esimerkiksi öljyonnettomuuksissa suojele/pelastustoimet oikealla tavalla; toisaalta tieto auttaa pohdittaessa erilaisia kunnostusmenetelmiä pilaantuneiden maiden käsittelyssä. Erityisen haasteen nyt ja tulevaisuudessa asettavat meillä käytössä olevat lukuisat erilaiset yhdisteet tai jopa seokset, joiden ympäristökäyttäytymisestä suomalaisessa ympäristössä on vielä hyvin vähän tietämystä.



KUVA 1. Näytteenotto on oleellinen osa riskinarviointia (kuva Vuokko Malk)

## Biopolttoaineet

Biopolttoaineet ovat yksi esimerkki uusista yhdisteseoksista, joiden käyttäytymisestä suomalaisessa ympäristössä on vielä vähän tietoa. Biopolttoaine tarkoittaa polttoainetta, joka voidaan valmistaa orgaanisesta materiaalista eli biomassasta. Biopolttoaineiden ominaisuudet vaihtelevat käytettävien raaka-aineiden ja valmistusmenetelmien mukaisesti. Ominaisuudet eroavat myös verrattaessa niitä puhtaaseen biopohjaiseen polttoaineeseen ja sekoitettuun polttoaineeseen. Näiden lisäksi käytettävä raaka-aine vaikuttaa ominaisuuksiin, kuten mahdollisesti myös biopolttoaineen käyttäytymiseen ympäristöön joutuessaan (Barabás & Todoruț 2011; Hollebhone 2009.)

Biopolttoaineet poikkeavat ympäristöriskinarvioinnin kannalta monelta osin muusta teollisesta toiminnasta. Eri yhdisteiden ominaisuudet ovat hyvin vaihtelevia, ja täten niiden ympäristökäyttäytyminen on hyvin poikkeavaa. Tavallisin tilanne lienee, että biopolttoainetta joutuisi ympäristöön hyvinkin suurina pitoisuuksina onnettomuus/vahinkotilanteiden yhteydessä. Tällöin yhdisteen ominaisuuksien, kuten vesiliukoisuuden/rasvaliukoisuuden, sekä maaperän ominaisuuksien, kuten raekoon ja orgaanisen aineksen määrän, tietäminen kohteessa auttaa suojelutoimien oikeanlaista kohdentamista suunnittelussa.

### **Riskinarvioinnin tarkentaminen**

Riskinarvioinnin kannalta oleellista olisi pystyä tunnistamaan pitoisuudet tai osuudet, jotka ovat esimerkiksi vaarantamassa pohjavesien tilaa. Toisin sanoen kokonaispitoisuus tai perinteinen raja-arvon (ohjearvo) vertailu eivät kerro todellisesta kulkeutumis- tai altistumisriskistä kovinkaan paljoa. Lisäksi erilaisten yhdisteiden käyttäytyminen eri maalajeissa on hyvin poikkeavaa. Ei riitä, että tunnemme pelkästään yhdisteen ominaisuudet, vaan eri yhdisteiden käyttäytyminen erityyppisissä maalajeissa voi olla hyvinkin poikkeavaa.

Esimerkiksi yhdisteen korkea rasvaliukoisuus yhdessä maaperän suuren orgaanisen aineksen kanssa aiheuttaa hyvin erilaisen ympäristökohtalon verrattuna vesiliukoiseen yhdisteeseen sora- tai hiekkamaassa. Ensinnäkin mainitussa tilanteessa yhdisteet helposti kerääntyvät erityisesti hiukkasten orgaaniseen ainekseen, kun taas jälkimmäisessä tilanteessa liikkuvat faasit muodostavat uhkatekijän esim. mahdollisilla pohjavesialueilla. Yhdisteen pidäytyminen maa-ainekseen vähentää sen liikkuvuutta, vapautumista ja siten myös vähentää sen kertymistä eliöihin eli ekologista riskiä.

Haitallisen vaikutuksen edellytys on, että aine siirtyy maaperästä eliön aineenvaihduntaan. Tästä syystä yhdisteen kokonaispitoisuus ei tarkoita samaa kuin vaikutuksia aiheuttava pitoisuus. Biokertyvän fraktion osuus riippuu sekä maa-aineksen pidätyskyvystä että yhdisteen pidättymisominaisuuksista kyseisessä maassa. Tätä näkökulmaa silmällä pitäen vahinkotilanteet pitäisi pystyä arvioimaan ja suojelutoimet kohdistaa oikein. Toisin sanoen sekä yhdisteen että ympäristön tunteminen on erityisen hyödyllistä ja tarpeellista suojelutoimien oikeanlaisen kohdentamisen suunnittelussa. Tämä tarkoittaa, että yhdisteen tarkempi kulkeutumisen arvioiminen ja sen ymmärtäminen johtaisi tarkempaan riskinarviointiin.

Mikäli luotettavaa riskinarviointia ei pystytä toteuttamaan, voidaan ympäristöriskien hallintakeinot mitoitaa ja kohdistaa väärin. Tästä syystä kansallisen tutkimustiedon hankkiminen ja tiedon soveltaminen on tässä asiassa arvokasta. Suomessa ympäristömme poikkeaa esimerkiksi lämpötilan osalta hyvinkin suuresti monista muista maailman maista. Lämpötila vaikuttaa yhdisteiden liikkumiseen tai vapautumiseen maaperän partikkeleista, mutta toisaalta alhainen lämpötila hidastaa mikrobiperäistä vierasaineiden hajotustoimintaa.

## Hankkeen alustavia tuloksia

Onnettomuuksien ympäristövaikutusten minimointi on tärkeää, jotta usein herkkä ja puhdas ympäristömme säilyisi puhtaana ja onnettomuuksista aiheutuvat ympäristö- ja terveysvaikutukset minimissä. Jo alustavat selvitykset ja tulokset viittaavat siihen, että esimerkiksi markkinoilla olevien erilaisten bioöljyjen ja -polttoaineiden ympäristökäyttäytyminen poikkeaa toisistaan ja samat ”työkalut” vahinkojen torjunnassa ja riskinarvioinnissa eivät siten toimi kaikille. Lisäksi maaperän ominaisuuksilla voi olla hyvin huomattavia vaikutuksia yhdisteen käyttäytymiseen. Älykö-hanke käynnistettiin tekemällä neljästä eri maanäytteestä ominaisuuksien peruskarakterisointi (taulukko 1).

**TAULUKKO 1. Alustavia tuloksia Älykö-hankkeessa tutkittavista maanäytteistä**

Yhteenveto	Kuiva-aine %	Orgaaninen aines %	Hienoaines % d < 0,063 mm	Sora % d > 2 mm
Maalaji 1	96,0	1,2	1,4	1,1
Maalaji 2	91,7	0,8	14,1	28,0
Maalaji 3	71,3	7,3	30,0	7,3
Maalaji 4	84,0	5,1	7,6	1,7

Useat rasvaliukoisista haitta-aineista kiinnittyvät enimmäkseen <20 µm partikkeleihin. Hankkeessa selvitämme, miten erilaiset malliaineet (bentso(a)pyreeni, fenantreeni, ja naftaleeni) ja yksi bioöljytyyppi käyttäytyvät näissä valituissa maanäytteissä. Lienee kuitenkin ilmeistä, että aina tarvitaan tarkempia kohdekohtaisia tutkimuksia, jotta suojelutoimet pystytään kohdentamaan oikealla tavalla. Esimerkiksi Saimaan monimuotoinen luonto on erityisen herkkä öljy- ja kemikaalivahinkojen vaikutuksille, ja tästä syystä varautuminen ja kohteen erityispiirteiden tunnistaminen on erityisen tärkeää.

## LÄHTEET

Ympäristöhallinnon ohjeita 2014: Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskienhallinta. Ympäristöministeriö.

Barabás István, Todoruț Ioan-Adrian. 2011. Biodiesel Quality, Standards and Properties, Biodiesel- Quality, Emissions and By-Products, Dr. Gisela Montero (Ed.), ISBN: 978-953-307-784-0, InTech. WWW-dokumentti. <http://www.intechopen.com/books/biodiesel-quality-emissions-and-by-products/biodiesel-qualitystandards-and-properties>. Luettu 28.5.2015.

Hollebone Bruce, 2009. Biofuels in the environment. A Review of Behaviors, Fates and Effects & Remediation Techniques. Environment Canada. WWW-dokumentti. <http://www.epa.gov/oem/docs/oil/fss/fss09/hollebonebiofuels.pdf>. Luettu 28.5.2015.

# BIOÖLJYJEN KÄYTTÄYTYMINEN YMPÄRISTÖSSÄ JA TORJUNTA VAHINKOTILANTEESSA

*Vuokko Malk & Arto Sormunen & Justiina Halonen*

Bioöljyjen käyttö liikenteen polttoaineissa, lämmityksessä ja kemianteollisuudessa on kasvanut, ja erilaisia bioöljyjä on tullut markkinoille viime vuosina runsaasti. Käytön määrän lisääntyessä bioöljyvahingon riskikin kasvaa. Bioöljyjen ominaisuudet ja käyttäytyminen ympäristössä on tunnettava, jotta vahinkotilanteessa osattaisiin tehdä oikeanlaiset torjuntatoimenpiteet vaikutusten ja vahingon kustannusten minimoimiseksi. Haastavaksi tilanteen tekee se tosiasia, että bioöljyjen ja -polttoaineiden ominaisuudet, ja siten myös ympäristökäyttäytyminen, ovat toisistaan hyvin poikkeavia. Mikkelin ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulujen Älykö-hankkeessa bioöljyjen ja -polttoaineiden ympäristökäyttäytymistä ja torjuntaa vahinkotilanteessa selvitetään kirjallisuuden perusteella ja laboratoriokokein. Hankkeessa selvitetään muun muassa maaperän yhdisteiden ominaisuuksien vaikutusta erilaisten öljyn komponenttien käyttäytymiseen sekä demonstroidaan bioöljyn käyttäytymistä järvivedessä.

## **Älykö-hankkeessa tutkitaan bioöljyjen ympäristökäyttäytymistä**

Bioöljyillä pyritään korvaamaan fossiilisia raaka-aineita ja vähentämään hiilidioksidipäästöjä sekä tuottamaan uusia puhtaampia tuotteita. Kaikki Suomessa jakelussa olevat liikenteen polttonesteet sisältävät nykyisin biokomponentteja ja Suomi on maailmanlaajuisesti katsottuna edelläkävijä korkealaatuisten biopolttoaineiden valmistuksessa (Öljy- ja biopolttoaineala ry. 2015).

Käytön määrän lisääntyessä bioöljyvahingon riskikin kasvaa. Lukuisat erilaiset yhdisteet kuormittavat ympäristöämme aiheuttaen pahimmillaan huomattavaa uhkaa sekä ympäristölle että terveydelle. Usein yhdisteitä on käytetty vuosikymmeniä sitten, mutta rasvaliukoisen luonteensa ja pysyvyyden takia niitä on edelleen löydettävissä ympäristöstämme. Ennalta arvaamattomat onnettomuus- tai vahinkotilanteet tuovat uusia tilanteita, joissa ympäristöriskinarviointia tai ympäristönkunnostustoimia joudutaan miettimään ja arvioimaan. Bioöljyjä pidetään yleensä ympäristön ja terveyden kannalta turvallisempipi-

na ja haitattomampina perinteisiin fossiilisiin öljyihin verrattuna. Bioöljyjen ominaisuudet sekä käyttäytyminen ja mahdolliset haittavaikutukset ympäristössä on kuitenkin tunnettava, jotta vahinkotilanteessa osattaisiin tehdä oikeanlaiset torjuntatoimenpiteet vaikutusten ja vahingon kustannusten minimoimiseksi. Yhdisteen ympäristökäyttäytymisen ymmärtäminen on myös ympäristönäytteenottajan näkökulmasta erittäin merkityksellistä. Kun tavoitteena on laadukas ja edustava näytteenotto, meidän on pystyttävä ottamaan näytteet oikeista paikoista. Tähän edustavaan näytteenottoon emme pääse, mikäli emme ymmärrä tutkittavan vierasaineen esiintymistä, käyttäytymistä ja kulkeutumista suomalaisessa ympäristössä.

Erilaisten bioöljyjen ja -polttoaineiden käyttäytymistä ympäristössä on tutkittu vielä suhteellisen vähän. Eniten on tutkittu bioetanolin ja sen bensinisekoitusten ympäristökäyttäytymistä ja -vaikutuksia. Myös kasviöljyillä ja biodieselillä on tehty jonkin verran tutkimusta. Bioetanolin, kasviöljyjen ja biodieselin osalta on myös kertynyt kokemuksia oikeista onnettomuus- ja vuototilanteista. Monet uusiutuvaa raaka-ainetta hyödyntävät valmistusteknologiat ovat kuitenkin vasta kaupallistumassa, ja tuotteille on ehditty tehdä vasta rekisteröintiin ja käyttöturvallisuustiedotteisiin vaadittavat, niiden ominaisuuksia, käsittelyä ja terveys- ja ympäristöhaittoja osoittavat tutkimukset. Ympäristökäyttäytymisen ymmärtämiseksi ja vahinkoihin varautumiseksi tarvitaan lisää soveltavaa tutkimusta.

Bioöljyjen- ja polttoaineiden ympäristökäyttäytymistä sekä niille sopivia torjuntatekniikoita on selvitetty osana Älykö-hanketta (Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta). Mikkelin ja Kymenlaakson Ammattikorkeakoulujen yhteishanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Metsäsairila Oy ja Meritaito Oy. Hanke alkoi 1.1.2015 ja päättyy 31.12.2016.

### **Bioöljyt ja -polttoaineet Suomessa**

Suomen kannalta tärkeimpiä bioöljyjä ja -polttoaineita ovat uusiutuvat dieselit ja kerosiini, korkeaseosetanoli ja pyrolyysiöljy. Suomi on maailmanlaajuisesti myös merkittävä mäntyöljyn tuottaja. Kasviöljyjen ja biodieselin käyttö Suomessa on vähäistä, mutta jonkin verran biodieseliä tuotetaan pienen mitatakaan tuotantolaitoksissa. Tähän artikkeliin tarkasteluun valitut tuotteet on esitetty taulukossa 1.



**TAULUKKO 1. Tarkasteluun valitut bioöljyt ja -polttonesteet, niiden CAS- ja EC-numerot sekä vuotuiset tuotantomäärät EU:ssa (ECHA 2015)**

Bioöljy/-polttoaine	CAS/EC	Määrä ECHA-tietokannassa (t/a)
Uusiutuva diesel NExBTL (Neste Oil)	EC 618-882-6	1 000 000-10 000 000
*Biodiesel	CAS 67762-38-3 EC 267-015-4	1 000 000-10 000 000
Uusiutuva diesel BioVerno (UPM Kymmene)	EC 700-916-7	100 000-1 000 000
Uusiutuva kerosiini (Neste Oil)	EC 931-082-4	100 000-1 000 000
Mäntyöljy	CAS 8002-26-4 EC 232-304-6	100 000-1000 000
Pyrolyysiöljy FortumOtso® (Fortum)	CAS 1207435-39-9 EC 692-061-0	10 000-100 000
Korkeaseosetanoli E85	Seos, ei rekisteröintiä	-

\*Biodieselille/rasvahappojen metyyliestereille on olemassa useita CAS/EC-numeroita

Suomessa markkinoilla olevassa dieselöljyssä on bio-osuutena enimmäkseen ns. uusiutuvaa dieseliä, joka on uusiutuvasta raaka-aineesta valmistettua, mutta ominaisuuksiltaan tavallisen dieselin kaltaista polttoainetta. Uusiutuvaa dieseliä voidaan valmistaa esimerkiksi vetykäsittelyllä (HVO, Hydrotreated Vegetable Oil). Uusiutuva diesel eroaa biodieselistä sekä valmistustavan että koostumuksen ja ominaisuuksiensa perusteella. Biodieselillä tarkoitetaan Euroopassa rasvahappojen metyyliestereitä (FAME), jotka valmistetaan transesteröimällä kasviöljyistä, eläinrasvoista, kasviperäisestä jäteöljystä tai mikroleväöljystä. FAME-pitoisuus dieselöljyssä saa Euroopassa olla enintään 7 tilavuusprosenttia, kun taas uusiutuvan dieselin osuutta jakeluasemilla myytävässä dieselissä ei ole rajoitettu, koska se on kemialliselta koostumukseltaan fossiilisen dieselöljyn kaltaista. (Öljy- ja biopolttoaineala ry. 2015) Suomessa uusiutuvaa dieseliä tuottavat Neste Oil ja UPM Kymmene Oyj. Neste Oilin NExBTL-dieselin pääraaka-aineena on käytetty palmuöljyä, mutta vuonna 2014 yli 60 % raaka-aineesta oli peräisin jätteistä tai tähteistä (Neste Oil 2015). UPM Kymmene Oyj puolestaan on tammikuusta 2015 lähtien tuottanut uusiutuvaa Bioverno-dieseliä selluteollisuuden jätteenä syntyvästä mäntyöljystä Lappeenrannassa (UMP 2015).

Bioetanoli on maailmanlaajuisesti tunnetuin ja eniten käytetty biopolttoaine. Euroopassa pääraaka-aineet ovat sokerijuurikas ja vehnä, mutta Suomessa St1 tuottaa bioetanolia elintarviketeollisuuden jätteistä sekä kauppojen ja kotitalouksien biojätteistä (St1 2015b). E85-polttoainelaatu on sekoitus, jossa on

80–85 % etanolia ja 15–20 % bensiinin erikoiskomponentteja. E85 soveltuu FlexFuel-autoihin. (St1 2015a)

Kirjallisuudessa bioöljy-termillä viitataan useimmiten pyrolyysiöljyyn. Suomessa Fortum valmistaa nopeapyrolyysiprosessin avulla Fortum Otso® -bioöljyä puuperäisestä raaka-aineesta, kuten metsätähteestä, hakkeesta tai sahanpurusta. Joensuussa sijaitseva bioöljylaitos alkoi tuottaa pyrolyysiöljyä vuonna 2013. Nopeassa pyrolyysitekniikassa biomassa kuumennetaan nopeasti hapatomissa olosuhteissa noin 500 asteeseen. Kuumennuksen seurauksena biomassa hajoaa ja muodostaa kaasuja, jotka lauhdutetaan nopeasti bioöljyksi. Tuotetta voidaan käyttää lämpölaitoksissa ja teollisuushöyryn tuotannossa korvaamaan raskasta tai kevyttä polttoöljyä. (Fortum 2015a,b)

Mäntyöljy on sulfaattisellun valmistuksesta saatava sivutuote. Mäntyöljyä käytetään ennen kaikkea kemianteollisuuden raaka-aineena mutta myös uusiutuvan dieselin raaka-aineena. Mäntyöljystä voidaan tislaamalla erottaa eri jakeita jatkokäyttöön esim. puhdistusaineiden ja pinnoitteiden valmistukseen.

### **Ympäristökäyttäytyminen**

Öljyvahingon sattuessa osa maaperään tai veteen joutuneesta tuotteesta haihtuu. Perinteiset öljytuotteet eivät ole kovin vesiliukoisia, joten ne kulkeutuvat maaperässä omana veteen liukenemattomana faasinaan. Vedessä tämä veteen liukenematon osuus kelluu vettä kevyempänä veden pinnalla. Veden aalto liikkeen ja virtausten seurauksena öljypisarat sekoittuvat veteen. Tuotteiden vesiliukoiset komponentit liukenevat veteen sekä maaperässä että pinta- ja pohjavesissä. Öljytuotteet voivat aiheuttaa haittaa ympäristössä myrkyllisyytensä vuoksi pilaamalla pohjaveden tai esimerkiksi tahrimalla lintuja. Tässä kappaleessa on tarkasteltu bioöljyjen ja -polttoaineiden ympäristökäyttäytymistä ja haittavaikutuksia verrattuna perinteisiin öljytuotteisiin.

### **Haihtuminen ja biohajoaminen**

Haihtumisherkkyyttä voidaan tarkastella mm. höyrynpaineen avulla. Höyrynpaineen perusteella korkeaseosetanoli on bensiinin tavoin erittäin herkästi haihtuva, mutta korkea vesiliukoisuus alentaa sen haihtumista vedestä tai määrästä maasta merkittävästi bensiiniin verrattuna. Uusiutuvat dieselit ja biodiesel ovat höyrynpaineensa perusteella jonkin verran heikommin haihtuvia kuin perinteinen diesel. Pyrolyysiöljy sen sijaan on haihtuvampi. Mäntyöljyn höyrynpaine on alhainen eikä se juuri haihdu ympäristössä (taulukko 2).

Biohajoaminen on haihtumista merkittävämpi poistumismekanismi ympäristöstä, etenkin biodieselillä (DeMello ym. 2007). Voimakkaasta vesiliukoisuudesta johtuen biohajoaminen voi olla myös etanolille haihtumista tärkeämpi poistumismekanismi pintavesissä (ITRC 2011). Uusiutuvien dieseleiden bio-

hajoavuudessa on OECD 301B -standardin mukaisessa 28 päivän aktiivilietekokeessa yllättävän suuri ero. NExBTL hajosi kokeessa 82 %:sti mutta BioVerno vain 33 %:sti. Tavallisen dieselin biohajoavuus samassa kokeessa on ollut noin 60 %. Myös pyrolyysiöljy biohajoaa nopeasti, mutta sen sisältämät ligniinifragmentit ovat pysyviä (Girard ym. 2005).

**TAULUKKO 2. Tarkasteltujen bioöljyjen ja -polttonesteiden höyrynpaine (kPa) sekä biohajoavuus (%) 28 d aikana OECD 301B:n tai OECD301F:n mukaisessa standarditestissä verrattuna raskaan polttoöljyn, dieselin ja bensiinin vastaaviin arvoihin. (Arvot käyttöturvallisuustiedotteista ja ECHA-tietokannasta)**

Bioöljy/-polttoaine	Biohajoaminen %	Höyrynpaine (kPa)
Raskas polttoöljy	Tietoa ei saatavilla	< 1 (38 °C); 0.02-0.79 l (120 °C); 0.063-0.86 l (150 °C)
Uusiutuva diesel (BioVerno)	33 %	< 0.1 (37.8 °C)
Pyrolyysiöljy (Fortum Otso)	50,90 %	n. 2,4 (20 °C)
Diesel	60 %	< 1 (40 °C); 0,4 (40 °C)
Mäntyöljy	73 %	0,0000038 (arvioitu); <0,00013332 (20 °C)
Uusiutuva diesel (NExBTL)	82 %	0,087 (25 °C)
Biodiesel	87,40 %	n. 0,420 (25 °C)
Bensiini	77 %	45...90 (38 °C)
Korkeaseosetanoli E85	Tietoa ei saatavilla	<70

## Kulkeutuminen

Bioöljyistä ja -polttoaineista uusiutuvat dieselit ovat fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan (esim. tiheys ja viskositeetti, taulukko 3) perinteisen dieselin kaltaisia, joten niiden oletetaan kulkeutuvan perinteisen dieselin tavoin (California Environmental Protection Agency 2010). Uusiutuvan NexBTL-dieselin on havaittu kulkeutuvan maaperässä veteen liukenemattomassa faasissa samalla nopeudella kuin petrodieselin (Malk ym. 2014). Biodieselin on havaittu sekä laboratoriokokeissa että oikeissa onnettomuustapauksissa muodostavan valkean maitomaisen dispersion vedessä. Tämä ominaisuus poikkeaa perinteisestä dieselistä, joka muodostaa turbulenssin vaikutuksesta öljypisaroi- ta veteen, mutta sekoituksen loppuessa nousee kellumaan veden pinnalle (De-Mello ym. 2007). Lisäksi biodieselin jähmettymispiste on korkea vaihdellen raaka-aineesta riippuen <0 ja 15 °C välillä. Jähmettymispisteessä tuote alkaa kiteytyä (Knothe 2010). Mäntyöljy muistuttaa tiheys- ja viskositeettiominai- suuksiltaan raskasta polttoöljyä, mutta on vesiliukoisempi.

**TAULUKKO 3. Tarkasteltujen bioöljyjen ja -polttonesteiden tiheys- (kg/l) ja viskositeettiominaisuuksia (mm<sup>2</sup>/s) verrattuna raskaan polttoöljyn, dieselin ja bensiinin vastaaviin arvoihin. (Arvot käyttöturvallisuustiedotteista ja ECHA-tietokannasta)**

Bioöljy/-polttoaine	Tiheys (kg/l)	Kinemaattinen viskositeetti (mm <sup>2</sup> /s)
Bensiini	0,72	< 1 (38 °C)
Korkeaseosetanoli E85	0,75	< 2 (40 °C)
Uusiutuva diesel (BioVerno)	0,80635	2,580-2,772 (40 °C)
Uusiutuva diesel (NEXBTL)	0,78	4,0 (20 °C); 2,6 (40 °C)
Biodiesel	0,86	3,5-5 (40 °C)
Diesel	0,825	Enint. 4,5 (40 °C)
Pyrolyysiöljy (Fortum Otso)	1,1742	15-40 (40 °C)
Raskas polttoöljy	0,95	Vähint. 20 (50 °C)
Mäntyöljy	0,942	44,1 (40 °C)*

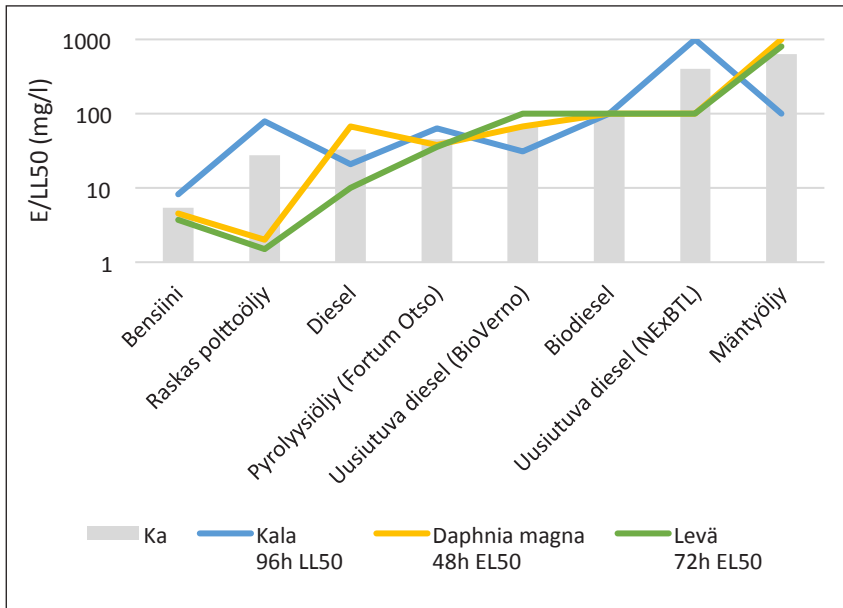
Pyrolyysiöljy poikkeaa ominaisuuksiltaan selvästi perinteisistä öljytuotteista. Pyrolyysiöljyssä on tyypillisesti 20–30 % vettä ja tämä osuus sisältää myös vesiliukoisia yhdisteitä, jotka ympäristössä sekoittuvat vesipatsaaseen ja voivat myös kulkeutua nopeasti maaperästä pohjaveteen. Tuotteelle ei kuitenkaan ole määritetty vesiliukoisuutta. Pyrolyysiöljy on myös vettä tiheämpää, joten veteen liukenematon fraktio ei kellu veden pinnalla kuten perinteiset öljyt vaan todennäköisesti vajoaa vedessä kohti pohjaa.

Korkeaseosetanolin päätyessä veteen vesi ja etanoli muodostavat yhdessä faasin, joka sekoittuu ja liukenee veteen erittäin nopeasti aaltojen ja virtausten sekä laimenemisen vuoksi. Hiilivedyt irtoavat polttonesteseoksesta ja muodostavat kalvon veden pinnalle. Maaperässä etanolin on havaittu jakautuvan huokosveteen ja pidättävän kapillaarivyöhykkeen yläosaan (ITRF 2011, Hollebne & Yang 2009, Freitas & Barker 2011). Kuitenkin jos vuoto on suuri ja maaperä läpäisevä, etanolin on havaittu kulkeutuvan pohjaveteen nopeasti onnettomuuden jälkeen (ITRF 2011). Etanolin vaikutusta bensiinihiilivetyjen kulkeutumiseen pohjavedessä on tutkittu useissa tutkimuksissa (esim. Powers ym. 2001, Chen ym. 2008, Freitas & Barker ym. 2011). Etanolin nopea biohajoaminen voi hidastaa BTEX- ja PAH-yhdisteiden biohajoamista. Lisäksi etanoli lisää öljyhiilivetyjen liukoisuutta, kun etanolipitoisuus polttoaineessa on korkea (yli 50 %), kuten E85-polttonesteessä (Chen ym. 2008).

Biodieselin ja uusiutuvien dieseleiden vesiliukoisuus on hyvin matala tai ne ovat liukenemattomia ja rasvahakuisuutta osoittava oktanoli-vesi-jakautumiskerroin (logKOW) vaihtelee 6 ja >6,5 välillä. Mäntyöljyn vesiliukoisuudeksi on määritetty 8,4–42,2 mg/l ja logKOW-arvoksi 3,2–6,8 (pH 5–6). Pyrolyysiöljyn vesipitoisuus on 20–30 p-% ja veteen liukenematon osuus 6–25 p-%, mutta vesiliukoisuus- tai logKOW-arvoja ei ole määritetty (Girard ym. 2005). Korkeaseosetanoliseokselle ei ole määritetty vesiliukoisuus- tai logKOW-arvoja, mutta etanoli on täysin vesiliukoinen. Bensiinihiilivetyjen logKOW-arvot taas ovat >3. (Arvot käyttöturvallisuustiedotteista ja ECHA-tietokannasta.)

## Ekotoksisuus ja muut mahdolliset haittavaikutukset ympäristölle

Tarkastelussa mukana olleista bioöljyistä ja -polttoaineista ainoastaan korkeaseosetanoli luokitellaan ympäristölle vaaralliseksi. E85-seokselle ei kuitenkaan ole määritetty virallisia ekotoksisuusarvoja, vaan luokitus perustuu sen komponenttien toksisuuteen. Malkin ym. (2014) mukaan E85-polttoneste oli 1:40 vesiliuoksessa ja sen laimennoksissa lähes yhtä haitallinen vesieliöille (vesikirpuille ja valobakteereille) kuin E5-bensiini. Sen sijaan maaperätoksisuustestissä E85 oli selvästi perinteistä bensiiniä haitattomampi. Biodieselin, uusiutuvan NExBTL-dieselin sekä mäntyöljyn standarditesteissä määritetyt akuutit LC50-arvot vesieliöillä (kala, vesikirppu, levä) ovat vähintään 100 mg/l (kuva 1). NExBTL-dieselillä ei havaittu toksisuutta myöskään maaperätoksisuustestissä (Malk ym. 2014). Myös uusiutuva BioVerno-diesel ja pyrolyysiöljy ovat ECHA-tietokannassa mainittujen akuuttien toksisuusarvojen mukaan haitattomampia vesieliöille kuin perinteiset öljyt.



KUVA 1. Tarkasteltujen bioöljyjen ja -polttonesteiden akuutti toksisuus (E/LL50) vesieliöille (kala, äyriäinen, levä) verrattuna bensiinin, dieselin ja raskaan polttoöljyn vastaaviin toksisuusarvoihin (arvot käyttöturvallisuustiedotteista ja ECHA-tietokannasta)

Vaikka bioöljyjen ja -polttoaineiden toksisuus on alhainen, tuotteilla voi olla yllättäviäkin haittavaikutuksia ympäristössä. Nopea biohajoaminen voi aiheuttaa ympäristössä hapettomuutta, joka voi pahimmillaan johtaa jopa kalakuolemiin. Esimerkiksi korkeaseosetanolin hajoamisen aiheuttama hapettomuus on havaittu useissa case-tutkimuksissa, ja laboratoriossa on todet-

tu hapenkulutuksen olevan hyvin nopeaa (Hollebone & Yang 2009, ITRC 2011). Lisäksi etanolin hajoamistuotteena syntyy metaania, joka hapettomissa olosuhteissa voi akkumuloitua ympäristöön aiheuttaen räjähdysriskin. Metaanin tuotanto voi alkaa vasta huomattavalla viiveellä. Lisäksi metaanin tuotanto voi jatkua vuosia senkin jälkeen, kun itse biopolttoaine on hävinnyt ympäristöstä. (ITRC 2011) Bioöljyt voivat aiheuttaa vesieliöiden tahriintumista kuten perinteiset öljytkin. Fingas (2015) raportoi 20 onnettomuutta ympäri maailmaa (pääasiassa USA:sta ja Kanadasta), joissa kasviöljyä on vuotanut veteen. Havaitut vaikutukset ympäristössä ovat olleet etenkin hapen kuluminen loppuun kasviöljyn hajoamisen seurauksena, jolloin eliöitä on kuollut hapenpuutteen vuoksi. Lisäksi monessa onnettomuustapauksessa on kuollut paljon lintuja tahriintumisen seurauksena.

Fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä muutamalla lajilla määritetyt ekotoksisuusarvot antavat vain suuntaa antavia arvioita tuotteiden käyttäytymisestä ja vaikutuksista ympäristössä. Lisäksi tarvitaan tutkimusta oikeassa maaperässä ja vedessä erilaisissa olosuhteissa, jotta osattaisiin arvioida sopivaa kunnostusmenetelmää ja suunnitella ympäristön monitorointia. Esimerkiksi monitoroitu luontainen puhdistaminen, jossa ei monitoroinnin lisäksi tehdä aktiivisia kunnostustoimia, tai biologinen puhdistus voisi sopia joillekin bioöljyille ja -polttonesteille. Näitä menetelmiä onkin suositeltu biodieselille, kasviöljyille ja korkeaseosetanolille maailmalla (ITRC 2011).

### **Bioöljyt öljyntorjunnan näkökulmasta**

Vaikkakin biopolttoaineiden käytöllä saavutetaan monia etuja, on niiden aiheuttamiin vahinkoihin varautumisessa vielä paljon epäselvyyttä; sopivinta tapaa torjua bioöljyä tai sen seoksia ei tiedetä (Hollebone ym. 2008). Bioöljyjen käyttäytymistä on tutkittu laboratoriotesteissä (mm. Cooper ym. 2008 ja Hollebone & Yang 2009), mutta torjuntamenetelmien käyttökelpoisuuden varmentamiseksi tarvitaan laajempia tutkimuksia ja käytännön kokeita.

Bioöljyjen petrolipohjaisista öljyistä eroavat kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet saattavat heikentää nykyisten öljyntorjuntalaitteistojen ja puhdistusmenetelmien tehokkuutta (Hollebone ym. 2008). Käyttökelpoisuus voi heiketä kerättävyyden mutta myös materiaalien kestävyuden näkökulmasta. Bioöljyt saattavat aiheuttaa vaurioita torjunta- ja keräyslaitteistojen muovi- ja kumiosille, kuten tiivisteille ja letkuille. Esimerkiksi puhtaat biodieselit hajottavat ja vuotavat läpi suodattimista, letkuista, tiivisteistä sekä muista pehmeistä muoveista, liimoista ja sideaineista. Tietoa öljypuomien, jotka normaalisti ovat PVC-muovilla, neopreenilla tai uretaanilla pinnoitettuja, bioöljykestävyydestä ei vielä ole löytynyt. Tietyt metallit kiihdyttävät bioöljyjen hapettumista ja muodostavat liukenematonta sakkaa tai geeliä sekä suoloja polttoaineeseen, mikä johtaa suodattimien tukkiutumiseen. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 5; ITRC 2011, 33.)

Bioöljyjen torjunnassa tuleekin kiinnittää erityistä huomioita keräystyössä ja vahinkojätteen välivarastoinnissa sattuvien toissijaisten vahinkojen välttämiseen, jotka voivat aiheutua yhteensopimattomista materiaaleista ja laiterikoista johtuvista vuotoista. Bioöljyn keräyslaitteisiin tai välivarastointiin käytettäviin tankkeihin soveltuvia materiaaleja ovat mm. alumiini, teräs, teflon ja useimmat lasikuidut. Tankeissa tulee välttää lyijyjuotoksia ja sinkkipinnoitteita, samoin kuin kupariputkia ja messingistä, kuparista tai pronssista valmistettuja liittimiä ja venttiileitä. Nämä osat tulee vaihtaa ruostumattomasta teräksestä, hiiliteräksestä tai alumiinista valmistettuihin. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 5.) Pyrolyysiöljy taas on hapanta, minkä vuoksi keräys- ja varastointivälineiden tulee olla haponkestäviä ja ruostumattomia (Fortum 2015a).

Biodieselit ovat hygroskooppisia eli kosteutta sitovia. Tästä syystä myös vahinkotilanteessa kerätty biodiesel sisältää vettä, mikä nopeuttaa huomattavasti öljyn biohajoamista ja happamoitumista. Vesi bioöljyä sisältävässä tankissa johtaa erittäin happamien olosuhteiden muodostumiseen, mikä lisää metallien korroosiota ja aiheuttaa nopeaa mikrobikasvua tankissa. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010, 9.) Mikrobikasvu säiliössä tukkii suodattimet ja putkiyhteydet. Korroosiovaaraa lisää bioöljyjen hygroskooppisuuden ja mikrobiologisen kasvuston lisäksi tuotteiden petrolituotteita korkeampi sähkönjohtavuus ja taipumus ruosteen, kuonan ja sedimenttien liottamiseen (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010; ITRC 2011).

Bioöljyille soveltuvista keräysmenetelmistä on saatavilla vain vähän tietoa. Osittain bioöljyille soveltuvat samat keräysmenetelmät kuin petrolipohjaisille öljyille. Skimmerit eli harjakeräimet saattavat toimia jopa paremmin biodieselillä kuin tavallisella dieselillä sen suuremmasta viskositeetista johtuen. Toisaalta taas esimerkiksi biodieselin kerättävyyttä heikentää maitomaisen emulsion muodostuminen. (S.L. Ross Environmental Reseach Ltd 2010). Lisäksi haasteita aiheuttavat joidenkin bioöljyjen geelilytyminen ja esimerkiksi parafiinien kiteytyminen.

Imeytysaineet tehoavat S.L. Ross Environmental Reseach Ltd:n (2010) mukaan biodieseleihin samoin kuin saman viskositeetin petrolipohjaisiin dieseleihin. Öljypuomit ja muut imeytysaineet on kuitenkin pääsääntöisesti suunniteltu imemään öljynkaltaisia aineita ja mahdollisimman vähän vettä (ITRC 2011). Esimerkiksi korkeaseosetanolivuotoa torjuttaessa imeytysaineet keräävät etanolia ja etanoliseoksia vain silloin, kun vettä ei ole läsnä. Vedessä tarvitaan absorboivan imeytysaineen tai -puomin käyttöä (ITRC 2011). Pyrolyysiöljyn imeyttämiseen suositellaan sahajauhoa, vermikuliittia tai montmorilloniittia (Conversion and Evaluation Ltd 2006).

Ensitoimenpiteissä erityistä huomiota on kiinnitettävä vesiliukoisten bioöljyjen ja -polttoaineiden kulkeutumisen rajoittamiseen. Torjunnassa on huomioitava erityisesti sade- ja hulevesiviemärit, joissa vesiliukoiset yhdisteet voivat kulkeutua pitkälle (ITRC 2011).

### **Bioöljyjen tutkimusta ÄLYKÖ-hankkeessa**

Mikkelin ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulujen yhteinen ympäristövahtien torjuntaa kehittävä Älykö-hanke tutkii ja selvittää muun muassa bioöljyjen ja öljyn eri komponenttien käyttäytymistä maaperässä. Kokeellisissa töissä selvitetään joko malliaineiden tai erään bioöljyn vapautumista maaperän partikkeleista. On havaintoja, että esimerkiksi niin sanottu nopeasti partikkeleista vapautuva fraktio antaa tarkemman kuvan ympäristölle haitallisesta osuudesta. Näitä töitä on tehty jo vuosikymmeniä erityisesti sedimenttitutkimuksen puolella (Cornellissen 1998, Sormunen 2008). Toisaalta hitaasti vapautuvat molekyylit voivat kuormittaa ympäristöämme vuosikymmeniä, kuten esim. Kymijoella (Sormunen 2008). Edellisen lisäksi on viitteitä siitä, että nopeasti vapautuva fraktio kuvaisi mahdollista biohajoavaa osuutta (Cornellissen 1998). Älykö-hankkeessa suoritetaan malliyhdisteillä kemikaalien vapautumis- eli niin sanottuja desorptiokokeita kahdessa ominaisuusiltaan erilaisessa suomalaisessa maanäytteessä. Kokeelliseen aineistoon pohjautuvan mallin avulla pystytään laskemaan ns. nopeasti vapautuvan fraktion suuruus ja osuus. Yhdisteen vapautumiskäyttäytymisen ymmärtäminen auttaa esim. maapesun tai muun kunnostuksen käyttökelpoisuuden arvioimisessa. Ympäristömme vierasaineet eivät suinkaan käyttäydy samalla tavalla. Mikäli meillä on ymmärrys yhdisteen käyttäytymisestä, pystymme kohdentamaan suojele- tai kunnostustoimet oikealla tavalla.

Bioöljyjen käyttäytymistä tutkitaan myös makeassa vedessä demonstraatiokokein. Edes mineraaliöljyperäisten tuotteiden, kuten kevyen polttoöljyn, käyttäytymistä makeassa vedessä ei ole tutkittu kovin paljoa, vaan tutkimukset on tehty lähinnä merivedessä. Älykö-hankkeessa demonstroidaan laboratoriossa bioöljyn ja perinteisten öljytuotteiden käyttäytymistä, kuten liukenemista, haihtumista, dispersoitumista, kellumista ja vajoamista järivedessä. Kokeiden tarkoituksena on havainnollistaa eri öljytuotteiden välisiä eroja sekä antaa tietoa tulevaisuuden tutkimustarpeista.



## LÄHTEET

California Environmental Protection Agency (2010) Renewable diesel multimedia evaluation, Draft FINAL Tier I Report. The University of California, Davis and The University of California, Berkeley.

Chen CS, Lai Y, Tien C (2008) Partitioning of aromatic and oxygenated constituents into water from regular and ethanol-blended gasolines. *Environ Pollut* 156:988–996.

Conversion and Evaluation Ltd 2006. Transport, storage and handling of biomass derived fast pyrolysis liquids. Compliance with all international modes of transport.

Cooper, Velicogna, Obenauf & Brown 2008. Biodiesel Spill Response. AMOP Proceedings.

Cornellissen, G. 1998. Rapidly desorbing fractions of PAHs in contaminated sediments as a predictor of the extend of bioremediation. *Environ. Sci. Technol.*, 32: 966-970.

DeMello, J.A., Carmichael, C.A., Peacock, E.E., Nelson, R. K., Arey, J.S., Reddy, C. M. 2007: Biodegradation and environmental behavior of biodiesel mixtures in the sea: An initial study. *Marine Pollution Bulletin* 54: 894-904.

ECHA (European Chemicals Agency) 2015. Rekisteröidyt aineet, tietokanta. Saatavissa <http://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals/registered-substances>.

Fingas, M. 2015: Vegetable oil spills: oil properties and behavior. Handbook of Oil Spill Science and Technology, edited by Merv Fingas. Wiley, USA.

Girard, G., Blin, J., Bridgewater, A. & Meier, D. 2005. An assessment of bio-oil toxicity for safe handling and transportation - Toxicological and Ecotoxicological Tests. Cirad, Aston University, BFH.

Fortum 2015a. Saatavissa <http://www.fortum.com/countries/fi/yritysas-iakkaat/bio%C3%B6ljy/pages/default.aspx>.

Fortum 2015b. Saatavissa <http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/polttoaineet/biooljy/pages/default.aspx>.

Freitas JG, Barker JF (2011) Oxygenated gasoline release in the unsaturated zone—part 1: source zone behavior. *J Contam Hydrol* 126: 153–166. doi:10.1016/j.jconhyd.2011.07.003.

Hollebone, B.P., Fieldhouse, B. & Landriault, M. 2008. Aqueous solubility, dispersibility and toxicity of biodiesels. International Oil Spill Conference IOSC Proceedings. Sivut 929-936. IOSC API Product No. L47190.

Hollebone, B. & Yang, Z. 2009: Biofuels in the Environment: A Review of Behaviours, Fates, Effects and Possible Remediation Techniques. AMOP. Vancouver, BC, 127.

ITRC (The Interstate Technology & Regulatory Council) 2011. Biofuels: Release Prevention, Environmental Behavior and Remediation. BIOFUELS-1. The Interstate Technology & Regulatory Council, Biofuels Team. Washington D.C.

Knothe, G. 2010: Biodiesel and renewable diesel: A comparison. – Progress in Energy and Combustion Science 36: 364-373.

Malk V, Barreto Tejera E, Simpanen S, Dahl M, Mäkelä R, Häkkinen J, Kiski A, Penttinen O-P (2014) NAPL migration and ecotoxicity of conventional and renewable fuels in accidental spill scenarios. Environ Sci Pollut Res 21:9861–9876.

Neste Oil 2015. Saatavissa <http://www.neste.com/fi/fi/yritysiasiakkaille/tuotteet/uusiutuivat-tuotteet>.

Powers SE, Hunt CS, Heermann SE, Corseuil HX, Rice D, Alvarez PJJ (2001) The transport and fate of ethanol and BTEX in groundwater contaminated by gasohol. Crit Rev Environ Sci Technol 31:79–123.

S.L. Ross Environmental Research Ltd 2010. Determine if Ohmsett is suitable for researching, testing and training in biofuel spill response. Final report for US Department of the Interior.

Sormunen, A. 2008. Desorption of sediment-associated polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans, diphenyl ethers and hydroxydiphenyl ethers from contaminated sediments. Chemosphere 72:1-7.

St1 2015a. Saatavissa <http://www.st1.fi/tuotteet/re85>.

St1 2015b. Saatavissa <http://www.st1.eu/news/cellunolix-ethanol-plant-to-be-built-in-finland>.

UMP 2015. Saatavissa <http://www.upm.com/FI/MEDIA/Uutiset/Pages/UP-Mn-Lappeenrannan-biojalostamo-on-kaupallisessa-tuotannossa-001-Mon-12-Jan-2015-11-31.aspx>.

Ölly- ja biopolttoaineala ry. 2015. Saatavissa <http://www.oil.fi/fi>.

# PIKAMITTAUSMENETELMÄT ÖLJY-VAHINKOJEN MONITOROINNISSA

*Vuokko Malk & Arto Sormunen & Juha Leinonen & Maija Tanskanen & Anu Kela*

Öljyvahingot ovat yleisimpiä onnettomuustyyppisiä, joissa haitta-aineita päätyy ympäristöön. Öljypitoisuudet analysoidaan perinteisesti kaasukromatografisesti laboratoriossa, mutta laboratorioanalytiikka on kohtuullisen hidasta ja kallista. Esimerkiksi onnettomuustilanteessa tietoa tarvitaan nopeasti. Laboratorioanalytiikan rinnalle onkin kehitetty erilaisia kenttämittareita. Maanäytteiden ja haihtuvien yhdisteiden kenttämittauksia käytetään paljon, mutta pikamittausmenetelmiä öljypitoisuuden määrittämiseksi vedestä on Suomessa toistaiseksi käytössä vähän. Maailmalla on kehitetty muun muassa UV-fluoresenssiin, infrapunaan ja optiseen sirontaan perustuvia menetelmiä, joilla voidaan havaita joko veteen liuenneet PAH-yhdisteet, kaikki alifaattiset ja aromaattiset yhdisteet, vedessä olevat öljypisarot tai veden pinnalla kelluva öljykalvo.

Tässä artikkelissa käsitellään kenttämittareita, jotka sopivat vedessä tai maassa olevien öljy-yhdisteiden mittaamiseen. Työ on tehty osana Älykö-hanketta (Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta). Mikkelin ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulujen yhteishanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Metsäsairila Oy ja Meritaito Oy.

## **Kenttämittarit perinteisen laboratorioanalytiikan tukena**

Perinteinen laboratorioanalytiikka on useimmissa tapauksissa kohtuullisen hidasta ja kallista. Perinteisen laboratorioanalytiikan rinnalle onkin kehitetty erilaisia kenttämittareita. Viime vuosina kehitys on ollut nopeaa ja eri laite-toimittajat tuovat markkinoille uusia laitteita jatkuvasti. Tämä luo haasteita ympäristönäytteenottajille, mutta myös laite-toimittajille. Kenttäkelpoisuus asettaa toisaalta haasteen laite-toimittajille tehdä kenttäkelpoisia laitteita, jotka pystyvät tuottamaan laadukasta analyysitulosta. Toisaalta esimerkiksi näytteenottajien on tarpeellista tunnustaa laitteiston epävarmuustekijät ja edusta-

van näytteenoton vaarantavat tekijät. Usein suurten ja kalliidenkin päätösten perusteena olevan tiedon on oltava laadukasta. Hyvän kenttämittarin pitäisi pystyä tuottamaan luotettavasti, nopeasti ja edullisesti korkealaatuisia mittatuloksia.

Kenttämittaukset ja jatkuvatoimiset mittaukset ympäristöseurannoissa lisääntyvät nopeasti, ja tästä syystä näytteenottajien osaamista eri kenttämittareiden toiminnasta lienee tarpeellista korostaa. Kenttämittausten etuna ympäristöseurannoissa voidaan nähdä nopeat tulokset, kustannusten väheneminen ja mittausten lukumäärän kasvattaminen ja parantunut tulosten luotettavuus. Lähtökohtaisesti haitallisten aineiden tutkimusten tulee perustua standardoituin tai niitä luotettavuudeltaan vastaaviin menetelmiin. Kuitenkaan aina kenttämittausten ja laboratoriotulosten suora vertailu ei ole järkevää. Joskus tietoa tarvitaan nopeasti, jolloin valmisteluun on aikaa hyvin vähän.

Esimerkiksi onnettomuustilanteessa näytteenottoa ehditään suunnitella ennakkoon vain vähän, eikä näytteenottajalla ole mahdollisuutta vierailu kohteessa etukäteen. Nämä ovat jo hyviä perusteita erilaisten kenttämittareiden ja pikamittausmenetelmien käytölle. Toisaalta on hyvä tunnistaa ja tiedostaa, että kenttämittausten luonne poikkeaa hyvin paljon jo eri mittareiden välillä, mutta myös laboratoriomittauksiin verrattuna. Esimerkiksi pitoisuudet ovat usein summaparametreja ja ne joudutaan ilmaisemaan tuorepainoa kohden.

## **Menetelmiä öljypitoisuuden määrittämiseen**

Seuraavassa osuudessa tarkastellaan erilaisia menetelmiä, joita voidaan käyttää öljyn määrän selvittämiseen maa- tai vesinäytteessä. Infrapuna-, UV-fluoresenssi ja valonsirontamenetelmät perustuvat valon lähettämiseen näytteen läpi erilaisilla aallonpituuksilla. Näitä menetelmiä varten on olemassa kevyitä ja yksinkertaisia mittareita, joilla voidaan suorittaa kohteissa tapahtuvia pikamittauksia. Kaasukromatografi – liekki-ionisaatiodektrori (CG-FID) ja gravimetrinen menetelmä ovat toteutukseltaan monimutkaisempia ja soveltuvat paremmin laboratoriossa tapahtuvaan tutkimukseen.

Vaikkakin pikamittausmenetelmät ovat kohtuullisen tarkkoja ja nopeita suorittaa, niiden antamat tulokset ovat vain suuntaa antavia. Tulosten oikeellisuus tulisi aina tarkistaa laboratoriossa (Lepistö 2014).

### **Infrapuna**

Tyypilliset infrapunaa käyttävät öljynmittausmenetelmät perustuvat näytteesä olevien hiilivetyjen infrapuna-absorptioon. Hiilivedyt absorboivat energiaa tietyllä aallonpituudella (3,4 mikrometriä), ja absorboidun energian määrä on suhteellinen hiilivetyjen määrään (Reeves 2000). Saatuja absorbansseja laite vertaa siihen ennalta ohjelmoituun kalibraatiosuoraan, joka on luotu käyttä-

mällä tunnettuja näytepitoisuuksia. Koska myös vesi ja muut aineet absorboivat energiaa, ne täytyy ensin poistaa näytteestä liuottimen avulla (Yang 2011). Menetelmä soveltuu niin maa- kuin vesinäytteisiin, sillä mittaus tapahtuu liuotimesta, joka on nestemäisessä muodossa.

### **UV-fluoresenssi**

Tämä menetelmä perustuu fluoresenssiin: ilmiöön, jossa aineen molekyylit absorboivat fotonin ja lyhyen ajan jälkeen emittoivat matalaenergisemmän fotonin, jolla on suurempi aallonpituus. Aromaattisten hiilivetyjen absorboidessa UV-valoa ne päästävät fluoresoivaa valoa pidemmällä aallonpituuksilla. Mittaamalla tämän fluoresoivan valon intensiteettiä voidaan määrittää aromaattisten hiilivetyjen kokonaismäärä. Aromaattisten hiilivetyjen ja hiilivetyjen kokonaismäärän välinen suhde on melko vakio (An Introduction to Fluorescence Spectroscopy 2000).

### **Valonsironta**

Valon sirontaa mittaava menetelmä perustuu näytteen läpi kulkevan valon intensiteetin mittaamiseen, mikä kertoo näytteen sisältämän öljyn määrästä. Käytännössä tekniikka koostuu valon lähettämisestä öljyä sisältävän näytteen läpi. Erilaisista partikkeleista (öljypisarat, kiinteät partikkelit ja kaasukuplat) johtuen osa valosta siroaa ja vähentynyt määrä valoa pääsee näytteen lävitse. Mittaamalla eri kulumista näytteen läpäisevän valon intensiteettiä yhdessä siroavan valon määrän kanssa on mahdollista erottaa öljypisarat kiinteistä partikkeleista ja kaasukuplista ja näin määrittää näytteen öljykonsentraatio (Reeves 2000). Esimerkki valonsirontaa hyödyntävästä mittausmenetelmästä on Dexsilin valmistama Petroflag (SW-846 Method 9074 1998).

### **Gravimetrinen**

Gravimetrinen eli massa-analyysi on periaatteeltaan hyvin yksinkertainen. Näyte punnitaan, siitä poistetaan kaikki muu paitsi mitattavat yhdisteet, jotka punnitaan uudelleen, ja saatu tulos vähennetään alkuperäisestä massasta. Tyypillisessä gravimetrisessä mittauksessa näytteestä uutetaan öljy liuottimen avulla. Kun liuotin on erotettu vesinäytteestä, se asetetaan astiaan, jonka paino on ennalta tiedossa. Astia asetetaan lämpötilakontrolloituun vesihauteeseen ja liuotin haihdutetaan, tiivistetään ja kerätään talteen. Liuottimen haihduttua astiaan jäänyt öljy kuivataan ja punnitaan. Saadun saostuman massan perusteella lasketaan tutkitun aineen määrä (Yang 2011).

Gravimetrisen mittauksen kenttäkäytössä ongelmaksi tulee riittävän tarkan vaa'an siirtäminen mittaushuoneeseen sekä liuotimen haihduttamiseen ja tiivistämiseen tarvittavien prosessien suorittaminen (Reeves 2000).

## GC-FID

Kaasukromatografian toimintaperiaate on varsin yksinkertainen. Pieni määrä näyteainesta injektoidaan kromatografian kolonniin, jossa kantokaasu, esimerkiksi helium tai argon, kuljettaa näytteen ainesosia kolonnin läpi (Gas chromatography 2015). Erityyppiset hiilivedyt lähtevät kromatografian kolonnista ominaisuuksiensa mukaan eri aikoihin ja ne voidaan näin havaita ja erotella. (Yang 2011).

Liekki-ionisaatiodektorin toiminta perustuu kahteen elektrodiin, jotka saavat aikaan potentiaalieron. Positiivinen elektrodi toimii liekin tuottavan suuttimen päänä. Kaasukromatografian kolonnista tuleva näyte kulkee liekin läpi, joka polttaa orgaanisen materiaalin ja tuottaa ioneja. Liekin yläpuolella sijaitseva negatiivinen elektrodi toimii keräyslevynä, johon ionit osuvat. Osuessaan levyyn ionit tuottavat varauksen, jonka riittävän tarkkuuden omaava elektrometri mittaa. Mittaustulos lähetetään tietopäätteeseen, jolta tuloksia voidaan lukea ja käsitellä (Flame ionisation detector 2015).

## Tarjolla olevia pikamittauslaitteita

Markkinoilla on tarjolla lukuisia edellä kuvattuihin menetelmiin perustuvia pikamittauslaitteita, joita hyödynnetään maaperän pilaantuneisuuden selvittämisessä ja pinta- ja pohjavesien sekä jätevesien tarkkailussa. Muita käyttökohteita ovat muun muassa laivojen pilssivesien tarkkailu ja öljyteollisuus.

Öljyn mittaamiseen vedestä (taulukko 1) on olemassa jatkuvatoimisia online-antureita, jotka asennetaan mittaushuoneeseen ja jotka lähettävät mittaustuloksia esimerkiksi pilvipalveluun. Jatkuvatoimisissa mitta-antureissa voi myös olla hälytysjärjestelmä, joka ilmoittaa välittömästi hälytysrajan ylittävistä pitoisuuksista. Hälytysjärjestelmiä käytetään esimerkiksi teollisuuslaitosten päästöjen tarkkailussa. Käsikäyttöisillä kannettavilla mittareilla voidaan mitata nopeasti öljypitoisuus vedestä ilman näytteenottoa. Laite on helppo kuljettaa mukana, kun mittauksia halutaan tehdä eri kohteissa. Pöytälaitteilla voidaan määrittää pitoisuudet vesinäytteistä muutamassa minuutissa joko kentällä tai laboratorioissa. Mittaustulokset saadaan huomattavasti nopeammin kuin perinteisissä laboratorioanalyysissä.

**TAULUKKO 1. Eräitä pikamittauslaitteita öljypitoisuuden määrittämiseen vedestä (tiedot valmistajien kotisivuilta)**

Laite (valmistaja)	Mittausperiaate	Analyytit	Määrittäminen (tarkkuus)	Analyysiaika	Käyttölämpötila
<b>*EHP-OIL</b> (EHP-Tekniikka)	UV fluoresenssi	PAH-yhdisteitä sisältävät öljyt, esim. diesel, bensiini, hydraulikaöljyt	0-50 ppb 0-500 ppb 0-5000 ppb	Jatkuva-toiminen mittaus	0-45 °C
<b>*TriOs enviro-Flu-HC</b> (TriOS Optical sensors)	UV fluoresenssi	mm. diesel, PAH-yhdisteet, naftaleeni, fluoreeni, fenoli sekä noin 10 muuta ainetta	0-50 ppb 0-500 ppb 0-5000 ppb  herkkyys 0,01 ppb puhtaassa vedessä	Jatkuva-toiminen mittaus	0-40 °C
<b>*LDI ROW</b> (Laser Diagnostic Instruments AS)	Fluoresenssi	Havaitsee veden pinnalla kelluvan öljykalvon, kaikki öljyt	öjykalvon pakkaus $\geq 3 \mu\text{m}$	Jatkuva-toiminen mittaus	-25-60 °C
<b>*OMD-32A</b> (Deckma Hamburg GmbH)	Optinen sironta	Erottaa öljypisarat kiinteistä partikkeleista ja kaasukuplista	0-200 ppm ( $\pm 1$ ppm)	Jatkuva-toiminen mittaus	1-55 °C
<b>*Advanced sensors HD 1000</b> (Advanced Sensors Ltd)	Laser indusoitu fluoresenssi	Mittaa aromaattisia hiilivetyjä. Öljytyypin ja kemikaalin tunnistus.	0-3000 ppm	Käsi-käyttöinen analysaattori, reaaliaikainen mittaus	-5-50 °C
<b>FluoroCheck II</b> (Arjay Engineering)	Fluoresenssi	Aromaattisia yhdisteitä sisältävät öljyt.	0-100 ppm ( $\pm 0,1$ ppm)	Pöytälaite	15-40 °C
<b>**InfraCal ATR-SP</b> (Wilks Enterprise, Inc.)	Infrapuna	Kokonais-öljyhiilivedyt (TPH), rasvat (FOG – fats, oil and grease)	0,3 ppm (vesi) 3 ppm (maa)	Pöytälaite, Analyysi alle 10 minuuttia	

\*saatavilla Suomessa, \*\*laite soveltuu myös maanäytteille

Pikamittausmenetelmät öljyn mittaamiseen maasta jakaantuvat karkeasti kahteen ryhmään. Taulukossa 2 mainitut Hanby TPH Soil Test Kit, Oil-In-Soil ja Oil Screen Soil koostuvat vain reagensseista, joita sekoitetaan näytteeseen. Niiden aikaan saaman reaktion voimakkuus indikoi öljyn määrää maassa. Tällaiset menetelmät antavat vain karkean kuvan tilanteesta, lähinnä onko maassa öljyä vai ei. Chemetrics Remedaid, Hach Pocket Colorimeter II Test Kit, SiteLAB Model UVF-3100D -Portable Field Analyzer ja InfraCal TOG/TPH Analyzer sisältävät mittauslaitteen, johon ennalta valmistellut näytteet asetetaan mittausta varten. Näin saatu tulos on tarkempi, mutta edelleen vain suuntaa antava. Mukana tulevasta mittauslaitteistosta johtuen nämä menetelmät ovat kalliimpia ja vaikeammin liikuteltavia.

**TAULUKKO 2. Eräitä pikamittauslaitteita öljypitoisuuden määrittämiseen maaperästä (tiedot valmistajien kotisivuilta)**

Laite (valmistaja)	Mittausperiaate	Analyytit	Määritysalue (tarkkuus)	Analyysiaika	Käyttölämpötila
<b>PetroFLAG (Dexsil Corporation)</b>	Optinen sironta	Kokonaisöljyhilivedyt (TPH)	15–2000 ppm Yli 2000 ppm:n PetroFLAG's High Range-reagensseilla		4–45 °C
<b>Chemetrics Remedaid (CHEMetrics, Inc.)</b>	Optinen sironta	Kokonaisöljyhilivedyt (TPH)	Esim. Diesel: 60–400 mg/kg, PAH (16 yhdistettä): 8–60 mg/kg		
<b>Hanby TPH Soil Test Kit (Hanby Environmental, USA)</b>	Kemiallinen	Kokonaisöljyhilivedyt (TPH)	1–1000 ppm Korkeat pitoisuudet 500–50 000 ppm		
<b>Hach Pocket Colorimeter II Test Kit (Hach Company, USA)</b>	Optinen sironta	Kokonaisöljyhilivedyt (TPH)	20–200 ppm		10–40 °C
<b>Oil-In-Soil (Oil In Soil, USA)</b>	Kemiallinen	Kokonaisöljyhilivedyt (TPH)	Ilmaisee, onko näytteessä yli 500 ppm TPH:ta		
<b>Oil Screen Soil (Cheiron Resources Ltd, Canada)</b>	Kemiallinen	Alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, Kokonaisöljyhilivedyt (TPH)	Ilmaisee, onko näytteessä TPH:ta yli 500 ppm		
<b>SiteLAB Model UVF-3100D-Portable Field Analyzer (Sitelab corporation)</b>	Optinen sironta	Kokonaisöljyhilivedyt (TPH)	TPH 5 ppm, PAH 25 ppb	Pöytälaite	
<b>**InfraCal TOG/TPH Analyzer (Wilks Enterprise, Inc.)</b>	Infrapuna	Kokonaisöljyhilivedyt (TPH), rasvat (FOG – fats, oil and grease)	0,3 ppm (vesi) 3 ppm (maa)	Pöytälaite, Analyysi alle 10 minuutissa	4–45 °C

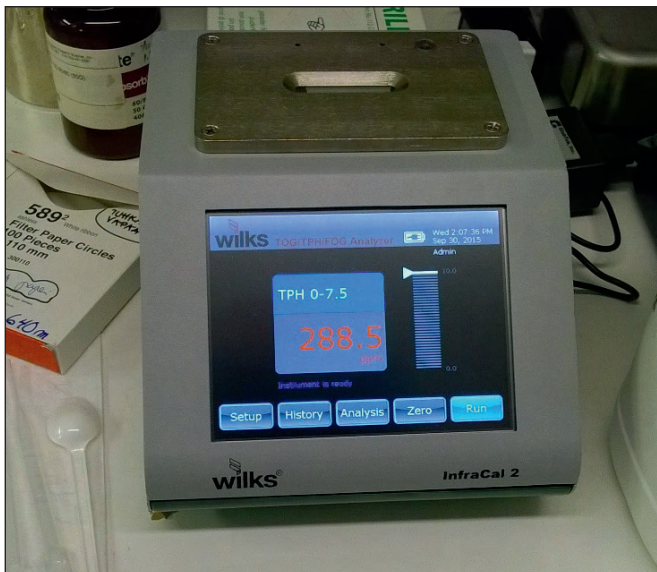
\*\*Laite soveltuu myös vesinäytteille



## Menetelmien testausta Älykö-hankkeessa

Kenttämittareiden laadunvarmistus on tarpeen. Esimerkiksi kenttämittarilla saatuja tuloksia pitäisi verrata raskaammalla tai vakiintuneemmalla laboratorioanalytiikalla saatuihin tuloksiin. Edelleen näyttää siltä, että kenttämittarit ovat laboratorioanalytiikkaa täydentäviä menetelmiä, ja niitä voidaan käyttää tilanteen kartoittamisessa, poikkeustilanteiden alkutilan selvityksissä ja vaikutusalueen laajuuden arvioinnissa. Laitekoulutus, mukaan lukien kalibrointi, ja kenttämittausten luonteen ymmärtäminen auttavat käyttökelpoisen mittaustuloksen tuottamisessa tulevaisuudessa. Varsinaista perustilan seuranta ja niihin liittyviä aikasarjoja ei kenttämittauksilla voida korvata. Kenttämittauksiin, kuten muuhunkin näytteenottoon, liittyy aina virhelähteitä. Kenttätoiminnassa ei voida hallita ympäristöolosuhteita, joten ne on otettava huomioon ja niitä on usein myös mitattava. Kun tulosten laatu on tiedossa, kenttä- ja pikamittausmenetelmät voivat olla tarkoitukseen hyvinkin riittäviä.

Älykö-hankkeessa testataan Wilks Infracal 2 ATR-SP -mittalaitteen (kuva 1) toimivuutta pikamittausmenetelmänä ja verrataan sen antamia tuloksia muihin menetelmiin, kuten Petroflagiin. Infracal 2 mittaa liuottimen avulla uutettuja hiilivetyjä, öljyjä tai rasvaa vesi- tai maanäytteistä hiilivetyjen infrapuna-absorptiota hyödyntäen. Laitteen mittaukset ovat vertailukelpoisia EPA-metodeihin 1664, 413.1 ja 418.1 sekä ASTM-metodiin D7066 (Infracal 2). Mittauksia tehdään sekä maa- että vesinäytteille. Pikamittausmenetelmillä saatuja tuloksia verrataan ulkopuolisessa laboratorioissa analysoitaviin tuloksiin oikeellisuuden varmentamiseksi.



KUVA 1. Infracal-mittauslaite öljypitoisuuden mittaamiseen vedestä ja maaperästä (kuva Vuokko Malk)

## LÄHTEET

Yang, Ming 2011. Measurement of Oil in Produced Water. USA: Springer.

Reeves, Greg 2000. Understanding and Monitoring Hydrocarbons in Water. Canada: Arjay engineering ltd.

Flame ionisation detector. Gas chromatography with HiQ® specialty gases. 2015. Linde AG.

Analytical Method Guidance for EPA Method 1664A Implementation and Use (40 CFR part 136). 2000. EPA.

Lepistö, Westerholm, Schultz, Uljas, Björklöf 2014. Hyvät käytännöt pilaantuneiden maiden kenttätutkimuksissa. Suomi: Suomen ympäristökeskus.

SW-846 Method 9074. 1998. Turbidimetric screening method for total recoverable petroleum hydrocarbons in soil. USA: EPA.

An Introduction to Fluorescence Spectroscopy. 2000. PerkinElmer Ltd.

# VAARALLISTEN AINEIDEN KULJETUSTEN JA VARASTOINNIN RISKIKOhteet SAIMAALLA JA ITÄ-SUOMESSA

*Jouni-Juhani Häkkinen & Vuokko Malk*

Saimaa on ainutlaatuinen luontoalue, tärkeä liikenneväylä ja virkistysalue. Öljy- ja kemikaalivahingot Saimaalla voivat tehdä peruuttamatonta tuhoa. Vesistöön, maaperään tai pohjaveteen voi päästä suuria määriä öljyä tai muita kemikaaleja rannalla sijaitsevista varastoista, säiliöauto-onnettomuuksista tai laivojen polttoainetankeista. Itä-Suomessa runsaasti käytettyjä vaarallisia aineita ovat öljytuotteiden lisäksi ammoniakki, lipeät, hapot, pyrolyysiöljy ja metanoli. Mikkelin ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulujen Älykö-hankkeessa koottiin yhteen ja analysoitiin kymmenien eri viranomaisjärjestelmien tiedot. Tietoja saatiin vaarallisia aineita käsittelevistä tai varastoivista laitoksista yhteensä yli 600 toimipaikan osalta. Lisäksi tutkittiin yli 1000 VAK-onnettomuutta, öljyvahinkoa ja laivaonnettomuutta, sekä selvitettiin alueen kuljetus- ja liikennemäärät. Riskikohteiden analyysi tukee onnettomuuksiin varautumista etenkin herkillä pohjavesi- ja suojelualueilla.

## **Älykö-hanke analysoi Saimaan alueen riskikohteita**

Saimaa on ainutlaatuinen luontoalue, tärkeä liikenneväylä ja virkistysalue. Öljy- ja kemikaalivahingot Saimaalla voivat tehdä peruuttamatonta tuhoa. Vesistöön, maaperään tai pohjaveteen voi päästä suuria määriä öljyä tai muita kemikaaleja rannalla sijaitsevista varastoista, säiliöauto-onnettomuuksista tai laivojen polttoainetankeista.

Saimaan syväväylällä ei kuljeteta öljyä tankkereissa, mutta laivojen polttoainesäiliöissä on suuria määriä polttoainetta, jonka vuotaminen vesistöön voi aiheuttaa suurta tuhoa. Laivoissa olevat polttoainemäärät ovat kymmeniä tonneja, joista voi vuodon takia pahimmillaan aiheutua rantaviivan saastumista kymmenien kilometrien matkalla. Öljyä ja kemikaaleja käyttävissä ja varastoivissa laitoksissa on suurimmillaan tuhansien tonnien varastointimääriä. Säiliöau-

tossa voi olla 50 tonnia öljyä tai kemikaalia. Liikenneonnettomuus voi sattua sillalla tai ranta-alueella, jolloin säiliöauton lasti voi vuotaa suoraan veteen ja levitä virtauksen vaikutuksesta nopeasti. Läpäisevässä maaperässä öljy voi kulkeutua nopeasti pohjaveteen, josta sen puhdistus on vaikeaa.

Öljyn ja vaarallisten aineiden kuljetuksen ja varastoinnin ympäristöriskeihin liittyvät tietoaineistot Itä-Suomen ja Saimaan alueilta koottiin ja analysoitiin osana Älykö-hanketta (Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta). Riskikohteiden analyysi tukee onnettomuuksiin varautumista etenkin herkillä pohjavesi- ja suojelualueilla. Mikkelin ja Kymenlaakson Ammattikorkeakoulujen yhteishanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Metsäsairila Oy ja Meritaito Oy. Hanke alkoi 1.1.2015 ja päättyy 31.12.2016.

### **Saimaan syväväylän riskikartoitus**

Riskikartoituksessa kerättiin Saimaan syväväylän laivaliikenteeseen liittyviä tietoja sekä julkisista lähteistä että eri viranomaislähteistä. Käytetyt tiedot eivät näin ollen ole kaikilta osin julkisia. Osa lähdetiedoista on luokiteltu luottamukselliseksi ja osa tiedoista on salassa pidettäviä. Tässä raportissa esitetyt tiedot on koostettu useista lähteistä, ja saaduista tuloksista on poistettu mahdolliset salassapitovelvollisuuden piiriin kuuluvat tiedot. Laivojen satamakäyntien lukumäärät saatiin Liikenneviraston PortNet-järjestelmästä vuosilta 2002–2014. Tämän lisäksi laivojen lukumäärätietoja on kerätty Merenkulkulaitoksen raporteista, Tilastokeskukselta sekä Satamaliitosta. Laivaonnettomuustiedot on kerätty Merenkulkulaitoksen raporteista, Trafilta ja Liikennevirastosta. Tämän lisäksi lähteenä on käytetty aiempia tutkimuksia sekä Onnettomuustutkintakeskuksen julkisia raportteja.

### **Saimaan syväväylä**

Saimaan syväväylän pituus on noin 770 kilometriä. Syväväylällä on syväsatamia yhteensä kymmenellä paikkakunnalla. Syväväylän kartta ja satamapaikkakunnat on esitetty kuvassa 1. Saimaan kanava rajoittaa liikennöivien alusten kokoa noin 80 metrin pituuteen. Liikennöivät laivat ovat pääsääntöisesti tätä kokoluokkaa.

### **Syväväylän liikennemäärät**

Saimaan syväväylällä liikennöivillä rahtialuksilla on vuosittain keskimäärin 1500 satamakäyntiä Saimaan satamissa. Etelä-Saimaan satamien (Lappeenranta, Imatra, Joutseno ja Ristiina) osuus liikenteestä on noin 60 %.

Alusliikenteen kehitys Saimaalla noudattelee yleisiä talouden suhdanteita, ja tällä hetkellä alusliikenteen määrät ovat palautumassa vuoden 2008 tienoilla tapahtuneesta notkahduksesta. Venäjää koskevien talouspakotteiden vaikutus liikennemääriin on vielä epäselvä. Saimaalla kuljetetaan pääasiassa puutavaraa, ja yleisin laivatyyppi on irtolastialus. Saimaalla liikennöi aluksia useiden eri valtioiden lipun alla. Suurin määrä satamakäyntejä tulee Venäjän ja Alankomaiden lipun alla kulkeville aluksille. Suomalaisia aluksia on noin 10 %.

### **Syväväylän riskipaikat**

Saimaan syväväylällä on tunnistettu ns. riskipaikkoja, joissa on normaalia korkeampi laivaonnettomuuden riski. Riskipaikat ovat tyypillisesti kapeikkoja ja virtauspaikkoja sekä kanavia. Myös syväväylän ylittävät sillat ja lossit kohottavat onnettomuusriskiä. Riskipaikkoja on dokumentoitu jo Mikkelin vesirakennuspiiriin vuoden 1996 raportissa. Ensaco-hankkeessa vuonna 2012 riskipaikat kartoitettiin paikkatietoaineistoksi. Suomen Ympäristökeskus järjesti toukokuussa 2015 työpajan, jossa asiantuntijaryhmä suoritti riskipaikkojen määrittelyn koko syväväylän alueella. Myös Liikenneviraston Saimaan syväväylän suojapaikkoja kartoittanut työpaja Lappeenrannassa otti kantaa syväväylän riskipaikkoihin helmikuussa 2015.

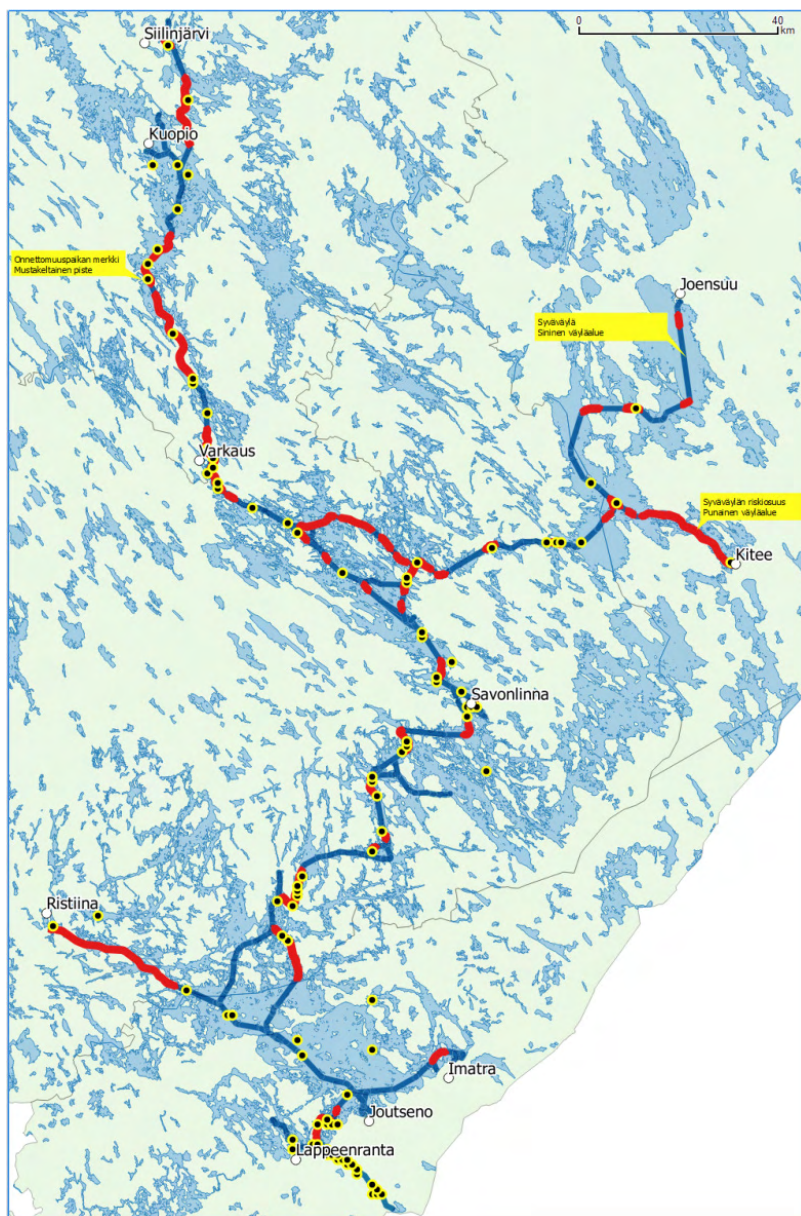
Kaikki edellä mainitut tietolähteet ovat päätyneet yhdenmukaisiin tuloksiin. Riskipaikat on esitetty alla olevassa kartassa (kuva 1). Samaan kuvaan on myös merkitty tässä raportissa kuvattujen onnettomuuksien tapahtumapaikat niiltä osin kuin paikkatieto on ollut saatavilla.

Riskipaikoista vaarallisin on sekä arvioiden että onnettomuusmäärien perusteella Kyrönsalmen väylänkohta Savonlinnassa. Kyrösalmessa väylä kulkee voimakkaassa virtauksessa hyvin kapeassa salmessa. Väylä alittaa kaksi siltaa sekä historiallisesti merkittävän Olavinlinnan. Vaikeita paikkoja ovat myös Vekaransalmi Sulkavalla sekä Varkauden kaupungin lähellä olevat väyläalueet.

### **Laivaonnettomuudet**

Saimaan syväväylältä raportoidaan laivaonnettomuusilmoituksia vuosittain. Onnettomuusmäärät ovat vuosien varrella vaihdelleet huomattavasti; suurimmillaan on ollut jopa 20 onnettomuusilmoitusta vuodessa. Suuria ympäristövaikutuksia aiheuttaneita onnettomuuksia ei ole raportoitu.

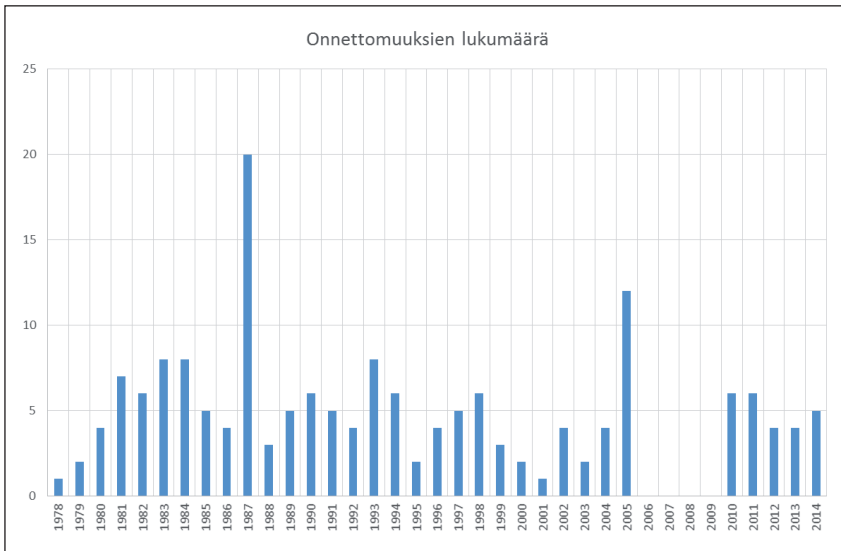
Onnettomuuksien raportointi- ja kirjausmenetelmät sekä niiden tilastointiperiaatteet ovat tarkastelujaksolla muuttuneet. Paperiarkistoinnista on siirrytty sähköiseen arkistointiin ja myös sähköisen arkistoinnin järjestelmät ovat ajan myötä kehittyneet. Tämä hankaloittaa jossakin määrin järjestelmällisten onnettomuusanalyysien laatimista.



KUVA 1. Saimaan syväväylä, riskipaikat sekä onnettomuudet

## Onnettomuustapausten tiedot

Eri lähteistä kerätyt tiedot onnettomuuksista sisältävät onnettomuusilmoituksista kerättyjä tietoja hieman eri painotuksilla. Osa vanhemmista onnettomuusilmoituksista on etenkin paikkatietojen osalta verraten puutteellisia. Kuvassa 2 on esitetty tällä hetkellä tiedossa olevat onnettomuusmäärät vuodesta 1978 alkaen. Vuosien 2006–2009 osalta on olemassa tietoja, joiden analyysi on tämän raportin julkaisuaikana vielä kesken.

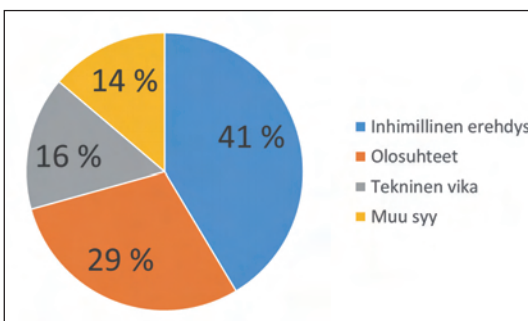


KUVA 2. Raportoidut laivaonnettomuudet Saimaan syväväylällä 1978–2014. Vuosien 2006–2009 tiedot puuttuvat

Onnettomuuksien vuosittainen lukumäärä vaihtelee. Kuvasta 4 havaitaan, että onnettomuusmäärien huippuvuosi oli 1987, jolloin raportoitiin 20 kapaletta onnettomuuksia. Vuonna 2001 onnettomuuksia raportoitiin vain yksi. 1990-luvulta alkaen onnettomuustapauksia on ollut vuodessa keskimäärin alle viisi kapaletta.

### Onnettomuuksien syyt

Onnettomuusraportteihin on kirjattu onnettomuuksiin johtaneita syitä jonkin verran vaihtelevalla luokituksella. Kuvassa 3 on esitetty onnettomuussyiden pääluokat ja niiden jakauma yhteensä 116 onnettomuuden perusteella. Onnettomuuksien jakaumasta voidaan nähdä, että 41 % onnettomuuksien syistä on inhimillisiä erehdyksiä. Tyypillisiä onnettomuuteen johtaneita erehdyksiä ovat olleet navigointivirheet tai puutteelliset tai huonosti viestitetyt tilannetiedot.



KUVA 3. Onnettomuussyiden jakauma

## **Onnettomuuksien jakauma ajankohdan mukaan**

Onnettomuuksia tapahtuu kaikkina vuorokaudenaikoina sekä kaikkina syväväylällä liikennöitävinä kuukausina. Onnettomuudet jakautuvat melko tasaisesti vuorokauden mittaan. Päivänvalon aikaan voidaan arvella olevan hieman vähemmän onnettomuuksia kuin yöllä, ja keskiyön huippuarvo ajoittuu laivojen vahtijärjestelmän mukaisen vahdinvaihdon tienoille. Nämä havainnot eivät kuitenkaan ole tilastollisesti päteviä eikä niiden perusteella voi tehdä enusteita.

Liikennöitävien kuukausien onnettomuuksien jakauma eri kuukausille poikkeaa toisistaan huomattavasti. Onnettomuudet painottuvat syksyn kuukausille. Onnettomuustapausten jakauman vertailu kyseisen kuukauden liikennöintimäärän jakaumaan paljastaa onnettomuusriskin suhteellisen osuuden olevan keskimääräistä korkeampi syksyn kuukausina ja jossakin määrin huhtikuussa, jolloin vielä jääolosuhteet haittaavat liikennettä. Tilastollisesti korrelaatio ei ole vahva, mutta voidaan kuitenkin todeta, että marraskuu on sekä absoluuttisesti että suhteellisesti riskialttein kuukausi.

Saimaan syväväylän kokonaisuudessa Saimaan kanavalla tapahtuu eniten onnettomuuksia. Kanavalla kulkunopeudet ovat pieniä ja vauriot ovat tyypillisesti vähäisiä. Kanavalla onnettomuudet ovat pääasiassa pieniä törmäyksiä penkkoihin tai rakenteisiin. Varsinaisella syväväylällä tapahtuvat onnettomuudet keskittyvät tunnettuihin riskipaikkoihin, ja vaurioiden jakauma on suurempi.

## **Onnettomuuksien seuraukset**

Tutkitussa aineistossa ei ollut lainkaan vakaviin ympäristövahinkoihin johtaneita onnettomuuksia. Väylältä sivuun ajamisen seurauksena tapahtuvia pohjakosketuksia on lukumääräisesti paljon. Tämän lisäksi erilaisiin rakenteisiin (sillat, johteet) tapahtuneita törmäyksiä on jonkin verran. Rahtilaivojen yhteentörmäyksiä ei aineistossa ollut lainkaan, mutta laivojen törmäyksiä hinaajiin ja tukkilauttoihin on raportoitu. Näissä tapauksissa vaurioita ovat kärsineet lähinnä hinaajat.

## **Alusöljyonnettomuuden riski**

Saimaalla ei kuljeteta öljyä vesikuljetuksina. Tämän takia laivaöljyvahingon maksimimäärän arviointi perustuu laivan mukanaan kuljettaman polttoaineen määrään. Saimaalla liikennöivät alukset käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. Laivoissa oleva polttoaine on jakautuneena useampaan säiliöön, joten laivan koko polttoainemäärän pääseminen luontoon on epätodennäköistä. Toistaiseksi suuria öljyonnettomuuksia ei ole sattunut, eikä rahtialusten polttoainesäiliöiden repeämisiä ole tapahtunut. Sen sijaan öljyä



on päässyt veteen pienten alusten (pääasiassa hinaajat) törmäyksissä tai uppoamistapauksissa. Öljymäärät ovat olleet luokkaa 0,5–2 m<sup>3</sup>.

Saimaalla kulkevien laivojen polttoainekapasiteetti vaihtelee, ja maksimikapasiteetti on noin 170 m<sup>3</sup>. Polttoainetta ei kuitenkaan yleensä ole mukana läheskään tätä määrää, vaan tyypillinen polttoainemäärä on Liikenneviraston PortNet-järjestelmän otannan sekä onnettomuusraporttien perusteella noin 40–50 m<sup>3</sup>. Samoissa lähteissä suurin laivassa ollut polttoainemäärä oli 105 m<sup>3</sup>. Tämä tieto on yhtäpitävä myös Mikkelin vesipiirin vuonna 1996 tekemän tutkimuksen kanssa.

Öljypäästön maksimimäärä on luonnollisesti sama kuin mukana olevan polttoaineen määrä. Voidaan kuitenkin arvella, että polttoainevuodon saaneesta aluksesta vesistöön pääsee vain yhden tai kahden polttoainesäiliön sisältö. Tämän lisäksi polttoaineen vettä pienemmän tiheyden takia saattaa säiliöstä ulospäin vuotavan öljyn määrä jäädä säiliön määrää pienemmäksi. Tämä johtuu siitä, että säiliö saattaa pikemminkin vuotaa sisäänpäin, jolloin öljy jää säiliön veden pinnalle kellumaan eikä vuoda ulos.

### **Päätelmiä onnettomuusanalyysistä**

Saimaalla tapahtuu vuosittain laivaonnettomuuksia, joissa on osallisena syväväylällä liikennöivä rahtialus. Onnettomuustapausten lukumäärä ei vaikuttaisi korreloivan liikennemäärän kanssa, vaan onnettomuudet jakautuvat eri vuosille enemmän tai vähemmän sattuman vaikutuksesta. Onnettomuuden ajankohtana korostuvat jonkin verran syksyn kuukaudet, etenkin marraskuu.

Onnettomuuksien syyt ovat suurimmalta osalta inhimillisiä erehdyksiä tai sääolosuhteiden vaikutusta. Toistaiseksi tapahtuneet onnettomuudet ovat olleet verraten pieniä. Suurimmassa osassa laivat eivät ole saaneet lainkaan vaurioita tai vauriot ovat olleet vähäisiä.

Öljyonnettomuuden riski syväväylällä perustuu laivojen polttoainesäiliöiden vuotoon törmäyksen tai pohjakosketuksen seurauksena. Laivojen polttoainemäärät ovat tyypillisesti joitakin kymmeniä tonneja, joista vesistöön vapautuu vain osa.

Suuren öljyonnettomuuden riski Saimaalla on verraten vähäinen. Saimaan ainutlaatuinen luontoympäristö on kuitenkin herkkä ja kymmenien tonnien suurusluokassa oleva öljypäästö aiheuttaa vakavaa haittaa sekä ympäristölle että yhteiskunnalle.

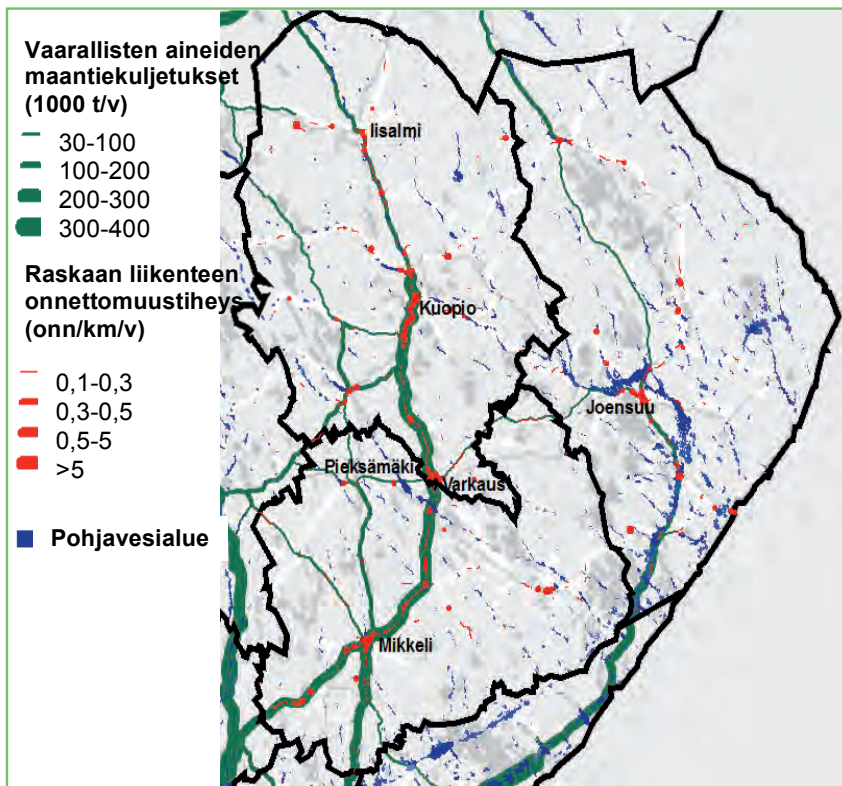
## Vaarallisten aineiden maantie- ja rautatiekuljetuksiin sekä varastointiin liittyvien riskien kartoitus Itä-Suomen maa-alueilla

Vaarallisten aineiden maantie- ja rautatiekuljetuksiin (VAK) liittyviä riskejä kartoitettiin kuljetusmäärien ja sattuneiden onnettomuuksien perusteella. Vaarallisten aineiden kuljetusten tietolähteenä käytettiin Trafín vuoden 2012 kuljetusmääriin perustuvaa selvitystä (Kumpulainen ym. 2013). Maantiekuljetusten kuljetusreitit on selvityksessä mallinnettu lähtö- ja määräpaikkatietojen mukaan nopeimmille reiteille. Tiedot ovat kuitenkin esimerkiksi Itä-Suomen alueella vain hyvin suuntaa antavia. Tietoja täydennettiin Pohjois-Savon ELY-keskuksen teettämällä tarkemmalla selvityksellä vaarallisten aineiden kuljetusreiteistä Heinola-Kuopio-välillä (Rönkkö & Salanne).

Suurimmat maantiekuljetusmäärät Itä-Suomen alueella ovat 5-tiellä Heinolan ja Kuopion välillä sekä tiellä 15 Kouvolan ja Mikkelin välillä (200 000–400 000 tonnia/vuosi). Myös esimerkiksi 6-tiellä Pohjois-Karjalassa kuljetettiin vuonna 2012 noin 200 000 tonnia/v vaarallisia aineita ja huomioitavaa on, että tie kulkee pohjavesialueen päällä (kuva 1). Kuten muuallakin Suomessa, myös Itä-Suomessa kuljetetaan eniten palavia nesteitä kuten polttoaineita. Muita paljon kuljetettuja aineryhmiä ovat syövyttävät aineet ja kaasut (Kumpulainen ym. 2013). Vaarallisten aineiden rautatiekuljetuksia oli Itä-Suomessa vuonna 2012 eniten rataosuudella Pieksämäeltä Kuopion kautta Iisalmeen (Kumpulainen 2013). Vaarallisten aineiden kuljetuksista tarvittaisiin alueellisesti tarkempia selvityksiä. Kuljetettavien kemikaalien sekä kuljetusreittien ja -määrien tarkempi tunteminen alueellisella ja paikallisella tasolla auttaisi onnettomuuksiin varautumisessa.

Sattuneista öljyvahingoista ja vaarallisten aineiden onnettomuuksista saatiin tiedot pelastustoimen Pronto-järjestelmästä. Vuosina 2000–2014 on Itä-Suomessa tilastoitu vuosittain keskimäärin 190 öljyvahinkoa tai vaarallisten aineiden onnettomuutta. Näistä liikenneonnettomuudeksi on luokiteltu 6 %. Keskimäärin öljyä tai vaarallista ainetta on vuotanut hieman alle 200 litraa, mutta suurimmat vuodot ovat jopa 50 000 litraa. Yli 10 000 litran vuotoja on sattunut Itä-Suomen alueella 15 vuoden aikana kuitenkin vain 8 kappaletta. Onnettomuustarkastelussa huomioitiin myös Liikenneviraston onnettomuustilaston raskaan liikenteen onnettomuudet, joiden perusteella laskettiin tieosuuksien onnettomuustiheys. Raskaan liikenteen onnettomuustiheys on suurin kaupunkialueilla, mutta myös muita riskipaikkoja erottui tarkastelussa (kuva 4). VAK-kuljetuksiin liittyvien riskitekijöiden (esim. keliolosuhteet, kuljettajien vireystila) on todettu olevan samankaltaisia muun raskaan liikenteen kanssa, mutta onnettomuudet ovat hankalampia mm. ympäristölle aiheutuvien vaarojen vuoksi (Kallio & Mäkelä 2011).

Vaarallisia aineita Itä-Suomen alueella käsittelevistä ja varastoivista laitoksista on koottu tietoa Tukesin Kemu-rekisteristä, pelastusviranomaisilta (mm. Merlot-järjestelmä), ympäristöhallinnon VAHTI-järjestelmästä sekä öljyntorjuntasuunnitelmista. Kohteita on tiedossa yli 600. Saatujen tietojen perusteella Itä-Suomessa runsaasti käytettyjä vaarallisia aineita ovat öljytuotteiden lisäksi ammoniakki, lipeät, hapot, pyrolyysiöljy ja metanoli. Vaikka viranomaisilla on tiedossa vaarallisia aineita käsittelevät kohteet, tiedot ovat hajallaan eivätkä ne välttämättä ole kaikilta osin ajantasaisia. Tietoja ei ole Itä-Suomen alueella aiemmin koottu tässä laajuudessa riskien hallintaa ja onnettomuuksiin varautumista varten. Tietojen kokoaminen on vielä kesken.



KUVA 4. Vaarallisten aineiden maantiekuljetukset Itä-Suomessa (Kumpulainen 2013, Rönkkö & Salanne), raskaan liikenteen onnettomuustiheys (onnettomuuksien lkm/km/vuosi, Liikenneviraston onnettomuustilastot mukaan laskettuna) sekä pohjavesialueet

Hankkeessa kerättyjen tietoaineistojen analysointi jatkuu edelleen. Lisäksi kuuteen riskikohteeseen tullaan tekemään onnettomuustilanteen skenaariomalli. Skenaariomallien perusteella voidaan sekä suunnitella onnettomuuksiin varautumista että arvioida ympäristöonnettomuudesta aiheutuvia haitallisia vaikutuksia. Skenaariomallit toteutetaan yhdessä kuntien, liikeyritysten, viranomaisten sekä muiden asiaan liittyvien toimijoiden kanssa.

## LÄHTEET

Kumpulainen, A., Ryyänen, E., Oja, L., Sorasahi, H., Raivio, T ja Gilbert, Y. 2013: Vaarallisten aineiden kuljetukset 2012. Trafín julkaisuja 20/2013.

Rönkkö, S. & Salanne, I. (ei vuosilukua). Vaarallisten aineiden tiekuljetusreitit välillä Heinola-Kuopio. Sito Oy. Pohjois-Savon ELY-keskuksen teettämä selvitys (ei julkinen).

Kallio, R. & Mäkelä, O. 2012: Vaarallisten aineiden kuljetukset tienpidossa ja toiminta onnettomuustilanteissa. Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 40/2012. ISBN (PDF) 978-952-257-508-1.

Kaila & Luukkonen 1998. Tilastoyhteenveto Suomen aluevesillä tapahtuneista karilleajoista ja pohjakosketuksista. Teknillinen Korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Laivalaboratorio, Otaniemi. Raportti M-233. ISBN 951-22-4044-0.

Dannenberg, E: 1989. Saimaan syväväylästäön rahtialusliikenteen onnettomuus selvitys. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, diplomityö.

Mikkelin lääninhallitus. 1996. Mikkelin läänin riskianalyysi. Mikkelin.

Merenkulkulaitos, väyläosasto. Onnettomuusanalyysi 1982–1994. Karilleajot, pohjakosketukset ja yhteentörmäykset.

Merenkulkulaitos. 2001. Onnettomuusanalyysi 1990–2000: karilleajot ja yhteentörmäykset. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 7/2001. Helsinki. ISBN 951-49-0949-6.

Merenkulkulaitos 2007. Alusonnettomuusanalyysi 2001–2005. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 5/2007. Helsinki. ISBN 978-951-49-2128-5

Laasonen J., Rytönen J, Sassi J. 2001. Saimaan vesistöalueen kuljetusten ympäristöriskit. Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja 455. ISBN 952-11-0857-6.

# ÖLJYISEN VEDEN JA MAA-AINES- TEN KÄSITTELY ITÄ-SUOMESSA

*Vuokko Malk & Jonne Gråsten*

Itä-Suomessa sattuu vuosittain noin 200 öljyvahinkoa. Näistä suuri osa on pieniä alle 100 litran vuotoja, mutta suurempia öljyvuotoja ympäristöön voi tapahtua esimerkiksi suuren öljyvaraston vuotaessa tai säiliöauton kaatuessa. Öljyvahingossa syntyvä määrä pilaantunutta maaperää tai vettä on moninkertainen vuotaneeseen öljyyn verrattuna. Yleisin pilaantuneen maaperän kunnostusmenetelmä on massan vaihto. Pilaantunut aines kuljetetaan usein loppusijoitettavaksi tai jopa satojen kilometrien päähän käsiteltäväksi.

Öljyvahinkojätteen käsittelyvaihtoehtoja ja vastaanottopaikkoja Itä-Suomessa on kartoitettu osana ÄLYKÖ-hanketta (Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta). Tavoitteena on antaa lisätietoa kunnostusmenetelmän valinnan tueksi, jotta mahdollisesti turhaa jätteenkuljetusta voitaisiin välttää ja kunnostus voitaisiin toteuttaa mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavalla ja vähähiilisellä tavalla. Tarkastelu on tehty Etelä-Savossa ja se tullaan laajentamaan myös Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan alueelle. Mikkelin ja Kymenlaakson Ammattikorkeakoulujen yhteishanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Metsäsairila Oy ja Meritaito Oy. Hanke alkoi 1.1.2015 ja päättyy 31.12.2016.

## **Toiminta öljyvahinkotilanteessa**

Öljyhiilivedyt ovat tyypillisiä maaperää pilaavia haitta-aineita niiden runsaan ja laajan käytön vuoksi. Itä-Suomessa kirjataan Pelastustoimen Pronto-järjestelmään vuosittain noin 200 öljyvahinkoa tai vaarallisten aineiden onnettomuutta. Näistä suuri osa on pieniä vahinkoja, mutta suurempia öljyvuotoja ympäristöön voi päästä mm. säiliöauton kaatuessa tai öljysäiliön vuodossa. Öljyvahingossa syntyvä öljyvahinkojätteen määrä on moninkertainen vuotaneeseen öljyyn verrattuna. Esimerkiksi talvella 2006 Kuopiossa sattui öljyvuoto, jossa arviolta 5 kuutiota raskasta polttoöljyä pääsi vuotamaan Kallaveteen. Neljän kuukauden aikana öljyä kerättiin yhteensä 13 000 kiloa ja kustannukset nousivat yli 300 000 euroon (Alusöljyvahingon torjunta talviolosuhteissa 2014, 54).

Öljyvahingon sattuessa pelastustoimi vastaa öljyvahinkojen torjuntalain (1673/2009) mukaan välittömistä torjuntatoimenpiteistä, joita ovat mm. vuodon tukkiminen, vuotaneen öljyn kerääminen sekä kulkeutumisen ja leviämisen rajoittaminen. Kun välittömät torjuntatoimet on tehty, jälkitorjuntavastuu siirtyy kunnalle ja öljyvahinkojäte käsitellään jätelain (646/2011) mukaan. Öljyvahinkojäte voi olla öljyistä maata, pumpattua öljyvesiseosta, öljyn ja imeytysturpeen seosta, jätösäkkeihin rannalta käsin kerättyä materiaalia, öljyistä kaislikkoa ja oksia, öljyisiä suojahansikkaita ja haalareita, imeytyspuomeja ja -mattoja sekä myös kuolleita eläimiä, kuten lintuja.

Vahinkoalueen kunnostaminen voidaan joissain tapauksissa suorittaa paikan päällä (in situ), mutta öljyvahinkotilanteessa pitoisuudet ovat varsinkin kunnostuksen alussa niin suuria, että tyypillisesti esimerkiksi pilaantunut maa-aines kaivetaan pois. Kaivettu maa-aines tai pumpattu vesi voidaan käsitellä paikan päällä (on site) tai kuljettaa muualle käsiteltäväksi (ex situ). Suuressa öljyvahingossa tämä saattaa tarkoittaa lukuisia rekka-autollisia pilaantunutta maata tai imuautoihin kerättyä öljyvesiseosta. Jätteen laitos- tai ammattimainen käsittely vaatii ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaisen ympäristöluvan. Kuljetusmatkat saattavat pahimmillaan venyä satoihin kilometreihin.

Pilaantuneet maat voidaan myös loppusijoittaa pilaantuneisuuden asteesta riippuen tavanomaisen tai vaarallisen jätteen kaatopaikalle. Jätelain mukaan on kaikessa toiminnassa mahdollisuuksien mukaan noudatettava etusijajärjestystä, jonka mukaan on ennen kaikkea pyrittävä ehkäisemään jätteen syntyä, sitten edistää uudelleenkäyttöä, kierrätystä tai hyödyntämistä, ja vasta viimeisenä vaihtoehtona on jätteen loppukäsittely (jätelaki 646/2009, 8 §). Loppusijoituksen sijaan parempi vaihtoehto olisikin suosia öljyvahinkojätteen käsittelyä haitattomaksi sekä hyöty- ja uudelleenkäyttöä. Rekkarallin vähentämiseksi on tarpeen etsiä alueellisia käsittelyvaihtoehtoja.

### **Öljyvahinkojätteen käsittelyvaihtoehtoja**

Yleisimmät pilaantuneiden maiden käsittelytavat Suomessa ovat sijoittaminen kaatopaikoille ja kompostointi. Lähes puolet käsittelypaikoilla vastaanotetuista maa-aineksista on hyödynnetty sellaisenaan kaatopaikan peitemaina ja rakenteissa (Pyy ym. 2013, 36). Muita öljyllä pilaantuneille maille sopivia käsittelymenetelmiä ovat mm. pesu, huokoskaasukäsittely ja terminen käsittely (poltto). Öljyinen vesi kerätään tavallisesti säiliöön, jossa öljyfaasin annetaan erottua, ja sen jälkeen toimitetaan poltettavaksi vaarallisen jätteen käsittelylaitokselle. Öljyisille suojarusteille ja pussitetuille jätteille sopii käytännössä ainoastaan poltto vaarallisen jätteen käsittelylaitoksella tai eristys (Hupponen ym. 2007, 25). Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan kolmea öljyvahinkojättele sopivaa alueellista käsittelyvaihtoehtoa.

## **Siirrettävä polttolaitteisto**

Pilaantuneiden maiden käsittelyyn on olemassa siirrettäviä polttolaitteistoja, jotka voidaan tuoda pilaantuneelle alueelle sen sijaan, että kaivetut maat kuljetettaisiin muualle poltettavaksi. Suomessa Savaterra Oy:llä on kaksi siirrettävää polttolaitteistoa, joilla on kunnostettu pilaantuneita maita mm. Kotkan öljysatamassa ja Naantalın öljynjalostamolla (Savaterra Oy 2015). Siirrettävä laitteisto on kuitenkin suuri, joten pilaantuneita maita on oltava vähintään noin 25 000 – 30 000 tonnia, jotta laitteisto kannattaa tuoda paikalle. Käsittelyn etuna on kuitenkin se, että maa-ainekset saadaan sillä täysin puhtaaksi. Laitteistolla voidaan polttaa myös pussitettua jätettä ja suojaruosteita ja vedestä kerättyä öljyä. Vesi ei haittaa käsittelyä, mutta nostaa käsittelyn hintaa. (Uotila 2015).

## **Poltto alueellisessa voimallaitoksessa**

Öljyvahinkojätteeseen sovelletaan jätelakia sen jälkeen, kun välttämättömät torjuntatoimet on tehty ja jätteen ammattimainen käsittely vaatii ympäristölupaa. Alueellisilla voimallaitoksilla ei yleensä ole ympäristölupaa jätteenpoltoon. Vedestä kerätty öljy ja esimerkiksi öljy-turveseos voisivat kuitenkin sopia voimallaitokselle polttoaineeksi lisäpäästöjä aiheuttamatta, eikä jätettä tarvitsisi kuljettaa satojen kilometrien päähän vaarallisen jätteen käsittelylaitokselle. Älykö-hankkeessa on yhteistyössä lupaviranomaisten kanssa selvitetty, olisiko öljyvahinkotilanteessa syntyvän jätteen polttaminen esimerkiksi jätteen uudelleenkäytön puitteissa mahdollista alueellisessa voimallaitoksessa.

## **Geotuubi**

Geotuubi on lietteiden ja nestemäisten jätteiden käsittelyyn kehitetty menetelmä, jossa liete tai nestemäinen jäte johdetaan pumppaamalla isoon erikoistekstiilistä valmistettuun polymeeriä sisältävään säkkiin (kuva 1). Polymeeri geotuubin sisällä valitaan kohteen ja jätteen haitta-aineen ja muiden ominaisuuksien mukaan. Kiintoaines ja sen sisältämät haitta-aineet pidäytyvät geotuubiin ja vesi poistuu geotuubista. Läpi tullut vesi on yleensä puhdasta, mutta veteen liuenneita haitta-aineita geotuubi ei pidätä. Tarvittaessa voidaan käyttää yhdistelmäkäsitelyä, jossa geotuubin läpi tullut vesi käsitellään vielä erikseen. Geotuubin avulla nestemäisestä jätteestä saadaan eroteltua vesi ja kiinteä materiaali erilleen. Geotuubin sisälle jäänyt kiinteä aines voidaan haitta-ainepitoisuuksista riippuen joko loppusijoittaa kaatopaikalle tai hyötykäyttää esimerkiksi kaatopaikan peittorakenteissa. Geotuubi voidaan viedä öljyvahinkopaikalle, jolloin öljyistä vettä tai lietettä ei tarvitse kuljettaa muualle käsiteltäväksi. Geotuubia on Suomessa jo käytetty tällä tavoin öljyvahinkotilanteissa. (Isokauppila 2015)



KUVA 1. Geotuubi Metsäsairilan jäteasemalla (kuva Vuokko Malk)

## Öljyvahinkojätteiden käsittely Etelä-Savossa

Itä-Suomessa on 10 jätekeskusta tai -asemaa, jotka ottavat vastaan öljyistä maata ja vettä. Esimerkiksi Etelä-Savossa pilaantuneita maita ja vettä otetaan vastaan Metsäsairila Oy:n jäteasemalla Mikkelissä sekä Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy:n Nousialan jäteasemalla Savonlinnassa.

Metsäsairilan jäteasemalla on pilaantuneiden maiden käsittelykenttä ja tavanomaisen jätteen kaatopaikka. Lievästi pilaantuneet maat, joissa öljypitoisuus on alle 2 500 mg/kg, viedään suoraan jätepenkalle tai vanhan penkan muotoiluun. Voimakkaammin pilaantuneet maat käsitellään ennen penkaan siirtämistä kompostoimalla. PIMA-kentälle mahtuu kerralla käsittelyyn kompostoitavaksi noin 4 000–5 000 tonnia maa-aineksia (kuva 2). Kokonaisvastaanottokapasiteetti pilaantuneille maille on 30 000 t/a. Nestemäiset öljyvahinkojätteet käsitellään lietealtaassa, josta vesi johdetaan geotuubiin. Geotuubin läpi tullut vesi johdetaan öljynerotuskaivon kautta suotovesialtaaseen. Pieniä määriä öljyä otetaan vastaan öljysäiliöön, josta se kuljetetaan muualle käsiteltäväksi. Metsäsairilaan ei voida ottaa vastaan öljyvahinkojätettä, joka sisältäisi esimerkiksi imeytyspuomeja, suojavaatteita tai jättesäkkejä. Öljyisen orgaanisen materiaalin (esim. ojasta tai rannalta kerättyä orgaanista materiaalia kuten kaislikkoa tai oksia) käsittelystä ei ole aikaisempaa kokemusta, mutta ne voitaisiin kompostoida PIMA-kentällä. Ympäristöluvassa on lupa stabiointikäsitteilylle tai siirrettävien poltto- tai pesulaitteistojen käytölle, mutta näitä menetelmiä ei ole juurikaan käytetty. (Gråsten 2015.)





KUVA 2. Pilaantuneiden maiden käsittelykenttä Metsäsairilan jäteasemalla (kuva Vuokko Malk)

Nousialan jäteasemalla öljyllä pilaantuneet maat, joiden pitoisuus on alle 2 500 mg/kg, käytetään tavanomaisen kaatopaikan penkalla täytössä. Öljypitoisuuden ollessa 2 500 – 20 000 mg/kg öljyllä pilaantuneet maat käsitellään kompostointikentällä ennen penkkaan sijoittamista. Kentälle mahtuu muutamia kymmeniä rekallisia öljymaata. Nousialan jäteasemalle otetaan vastaan myös öljyistä vettä. Esimerkiksi pilssivedet otetaan vastaan 20 m<sup>3</sup> lämmitettävään säiliöön, jossa öljyfaasi erottuu pinnalle muutamassa päivässä. Erottunut öljyfaasi varastoidaan ja viedään vaarallisen jätteen käsittelykeskukseen käsiteltäväksi. (Myllys 2015.)

Lisäksi Savaterra Oy:llä on Rantasalmella Lehmisuon lopetetulla kaatopaikalla vastaanottoasema, jossa sillä on ympäristölupa välivarastoida pilaantuneita maita 20 000 tonnia ja käsitellä siirrettävällä polttolaitteistolla 50 000 tonnia vuodessa. Käytännössä asema ei kuitenkaan ole tällä hetkellä aktiivisessa käytössä, sillä käsittely siirrettävällä polttolaitteistolla ei ole alueella kannattavaa. Asemalle ei tällä hetkellä oteta vastaan pilaantuneita maita. (Uotila 2015.)

Alueellisista voimalaitoksista ainakin Savon Voima Oy voisi ottaa vastaan poltettavaksi öljyvahinkojätettä, jos se lain puitteissa olisi mahdollista. Savon Voimalla ei ole ympäristölupaa jätteen polttoon. (Tepponen 2015.)

Öljyvahinkojätteen vastaanottopaikat ja käsittelymenetelmät Etelä-Savon alueella on kartoitettu ympäristölupien ja puhelinhaastatteluiden avulla. Tarkastelua laajennetaan myös Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan alueille. Älykö-hankkeessa tehdään myös tarkempi teknistaloudellinen tarkastelu neljän

käsittelyvaihtoehdon (siirrettävä polttolaitteisto, alueellinen voimalaitos, geotuubi ja muualle kuljetus) välillä. Geotuubin toimintaa seurataan Metsäsairila Oy:n jäteasemalla ottamalla näytteitä ja analysoimalla esimerkiksi öljypitoisuutta geotuubin läpi tulevasta vedestä. Öljyvahinkojätteen vastaanottoaikojen tiedot ja käsittelymahdollisuudet sisällytetään interaktiiviseen karttaaineistoon, jolloin tiedot ovat heti saatavilla öljyvahinkotilanteessa.

## LÄHTEET

Grästen, Jonne 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2015. Kehityspäällikkö. Metsäsairila Oy.

Hupponen, Mari, Tanskanen, Anna-Liisa, Luoranen, Mika & Horttanainen, Mika 2007. Öljyvahinkojätteiden käsittely alusonnottomuuden jälkeen Kymenlaakson alueen näkökulmasta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Tutkimusraportti EN B-173.

Isokauppila, Vesa 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 30.10.2015. Projekti-päällikkö. Sito Oy.

Myllys, Markku 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2015. Työnjohtaja-neuvoja. Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy.

Pyy, Outi, Haavisto, Teija, Niskala, Kaisa & Silvola, Matti 2013. Pilaantuneet maa-alueet Suomessa. Katsaus 2013. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 27/2013.

Savaterra Oy 2015. <http://www.savaterra.fi/fi/greenfix/> ja <http://www.savaterra.fi/fi/referenssit/> Luettu 1.11.2015.

Alusöljyvahingon torjunta talviolosuhteissa 2014. TalviSökö A32372. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja A. Nro 54. ISBN (PDF): 978-952-306-066-1

Tepponen, Janne 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 30.10.2015. Käyttöpäällikkö. Savon Voima Oy.

Uotila, Jussi 2015. Henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2015. Tekninen johtaja. Savaterra Oy.

# JOUKKOISTAMINEN MITTAAMISEN APUVÄLINEEKSI LUONNONVESIEN LAADUN SEURANTAAN: KÄNNYKKÄKAMERAN AVULLA TOIMIVA IQWTR

*Maija Korhonen ja Timo Pyhälähti*

## **Joukkoistaminen ja kansalaishavainnot**

Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus SYKE kannustavat kansalaisia ilmoittamaan luontohavaintojaan asiantuntijoille. Kansalaisten havainnot ovat aina olleet tärkeitä ympäristön tilan ja ympäristövaikutusten selvittämisessä, mutta nyt älykännyköiden myötä havaintojen kerääminen on helpottunut ja kerättyjä tietoja ollaan ottamassa käyttöön viranomaisten mittausten rinnalle. Koska useimmilla suomalaisilla on nykyään käytössään kännykkä, tarjoaa kännykän kamera oivan keinon kansalaishavaintojen keräämiseen ja kansalaiselle mahdollisuuden osallistua ympäristömme tilasta tiedottamiseen.

Joukkoistamisella tarkoitetaan tilannetta, jossa ongelma annetaan ratkaistavaksi tai tehtävä suoritettavaksi ennalta määrittelemättömälle joukolle avoimen kutsun avulla. Joukkoistaminen perustuu kollektiiviseen älykkyyteen, annetun tehtävän nopeaan suoritukseen ja edullisuuteen. Toimiakseen kollektiivinen älykkyys edellyttää riittävästi vastaajia sekä riippumattomat ja itsenäiset vastaajat. Ryhmätyö tai toisen henkilön vaikutus yleensä vääristää tuloksia. Joukkoistamisessa on myös huomioitava havaintojen määrä, sillä kansalaishavaintojen määrän jäädessä pieneksi vaikutus näkyy kerätyn datan laadussa ja luotettavuudessa. (Howe 2008; Poetz & Schreier 2012; Schenk & Guittard 2011.)

Suomen ympäristökeskus (SYKE) on viime vuosina kehittänyt tekniikkaa veden näkösyvyyden ja sameuden luotettavaksi mittaamiseksi kotikonstein. Tavoitteena on, että ympäristön tilan seurantaan saataisiin huomattavia määriä luotettavia mittaustuloksia helposti, halvalla ja hauskesti. Jos vapaaehtoisilla mökkiläisillä, vapaa-ajankalastajilla, veneilijöillä ja muilla vesillä liikkujilla oli-

si käytössään yksinkertainen ja helppokäyttöinen mittalaitte, mittaukset saisi kännykän avulla helposti viestittyä eteenpäin.

Mittaustekniikan toimivuuden lisäksi vapaaehtois pohjalta tapahtuvan kansalaishavainnoinnin onnistumiseen ja yleiseen kiinnostavuuteen vaikuttaa vapaaehtoisten into havaintotoimintaan: onko havaittava ilmiö niin kiinnostava tai johonkin tarkoitukseen niin käyttökelpoinen, että mielenkiinto vapaaehtoiseen tietojen ilmoittamiseen syntyy ja pysyy? Analysoimalla erilaisien havainnontekijöiden motivaatiota ja siihen eri tavoin vaikuttavia seikkoja opitaan kannustamaan yhä uusia havaintosijoita mukaan ja saadaan aiemminkin aloittaneet jatkamaan havaintojensa lähettämistä – ainakin periaatteessa.

Käytännössä useimmat vapaaehtoiset tarvitsevat jonkun auttamaan ja neuvomaan ainakin havaintotoiminnan alkuvaiheessa, ja havaintoinnostuksen leviämisllekin samanhenkinen tuttava- ja kaveripiiri on avuksi. Tällainen ryhmä voi tietysti syntyä itsestäänkin, mutta jo olemassa olevat yhdistykset saattavat ottaa tällaisen toiminnan osaksi omaa virallista toimintaansa tai havaintosijat saattavat tuntea toisensa esimerkiksi kyläyhdistyksen kautta. Myös matkailuyrittäjillä saattaa olla kiinnostusta järjestää havaintoja vaikkapa osana kalastusretki ohjelmaansa. Tällaisten havaintolaitteiden jakelusta huolehtivien ”havainnointia järjestävien tahojen” toiminnan kannustimet saattavat olla hyvinkin erilaisia, eivätkä yksittäisen havaintosijan innostamiseen käytettävät keinot välttämättä ole yhtä toimivia niiden suhteen.

Jos mittalaitteita ei voi itse askarrella, niitä pitää jonkun valmistaa. Myös älypuhelimien sovelluksen toimivuus täytyy ensin saada sujuvaksi sekä niin luotettavaksi, että järjestelmä toimii ilman käyttökatoja. Havaintoaineistotkaan eivät saa joutua hukkaan varsinkin, jos halutaan, että kerätty tieto on avointa ja sille halutaan paljon käyttäjiä. Mitä suurempia eriä laitteita valmistetaan jaettavaksi ja mitä monimuotoisempia havaintosijaryhmiä havaintojen välitysjärjestelmät palvelevat, sitä tärkeämpää on, että havainnointia järjestävien tahojen tukena olisi toimijoita, jotka pystyvät varmistamaan järjestelmän luotettavuuden. SYKE:n motivaation lähteenä on havaintotietojen hankinta laajan maamme eri kolkista niin, että pitkän aikavälin ympäristön seurantaan voitaisiin hyödyntää myös vapaaehtoisten antamaa panosta. Laitteiden valmistamisen ja jakelun sekä muun havainnointiin liittyvän järjestelytoiminnan ja tiedon hyödyntämistoiminnan alalla on vielä tilaa muillekin uusille toimijoille.

### **Luonnonvesien laadun vapaaehtoinen seuranta iQwtr -laitteella**

SYKE:ssä keksityn Secchi3000-tekniikan avulla nesteen optisia ominaisuuksia voidaan arvioida ottamalla digikuvia siihen upotetuista tunnetun värisistä paneeleista ja muista rakenteista. Hollantilaiset yritykset BlueLeg Monitor ja Water Insight ovat nyt toteuttaneet innovaation iQwtr-laitteellaan (kuva 1).

Mittauksia voidaan tehdä kuvaamalla vedellä täytettyä laitetta iQwtr-soveluksella. Android- ja iPhone-puhelimille saatavilla olevan järjestelmän laitteita kokeiltiin kesällä 2015 Mikkelin-Kangasniemen alueella.

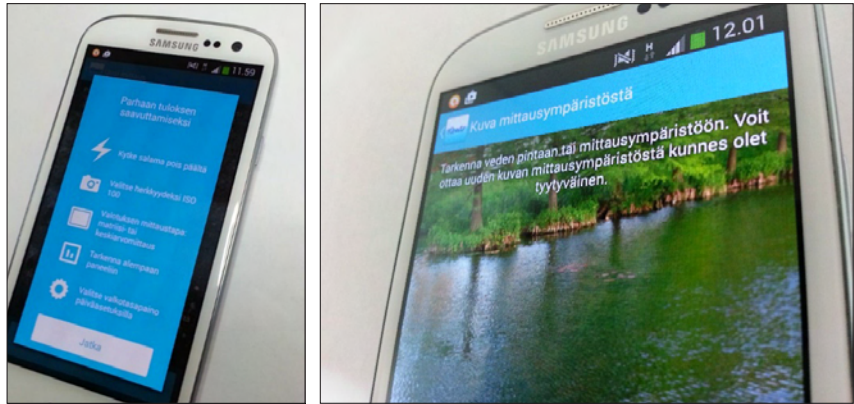


KUVA 1. iQwtr-laite veden laadun mittaamiseen (kuva Suomen ympäristökeskus)

Koska kyseessä on nimenomaan vapaaehtoisten tekemä seuranta, kehitystyön kysymykset eivät ensisijaisesti pyöri parhaan mahdollisen mittaustekniikan kehittämisessä – kyseessä on paremminkin Darwinia mukaillen vallitseviin olosuhteisiin sopivimman idean tai menetelmän henkiinjäämisestä. Laitetta eivät käytä koulutetut ammattilaiset, vaan vapaaehtoiset ja hyvinkin eritasoiset harrastajat, mikä rajoittaa laitteen käyttökoulutuksen tai huoltotoimenpiteiden vaatavuutta. Itse mittaustapahtumakaan ei saa olla liian vaativa. Laitetta ei osteta tulonhankintaan tähtäävänä investointina tai käyttäjänsä työpaikan tarpeistona, joten myös laitteen hinnan tulee olla kohtuullinen. Mittaustulosten on oltava riittävän tarkkoja niin, että niitä kannattaa kerätä, mutta tarkkuus ei saa vaatia liian hienostunutta mittaamisen tapaa. Epäonnistuneet havainnot ja epätarkat mittaukset pitäisi pystyä erottelemaan onnistuneiden joukosta – toivottavasti mittausten suuri lukumäärä ja lukuisien mittajien kiinnostus talkoohenkisiin tarkastusurakoihin auttavat tässä tehtävässä.

Kesän 2015 iQwtr-demonstraatioseurantojen tarkoituksena oli ensi kertaa käytännössä kokeilla miten vapaaehtoinen havaintotoiminta olisi järjestettävissä. Secchi3000 -tekniikkaan perustuvia laitteita oli kyllä aiemminkin ko-

keiltu suurehkoilla ammattilaisten ja tutkijoiden koeryhmillä, mutta iQwtr on ensimmäinen laite, joka on nimennomaan tarkoitettu vapaaehtoisten havaintajien käyttöön. Laitteen tukena olevaa iQwtr-sovellusta (kuva 2) ei ole suunnattu tietentekijöille, vaan sen avulla pitäisi kenen tahansa voida saada automaattisesti tulkittuja vedenlaatutietoja mittalaitteestaan – käyttäjälle havainnollisella tavalla. Testasimme paitsi laitteiden toimintaa myös havaintajayhteisön ja havaintojärjestelmän toimintaa – kiinnostaisiko laite käyttäjiä, löytäisivätkö havaintolaitteet käyttäjänsä, toimisiko automaattikka ja syntyisikö näin joukkoistamalla käyttökelpoisia suuria havaintoaineistoja?



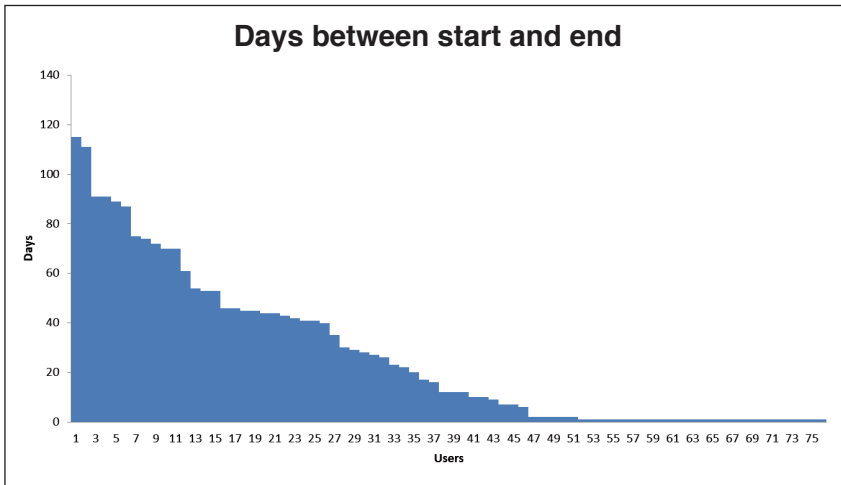
KUVA 2. iQwtr-sovelluksella varsinainen mittaus-toimenpide oli helppo toteuttaa (kuvat Maija Korhonen)

### Käytännön koetoiminta

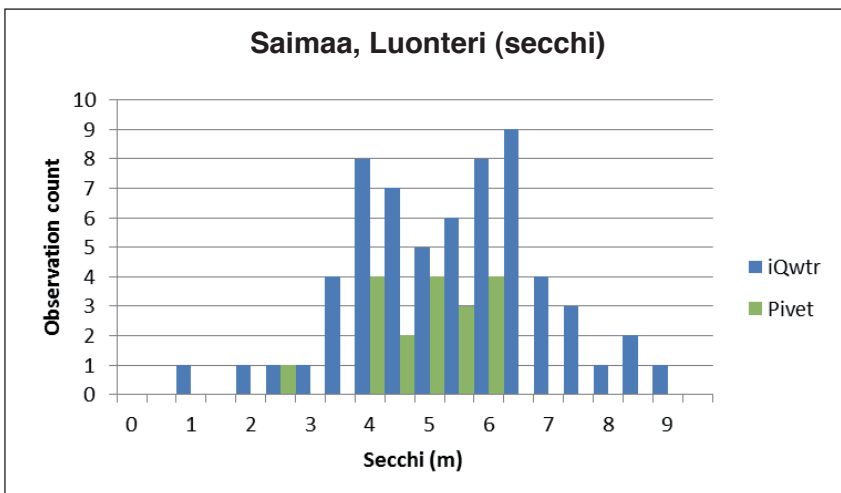
Kesän 2015 mittauksia varten saimme, valmistusteknisistä ongelmista huolimatta, 200 Hollannissa valmistettua mittalaitetta. Valitettavasti sekä mobiilisovelluksen että purkin tekniikan kanssa oli ongelmia, yhdessä ja erikseen. Laitteen käytännön toteutus ei lopulta ollut kestäväään käyttöön ja halpaan massatuotantoon sopiva. Suureksi ongelmaksi kuitenkin muodostui itse automaattinen mitattujen kuvien tunnistus; pienet poikkeamat kuvatuissa paneeleissa yhdessä automaattisen tunnistuksen käytännössä paljastuneiden rajoitusten kanssa häiritsivät havaintajia melkein koko kesän. Laitteista 150 toimitettiin Mikkelin-Kangasniemen alueelle, ja havaintotoiminnan kesän aikana aloitti onnistuneesti noin 75 laitetta. Monet mittajat kyllästyivät jo muutamien kokeilujen jälkeen, mutta innokkaimmat mittailivat koko kesän.

Havaintajille tehtiin erilaisia haastattelututkimuksia, joista kuvastui selvästi paitsi toimivuuden vaatimus koko järjestelmälle myös tarve opastukselle ja vertaistuelle. Kuitenkin useimmilla intoa mittaamiseen tuntui riittävän jatkossakin teknisistä ongelmista huolimatta.

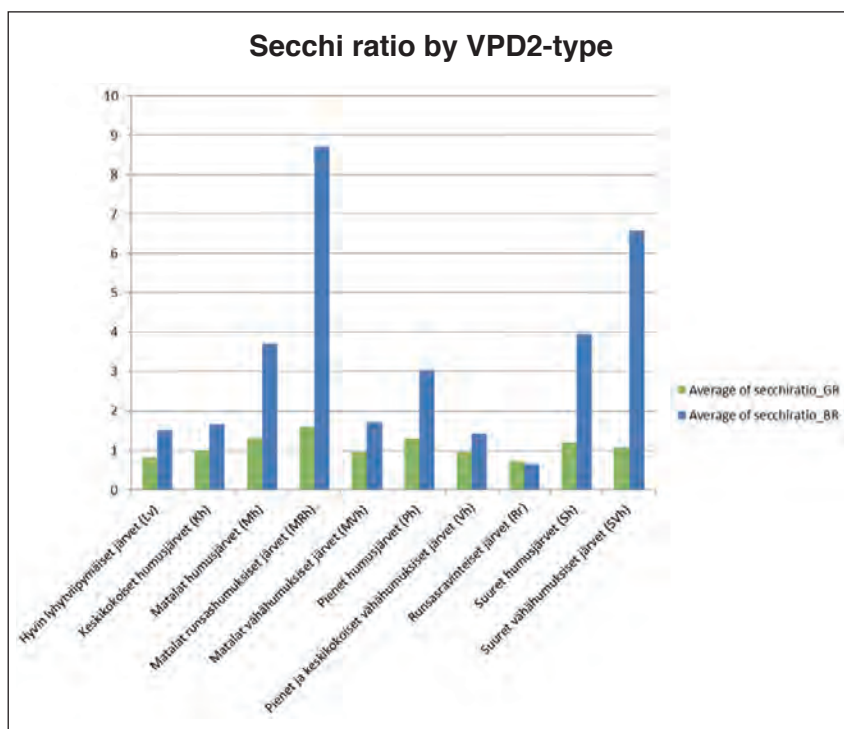
## Tulokset ja niiden tarkastelu



KUVA 3. Käyttäjien sitoutuminen mittaustoimintaan vaihtelee; arvio ensimmäisen ja viimeisen toimitetun havainnon väliseltä ajalta: 5–7 innokkaimman havaitsijan ydinjoukko mittasi käytännössä koko ajanjakson, jolloin heillä oli laite käytettävissä. Lähes puolet luopui mittauksista jo muutamien päivien jälkeen; osasyynä varmastikin epävarmasti toimiva tai täysin toimimaton tekninen järjestely (kuvan aineisto: Vesa Keto, Eeva Bruun, Hanna Alasalmi, Sofia Junntila)



KUVA 4. Esimerkki näkösyvyuden havaitusta vaihtelusta: kesällä 2015 iQwtr-laitteella Luonteri-järven alueella tehdyt näkösyvyyshavainnot ja samalta järveltä vuosina 2006–2015 Pivet-järjestelmään tallennetut kesäkuun–syyskuun näkösyvyyshavainnot tavallisen vesinäytteiden oton yhteydessä mitattuina (kuvan aineisto: Vesa Keto, Eeva Bruun, Hanna Alasalmi, Sofia Junntila)



KUVA 5. Erityyppisissä järvissä siniselle ja punaiselle valolle laskettujen näkösyvyysien suhde näyttää vaihtelevan kiinnostavasti erityyppisissä järvissä: vesipuitedirektiivin toisella arviointikierroksella järville määritellyt järviyypit ja vihreän/punaisen tai sinisen/punaisen valon havaittu näkösyvyysuhde (kuvan aineisto: Vesa Keto, Eeva Bruun, Hanna Alasalmi, Sofia Junttila)

Havaitsijoiden automaattisesti iQwtr-mobiilisovelluksesta saamien sameus- ja näkösyvyysarvioiden lisäksi SYKEssä jouduttiin käsittelemään ja tulkitsemaan käsin kaikki kännykkäkameroilla sovelluksen avulla otetut kuvat järjestelmässä ilmenevien tulkintavirheiden ja toimintahäiriöiden analysoimiseksi. Tarkkuuden ja toimintavarmuuden lisäksi tarkastelun alla oli mm. suuntaantava arvio siitä, kuinka paljon havaitsijoita olisi mahdollista saada tekemään havaintoja ja kuinka suuri osa heistä olisi innokkaita toistuviin havaintoihin alkuinnostuksen jälkeen (kuva 3). Analyysityön lopulliset tulokset ovat vielä marraskuussa 2015 työn alla. Niille vapaaehtoisille havaitsijoille, joiden toimiva sähköpostiosoite on ollut tiedossa, on kuitenkin jo toimitettu kesän 2015 ajalta henkilökohtainen yhteenveto heidän omista havaintotuloksistaan.

Koska vapaaehtoiset eivät omista ammattikäyttöön tarkoitettuja vedenlaadun kenttämittalaitteita, eivätkä tyyppillisesti toimita standardinmukaisia vesinäytteitä jäädytettynä muutamien tuntien kuluessa jatkoanalyysijä varten veden laatua analysoidiin laboratorioihin, oli tarkan vertailutiedon hankkiminen havaintojen tarkkuuden arvioimiseksi ongelmallista. Käytännössä tarkkuuksia ja käytettävyyksiä arvioitiin kahdella tavalla: ensinnäkin



kesän havainnot verrattiin Pivet-järjestelmään tallennettuihin, vuosien 2006–2015 muihin samalta vesimuodostumalta tehtyihin, alle 1 m syvyydestä kesä-syyskuussa hankittuihin vesinäytteisiin (esim. kuva 4) eri tyyppisissä järvisissä. Tarkkuutta arvioitiin toisaalta myös SYKEN laboratoriossa tehdyillä mittauksilla sekä luonnonvesien näytteiden perusteella että vertaamalla iQwtr-laitteen sameushavainnot sameusmittausten kalibrointiliuoksiin.

Nämä analyysit ovat vielä kesken, sillä niiden tulokset eivät ole aivan yksiselitteisiä, ja osittain ne kannustavatkin jatkamaan tuotekehittelyä eri tavoin. Esimerkiksi laboratoriomittauksissa havaittiin selkeä laadun parantuminen pilvisellä säällä tehdyissä mittauksissa, mutta toisaalta havaittiin, että tämä vaatisi mittausten tulkinnan algoritmien muutoksia lähtien jopa mittauksen tieteellisten perusteiden uudelleenmallintamisesta. Toisaalta vapaaehtoishavainnoista havaittiin, että mallien alkuperäisissä testiaineistoissa ei ehkä ollut riittävää määrää ja hajontaa humuspitoisia vesityyppejä, ja toisaalta osoitettiin viitteitä siitä, että mittarilla saattaisi ehkä pystyä erottamaan erityyppisiä järvivesiä (kuva 5) tai sameuden avulla tuottaa ekologisen tilan arviointiin mielenkiintoisia tietoja.

Tuotekehittelyn jatkotuloksia olisi selkeästi syytä tarkastella hankkimalla uusille laite- ja ohjelmistoversioille laboratoriokalibrointien lisäksi joukkoistamalla havaintokokemusta eri tyyppisistä vesistöistä. Suurimmat lastentaudit kehitystyössä lienevät jo takana, mutta laitteet ja järjestelyt eivät vielä kesällä 2015 olleet täysin lopullisessa käyttökunnossa. Mikäli innostusta riittää, on järjestelyitä mahdollista parantaa vielä ainakin Envibase-hankkeen loppuun vuoteen 2017 saakka. Kesän 2016 vaatimista kehityssponsoreista ja kesällä tapahtuvista uusien laitteiden ja järjestelmien käyttöönottokokeiluista on myös tehtävä päätös.

## **Yhteenveto**

iQwtr-pilotissa eli kännykän kameraa hyödyntävässä veden laadunmittaus-kokeiluissa muutamien minuuttien kuluessa kuvat palauttava tulkinta-automatiikka kärsi vielä toimintaongelmista, mutta ensivaikutelmien mukaan kuvat ovat kuitenkin tulkittavissa vedenlaatutiedoiksi jälkikäteen. Vaikka järjestelmä vielä kärsi kehityksen lastentaudeista, olisi ilmeisimminkin teknisesti mahdollista saada kesäksi 2016 tarjolle varmatoimisempi järjestelmä. Teknisistä ongelmista huolimatta havaitsijoiden innostunut ydinjoukko on kiinnostunut kehittämään välineitä vesiluonnon tilan seuraamiseen. Ratkaiseva kysymys onkin, onko edullisen vapaaehtoisille tarkoitetun mittalaitteen käyttämiseen ja erityisesti käytön vaatimiin järjestelyihin sellaista yhteisöjen, yritysten ja yhdistysten innostusta, että kehitystyön loppuunvihti olisi kiinnostavaa. Toisin sanoen teknisesti seuraava kehitysaskel käyttökelpoisiin laitteisiin on otettavissa, mutta onko mittalaitteen tuotannolle, jakelulle ja käyttöönottopastukselle tekijöitä? Menetelmänä joukkoistaminen soveltuu ym-

päristön tilan havainnointiin, sillä innostuneita vapaaehtoisia mittaajia löytyy, mutta he selvästi tarvitsisivat paitsi varmatoimisia järjestelmiä myös laitteiden käytön opastajia ja järjestäjiä.

## LÄHTEET

Howe, J. 2006. The Rise of Crowdsourcing.

Poetz, MK & Schreier, M. 2012. The value of crowdsourcing: Can users really compete with professionals in generating new product ideas? *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 29, No. 2, pp. 245–256.

Schenk E & Guittard, C. 2011. Towards a characterization of crowdsourcing practices. *Journal of innovation economics*, 1 (7), pp.93–107.





METSÄTALOUS JA PUUTUOTE-  
TEOLLISUUS

# METSÄTALOUDEN VESIENSUOJELUN TEHOSTAMINEN BIOSUOTIMILLA – VETU

*Kalle Karosto & Kati Kontinen*

Pitkäjänteisessä ja vastuullisessa metsätaloudessa metsiä hoidetaan ja käytetään ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestäväällä tavalla. Jokainen metsänomistaja hoitaa ja käyttää metsiään omien tavoitteidensa mukaisesti. Yhteiskunta antaa vähimmäisvaatimukset metsien käsittelylle metsälainsäädännössä. Myös sertifiointijärjestelmät (PEFC ja FSC) sisältävät vaatimuksia metsien hoidolle ja käytölle.

Suometsiä on lähes 10 miljoonaa hehtaaria, joista tällä hetkellä on ojitettu yli puolet. Suometsien merkitys maamme teollisuuden raaka-aineen lähteenä on jatkuvasti kasvanut. Nykyisellään suometsissä kasvavan puuston vuotuinen kasvu on 25 milj. m<sup>3</sup> (Suostrategia 2011). Kansallisessa Metsäohjelmassa (KMO 2015) on arvioitu, että suopuustojen kasvun nykytason ylläpitämiseksi kunnostusojituksia tarvitaan valtakunnan tasolla vuosittain noin 80 000 hehtaarin alalla. Toisaalta kunnostusojitus on suurin vesistöjä kuormittava metsätalouden toimenpide, sillä kunnostetuista ojista virtaa alapuoliseen vesistöön hienojakoista kiintoainesta. Metsätalouden aiheuttamasta vesistöjen kiintoainekuormasta arviolta 90 prosenttia tulee kunnostusojituksista.

Mikkelin ammattikorkeakoululla toteutettavassa Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen biosuotimilla (Vetu) -hankkeessa tavoitteena on kehittää metsätalouden kestäväää vesitaloutta puhtaan ympäristön turvaamiseksi. Hankkeessa kehitetään metsätalouden vesiensuojeluun suodattimia, jotka vähentävät kiintoaine- ja ravinnekuormitusta alapuolisiin vesistöihin. Mikkelin ammattikorkeakoulu toteuttaa hanketta yhdessä Tapio Oy:n kanssa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta ja RPK Hiili Oy.

## **Vesiensuojelu metsätaloudessa**

Vesiensuojelu kuuluu olennaisena osana metsänhoitosuosituksiin. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion ylläpitämät vesiensuojelusuositukset päivitet-

tiin viimeksi keväällä 2013. Muun muassa hyvällä vesiensuojelulla vältetään ristiriitojen syntymistä vesistöjen virkistys- sekä muun käytön ja metsätalouden harjoittamisen välille.

Suosituksot perustuvat aina viimeisimpään tutkimustietoon ja käytännön kokemukseen tehokkaasta vesiensuojelusta. Suosituksia noudattamalla voidaan vähentää metsätalouden aiheuttamaa vesistökuormitusta ilman, että puuntuotanto alenisi merkittävästi. Maanomistaja voi halutessaan painottaa vesiensuojelua esimerkiksi käyttämällä suositusten minimitasoa leveämpiä suoja-kaistoja sekä investoimalla vesienhoidollisiin toimenpiteisiin.

### **Vesiensuojelun tavoitteet**

Metsätalouden vesiensuojelulla pyritään vähentämään metsätalouden vesistöjen kuormittumista ja tätä kautta osaltaan turvaamaan vesistöjen hyvä tila. EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin tavoitteena on kaikkien pinta- ja pohjavesien hyvä ekologinen tila vuoteen 2015 mennessä. Kansallinen metsäohjelma (KMO 2015) tukee tätä tavoitetta niin, että metsätalous vaikuttaa osaltaan vesistöjen hyvän ekologisen tilan saavuttamiseen. Valtioneuvoston periaatepäätöksessä vesiensuojelun suuntaviivoiksi 2015 korostetaan metsätaloustoimien hyvää ennakkosuunnittelua kiintoaineksen huuhtoutumisen torjumiseksi sekä virtaamansäädön keinojen tehostamista.

### **Uusi vesilaki**

Uusi vesilaki ja vesiasetus tulivat voimaan vuoden 2012 alussa. Lain tarkoituksena on turvata vesivarojen kestävä käyttö, ehkäistä käytöstä koituvia haittoja sekä parantaa vesivarojen ja vesiympäristön tilaa. Metsätalouden kannalta tärkeä muutos on se, että tähän asti vapaaehtoiset ojitusta ja ojitusalueiden kunnostamista koskevat ilmoitusmenettelyt ovat muuttuneet pakollisiksi.

Toinen merkittävä muutos on muuttunut luonnontilaisuuden käsite. Luonnontilaisia tai luonnontilaisen kaltaisia purouomia ei saa muuttaa kaivamalla, eikä niihin laskea metsätaloustoimista kiintoainesta ilman Aluehallintoviraston lupaa. Kokonaan luonnontilaisten purojen lisäksi lupa tarvitaan myös osin muutettujen purojen luonnontilaisten osien luonnontilaa vaarantaville hankkeille. Myös purosta tai norosta perattua uomaa, joka on aikaa myöten palautunut luonnontilaisen kaltaiseksi, koskevat samat säädökset kuin luonnontilaisia puroja.

### **Kunnostusojitukset ja vesiensuojelu metsätaloudessa**

Suometsien merkitys teollisuuden puunhuollossa on voimakkaasti kasvamassa turvemaille tehtyjen investointien alkaessa tuottaa tulosta. Nykyisin suometsistämme hakataan vuosittain vajaat 10 miljoonaa kuutiometriä raakapuua-

ta. Valtakunnan metsien inventointien tuloksiin perustuvien skenaarioiden mukaan vuotuiset hakkuumäärät voisivat nousta 15–20 milj. kuutiometriin seuraavien 20 vuoden aikana. Tämä vastaisi noin 30 % metsiemme kokonaishakkuumääristä (Penttilä ym. 2000). Turvemaihin kohdistettujen tuotto-odotusten täysmittainen toteutuminen edellyttää kuitenkin ensiharvennusten ja metsänparannustöiden tekemistä ajallaan, jottei hakkuumahdollisuuksien suotuisa kehitys vaarannu (Tomppo ja Henttonen 1996). Soita on lähes 10 miljoonaa hehtaaria, joista tällä hetkellä on ojitettu yli puolet. Suometsien merkitys maamme teollisuuden raaka-aineen lähteenä on jatkuvasti kasvanut. Nykyisellään soiden vuotuinen kasvu on 25 milj. m<sup>3</sup> (Suostrategia 2011). Metsänparannustoimenpiteiden ja metsänhoidon vaikutuksen suopuuston kasvuun arvioitiin jo lähes kaksi vuosikymmentä sitten olevan vähintään 15 milj. m<sup>3</sup> vuodessa; määrä koostuu suurimmaksi osaksi massateollisuuden raaka-aineeksi soveltuvasta puusta (Tella 1998).

Kansallisessa Metsäohjelmassa (KMO 2015) on arvioitu, että suopuustojen kasvun nykytason ylläpitämiseksi kunnostusojituksia tarvitaan valtakunnan tasolla vuosittain noin 80 000 hehtaarin alalla. Kunnostusojituksen on todettu keskimäärin lisäävän suopuuston kasvua, ja se on myös todettu taloudellisesti kannattavaksi toimenpiteeksi – joskin varsinkin eteläisessä Suomessa lisäkasvu voi jäädä vähäiseksi.

Toisaalta kunnostusojitus on suurin vesistöjä kuormittava metsätalouden toimenpide kunnostetuista ojista alapuoliseen vesistöön kulkeutuvan hienojakoisen kiintoaineksen vuoksi. Metsätalouden aiheuttamasta vesistöjen kiintoainekuormasta arviolta 90 prosenttia tulee kunnostusojituksista. Kiintoaines samentaa vettä ja liettää muun muassa lohikalapitoisten virtavesien kutusoraakoita. Lisäksi kunnostusojituksessa huuhtoutuu fosforia sekä typpeä ja orgaanisesti sitoutunutta hiiltä.

Kunnostusojituksen yhteydessä tehtävään vesiensuojeluun on kehitetty useita menetelmiä, mutta yksikään niistä ei estä vesistökuormitusta kokonaan kaikissa oloissa. Tehokas keino vesistökuormituksen vähentämiseen on kohdentaa kunnostusojitukset vain alueille, missä sen avulla saadaan puuston kasvua selvästi lisättyä.

### **Vetu-hankkeen tarve ja tavoitteet**

Turvemaiden puuston tuotto-odotusten toteutuminen edellyttää hakkuuiden ja kunnostusojitusten tekemistä ajallaan. Metsätaloudessa onkin jatkuvasti tarvetta kehittää entistä tehokkaampia vesiensuojelumenetelmiä, erityisesti turvemaille kohdistuvilla kunnostusojituskohteilla. Perinteisillä laskeutusaltailla on vaikea täysin estää kiintoainesten ja ravinteiden kulkeutumista alapuolisiin vesistöihin. On mahdollista, että erityyppisillä suodattimilla vesiensuojelu tehostuisi. Vetu-hankkeen tavoitteena on kehittää metsätalouden

kestävää vesitaloutta puhtaan ympäristön turvaamiseksi. Hankkeen keskeisenä tavoitteena on kehittää metsätalouden vesiensuojeluun sopivia suodattimia, joiden tarkoituksena on vähentää kiintoaine- ja ravinnekuormitusta alapuolisiin vesistöihin.

### **Selvitys bioenergian varastoalueiden ja metsäojitusalueiden valumavesien käsittelystä**

Hankkeessa selvitetään erilaisten biosuodinmateriaalien soveltuvuutta bioenergian varastoalueiden ja metsäojitusalueiden valumavesien käsittelyyn. Selvitys kohdistetaan Suomessa ja Ruotsissa käytettyihin menetelmiin ja niistä saatuihin tuloksiin. Mm. Vapo, Metla ja Syke ovat tehneet erityyppisiä tutkimuksia, joiden tuloksia voidaan hyödyntää. Erityisesti Ruotsissa on pitkäaikaisia kokemuksia varasto-alueiden ympäristövaikutuksista. Hankkeessa hyödynnetään myös metsäteollisuuden tietämystä puuvarastojen ympäristövaikutuksista ja niiden ehkäisemisestä.

### **Valumavesien käsittelyyn soveltuvat biosuodinmateriaalit ja niiden laboriomittakaavan testaukset**

Hankkeessa testataan biosuodinmateriaalivaihtoehtojen soveltuvuutta metsäbiomassan varastoalueiden ja metsäojitusalueiden valumavesien käsittelyyn laboriomittakaavassa. Laboratoriotutkimuksissa otetaan huomioon hankkeessa kehitetyt uudet suodintrikselit ja nykyiset jätevedenpuhdistuksessa käytettävät suodinmateriaalit. Materiaaleina kokeissa käytetään rakeistettuna mm. epäorgaanisia materiaaleja, kuten tuhkaa, biohiiltä ja muita biofilmiksi soveltuvia materiaaleja. Lisäksi kokeillaan orgaanisten materiaalien kuten turpeen tai hakkeen sekä epäorgaanisten kaupallisten tuotteiden toimivuutta suodattimessa. Laboriomittakaavan testauksien aikana selvitetään eri tuotenvaihtoehtojen teknistä toimivuutta (rakenteen kestävyys) sekä puhdistus-tehoa. Laboratoriotesteissä tutkitaan ja analysoidaan mm. seuraavia ominaisuuksia: tekninen kestävyys (mm. penetrometritestaus), kok N, kok P, BOD<sub>7</sub>, COD<sub>Mn</sub>, pH, johtokyky, sameus, kiintoaine, väriluku sekä hygieniaindikaattorit.

### **Biosuotimien testaus käytännön metsätalouden vesiensuojelukohteissa**

Seuraavassa vaiheessa biosuotimia testataan PILOT-mittakaavassa käytännön metsätalouden vesiensuojelukohteissa. Hankkeen aikana perustetaan pilotkohteita maastoon, jotka sijaitsevat kunnostusojituskohteen vesiensuojelurakenteissa sekä metsäbiomassan varastointialueella. Kokeen aikana seurataan mm. tuotteiden kestävyyttä ja toimivuutta sekä teknisiä ominaisuuksia. Lisäksi seurataan tuotteen vaikutuksia ympäristöön. Kokeiden aikana monitoroidaan ja analysoidaan mm. pH, sameus, johtokyky, lämpötila ja happi. Näytteistä analysoidaan laboratoriossa kiintoaine-, typpi- ja fosforipitoisuudet sekä



muu ravinnekuormitus. Vesinäytteistä analysoidaan myös kokonaismetallit ennen biosuodinta ja pitoisuudet käsitteilyn jälkeen.

Hankkeen tuloksena saadaan tietoa biosuodinmateriaalien toimivuudesta kunnostusojituskohteissa sekä metsäbiomassan varastointialueelta. Hankkeessa arvioidaan myös eri biosuotimien taloudellista kannattavuutta. Testauksen yhteydessä arvioidaan muun muassa biosuotimen materiaalikestävyys, käyttöikä, kierrätettävyys, huollon tarve, logistiikka ja erillisen huoltopalvelun tarve. Hankkeella arvioidaan myös sitä, voiko testattava materiaali yksinään toimia tarkoituksenmukaisella tavalla. Kun testaus viedään heti käytännön kohteille, voidaan arvioida välittömästi toiminnan taloudellista kannattavuutta ja kustannustehokkuutta suhteessa normaaliin vesiensuojelurakentamiseen.

### Syksyn 2015 maastokokeet

Elokuussa 2015 rakennettiin kaksi biosuodatinta kunnostusojituskohteelle, Juvan Paatelaan (kuva 1). Suodattimet asennettiin heinäkuussa 2015 kunnostusojitetun metsäojitusalueen laskeutusaltaan jälkeiseen purkuojaan. Suodattimet sijaitsivat ojassa peräkkäin, noin kuuden metrin etäisyydellä toisistaan. Suodattimien suodattavina materiaaleina käytettiin lehtipuuhaketta (1. suodatin) ja biohiiltä (2. suodatin).



KUVA 1. Hakesuodatin rakennusvaiheessa (Juva, Paatela). Hake pakattu verkkosäkkeihin, jotka ladotaan niitä varten rakennettuun kehikkoon (kuva Kalle Karosto)

Lokakuussa 2015 rakennettiin vielä yksi biohiilisuodatin Juvan Pakinmaalle. Kyseessä oli keväällä 2015 kunnostusojitettu ojitusalue. Erona elokuiseen Paatelan kohteeseen tällä kertaa asennettiin pelkästään yksi suodatin, jonka suodattavana materiaalina oli biohiili.

Suodattimien toimintaa maastossa seurataan viikoittain. Rakenteiden kuntoa ja materiaalien toimintakykyä tarkkaillaan, ja vesinäytteet suovedestä tuodaan laboratorioon tutkittaviksi kerran viikossa. Vesinäytteiden mittauspisteet sijoittuvat sekä ennen että jälkeen jokaista suodatinta; näin suodatinmateriaalien vaikutuksia ja suodatustehoa pystytään järkevästi seuraamaan.

## LÄHTEET

Kansallinen metsäohjelma 2015. Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä. Valtioneuvoston periaatepäätös 16.12.2010. Maa- ja metsätalousministeriö.

Kansallisen suo ja turvemaiden työryhmän ehdotus 16.2.2011: Ehdotus soiden ja turvemaiden kestävä ja vastuullisen käytön ja suojelun kansalliseksi strategiaksi. Työryhmämuistio MMM 2011:1, Helsinki 2011.

Penttilä, T., Hökkä H. Ja Laiho R. 2000. Harvennusten ekologiset perusteet ja tuotosvaikutukset ojitetuilla rämeillä. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000:292-296.

Tella, J. 1998. Kesäaikaiset ensiharvennushakkuut ojitetuilla turvemaidella viidellä korjuuketjulla Enso Oyj:n Imatran hankintapiirissä. *Insinöörityo* Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Tomppo, E. & Henttonen, H. 1996. Suomen metsävarat 1989–1994 ja niiden muutokset vuodesta 1951 lähtien. *Metsätilastotiedote* 354. 18 s.

# BIOSUODINMATERIAALIEN SOVELTUVUUS METSÄOJITUS- ALUEIDEN VALUMAVESIEN KÄSITTELYSSÄ

*Henri Hiltunen & Kati Kontinen*

Metsätalouden hyviin toimintatapoihin kuuluvat mahdollisimman pienet ympäristövaikutukset. Metsiä tulee hoitaa ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestäväällä tavalla. Yhteiskunta asettaa lakien muodossa vähimmäisvaatimukset, joita tulee noudattaa. Pelkästään lakeja noudattamalla ei voida edistää tarpeeksi metsätalouden ekologista kestävyyttä. Monia esiteltävistä menetelmistä on jo kokeiltu maataloudessa, sillä siellä typpi- ja fosforipäästöt ovat suurempia lannoituksen takia. Monet maatalouden menetelmät vaativat erilaisia kemikaaleja toimiakseen. Kemikaalit eivät sovellu metsätalouden ratkaisuksi, sillä kemikaaleja täytyy lisätä lyhyen ajan välein, ne ovat kalliita, eikä niiden käyttö tue metsätalouden kestäväen käytön tavoitteita. Metsätalouden ratkaisuksi soveltuvat paremmin biosuodattimet, sillä niiden mahdollinen käyttöikä on pidempi ja niitä ei tarvitse huoltaa käyttöaikana. Suodattimissa käytetään kierrätettäviä luonnollisia materiaaleja, joten niistä aiheutuu mahdollisimman vähän kuormitusta ympäristölle.

## **Suometsien puusto ja ojitus**

Metsäojitus oli suurimmillaan 1960-luvun loppupuolella ja päättyi vuoteen 1992. Nykyään soita on ojitettu 4,6 miljoonaa hehtaaria ja ojittamattomia soita on 4,1 miljoonaa hehtaaria (Metsäntutkimuslaitos 2014, 50). Soiden ojituksen ansiosta metsiemme kasvu on lisääntynyt 14 miljoonaa kuutiometriä vuodessa aina 1950-luvun alusta lähtien (Ruotsalainen 2007, 5). Suomen metsätalousmaasta 33 prosenttia on soita, eli 8,7 miljoonaa hehtaaria. (Vanhatalo ym. 2015, 11). Ojituksella on saatu merkittävää kasvua aikaiseksi suometsien puustossa. Tomppo (2005) arvioi VMI9:n (1996–2003) tietojen mukaan suometsien puuston kokonaistilavuudeksi 479 miljoonaa m<sup>3</sup>. Suometsissä on tulevaisuudessa noin neljännes Suomen metsävaroista ja metsien kasvusta.

Mikäli Suomen metsäteollisuuden puuntarve pysyy edes jossakin määrin samoissa mitoissa kuin nykyään, on suometsissä kasvavalla puustolla iso merkitys tulevaisuudessa. Nuutinen ym. (2000) arvioivat, että vuoteen 2025 mennessä suometsien osuus kestävästä hakkuumäärästä nousee yli 20 %:n. Hakkuut ovat suometsien hoidossa ensisijaisessa asemassa, sillä pelkästään hoitotöiden vuoksi ei useimpiin suometsiin ole kannattavaa mennä. Hakkuuiden myötä ojien kunto heikkenee, harvennettaessa puustopääoma vähenee, puuston haihdunta pienenee ja pintavalunta kasvaa, jolloin ojien kunnon merkitys kasvaa. Hakkuut on syytä tehdä ennen kunnostusojitusta, jotta ojien kunto säilyy mahdollisimman pitkään mahdollisimman hyvänä. Kun ojat on kaivettu, niiden olisi tarkoitus pitää kohteen vesitalous puuston kasvulle suotuisalla tasolla ainakin kaksikymmentä vuotta.

## **Käytössä olevat vesiensuojelumenetelmät**

### **Pintavalutuskenttä**

Pintavalutuskenttä on ojittamaton alue, jonka läpi ojien vedet johdetaan. Pintavalutuskentäksi sopii mikä tahansa tasainen alue, missä vedet suodattuvat pintakasvillisuuteen. Veden nopeus hidastuu ja vesi leviää laajalle alueelle. Kenttä on tehokas pysäyttämään liikkeelle lähteneen kiintoaineksen. Se voi myös vähentää liuenneiden ravinteiden päätymistä vesistöön. Kentältä saattaa aluksi liueta fosforia, mikäli se on tehty karulle suolle. (Joensuu ym. 2007, 28.)

Kentän tehon säilyttämiseksi on tärkeää, ettei siellä ajeta millään koneilla. Koneiden uriin saattaa syntyä oikovirtoja, joissa vesi virtaa nopeammin, jolloin vesi viipyy lyhyemmän aikaa kentällä. Hyvin toimiva pintavalutuskenttä sitoo jopa 70–90 prosenttia kiintoaineksesta.

Valutuskentäksi on valittu pientä puustoa kasvava alue, jonka pinta-ala on vähintään yksi prosentti valuma-alueesta. Valuma-alue ei saa olla 50 hehtaaria suurempi, sillä sitä suuremmilta alueilta yksi pintavalutuskenttä ei riitä suodattamaan tarpeeksi. Vesi täytyy saada jakautumaan kentälle tasaisesti, eikä sinne saisi syntyä oikovirtauksia. Alapuolisen vesistön tulvat eivät saisi nousta kentälle. (Joensuu ym. 2007, 28.)

### **Suojavyöhyke**

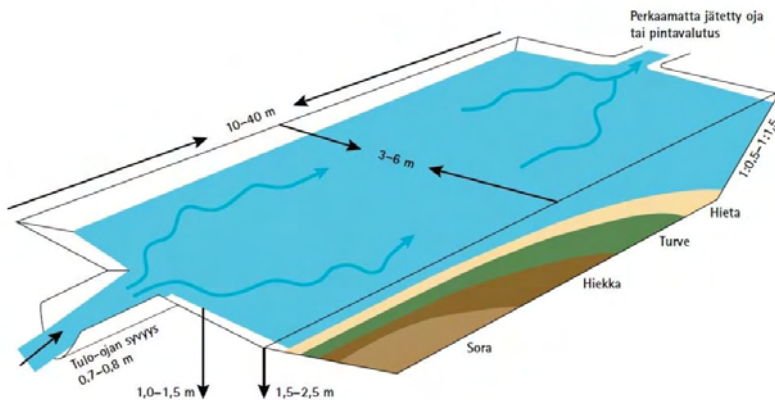
Hakkuiden kiintoaines- ja ravinnehuuhtoumia voidaan vähentää parhaiten jättämällä suojavyöhykkeitä hakkuiden ja vesistön väliin. Suojavyöhyke toimii samalla periaatteella kuin pintavalutuskenttä, mutta erona on se, että suojavyöhykkeelle ei johdeta vesiä vaan ne valuvat omia uriaan sinne. Suojavyöhykkeeltä voidaan poistaa isoja puita, mutta koneella sinne ei saa mennä eikä sieltä saa poistaa aluskasvillisuutta. Vyöhykkeen maanpinta ja aluskasvillisuus

tulee jäädä ehjäksi, jotta kiintoainesta ja ravinteet sitoutuvat mahdollisimman tehokkaasti. Suojakaistan leveys riippuu hakkuutavasta ja kasvupaikan ominaisuuksista. (Joensuu ym. 2007, 10–11.)

## Laskeutusallas

Laskeutusallas kerää tehokkaasti kiintoainesta ja siihen sitoutuneita ravinteita. Se on käyttökelpoinen keskikarkeilla ja karkeilla kivennäismailla. Jotta altaat toimisivat tehokkaasti, suunnittelijan täytyy tietää valuma-alueen pinta-ala, puuston tilavuus ja alueen korkeus merenpinnasta. Altaat keräävät parhaiten hiekkaa ja hietaa, eikä niitä saa rakentaa eroosioherkille maille. Allas on luonnollisesti sijoitettava tarpeeksi kauaksi vesistöistä, etteivät tulvavedet pääse nousemaan altaaseen asti. Altaan reunat tulee tehdä loiviksi, jotteivät ne syöpyisi herkästi ja jotta altaaseen tippuneet eläimet pääsevät altaasta pois. Altaasta pois kaivetut maat maisemoidaan ja ne sijoitetaan tulvien ulottumattomiin. Laskeutusaltaasta pois lähtevä oja kaivetaan matalammaksi kuin altaaseen tuleva oja. (Joensuu ym. 2007, 31.)

Kuvassa 1 on esimerkkimittoja siitä, miten laskeutusallas tulisi mitoittaa. Altaan leveyden tulisi olla sellainen, että kaivinkoneella yltyä kaivaa myös altaan keskiosaa. Altaan tilavuutta kasvatetaan pidentämällä sitä. Kuvaan on myös havainnollistettu, miten eri maalajit lajittuvat altaan pohjalle. (Hiltunen 2011, 104.)



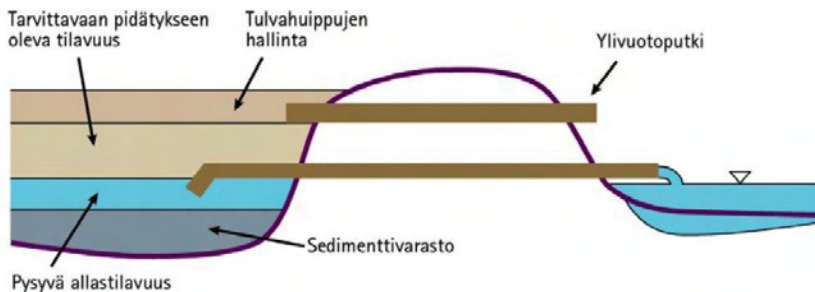
KUVA 1. Laskeutusaltan mitoitus (mukaan Hiltunen 2011)

## Lietekuoppa ja kaivukatko

Herkimmin syöpyvissä sarkaojissa ja kokooja- ja valtaojissa syöpmistä ehkäistään perkauskatkoilla. Kaivukatkot kannattaa jättää ojaston kaltevimpiin kohtiin, eikä ojaa kannata perata, jos sen vedenjohtokyky on riittävä. Uusiin herkästi syöpyviin täydennysojiin jätetään kaivukatkoja. Kaivukatkon pituus riippuu maalajista ja virtaamasta, mutta katkon tulisi olla vähintään 20 metriä pitkä. Lyhyemmät kaivukatkot ovat perusteltuja kuivaustehokkuuden kannalta. Kiintoainesten pidätyksestä voidaan lisätä kaivamalla katkon yläpuolelle lietekuoppa. Lietekuopat ovat noin 1–2 kuution kokoisia syvennyksiä ojan pohjassa. Lietekuoppia voi olla useampi samassa ojassa jolloin niiden välisen etäisyyden tulisi olla noin 100–200 metriä. Niitä käytetään myös kaivu- ja perkauskatkojen, vesistöön johtavien perkaamatta jätettävien ojanosien ja pintavalutuskenttien yhteydessä karkean kiintoaineksen keräämiseen. (Hiltunen 2011, 101–102.)

## Virtaamasäätöpato

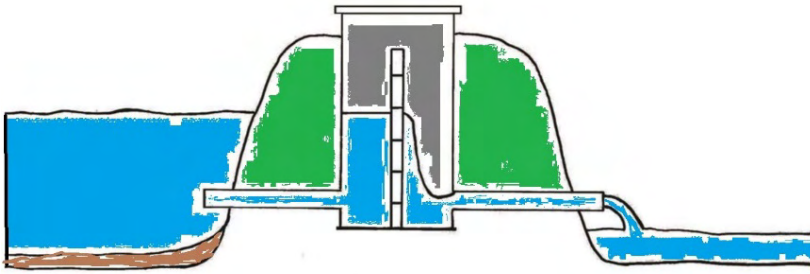
Virtaamaa säädellään siten, että ojaan tehdään pato ja sen läpi johdetaan yksi tai useampi putki, joiden läpi vesi virtaa. Putkien koko mitoitetaan niin, että padon läpi virtaa vettä hitaammin kuin padolle tulee, jolloin yläpuoliselle ojastolle aiheutuu padotusta, mikä hidastaa veden virtausnopeutta sopivaksi. Alimman putken koolla ja korkeudella ojanpohjasta määritellään vedenpinnan korkeuden vaihtelun alaraja. Padon yläosaan voidaan laittaa toinen putki, josta vesi virtaa huippuvirtaamien aikana (kuva 2). Ylemmän putken alapuolella on tilavuutta ja aikaa, jolloin jopa yli puolet muutoin huuhtoutuvasta fosforista ja typestä pidättyvät. Virtaaman hidastuminen vähentää myös ojastossa tapahtuvaa eroosiota ja huuhtoumaa. (Hiltunen 2011, 104–105.)



KUVA 2. Pohjapato kahdella putkella (mukailten Hiltunen 2011)

## Munkki

Munkki tehdään patopenkereeseen ja se on oikeastaan säätökaivo (kuva 3). Munkin putkien koko määrittyy alueen tulvanaikaisen maksimivirtaaman perusteella. Vedet munkkiin tulevat ojastosta kuvassa vasemmalta. Esimerkiksi kaivonrenkaista tehdyn kaivon keskellä on mekaaninen säätölevy, jolla säädelään vedenpinnan korkeutta. Munkista lähtevä vesiputki asetetaan lähtöajan pohjan tasolle. Varmuuden vuoksi munkin ohitse on hyvä vetää tulvapatket, jottei itse säätökaivo pääse vaurioitumaan. Munkki ei yleensä jäädy talvisin, joten se sopii mainiosti ympärivuotiseen käyttöön. (Joensuu 2012, 61.)



KUVA 3. Munkki-pato (mukaillen Joensuu 2012)

## Kiintoaineen ja ravinteiden pysäyttämässä tutkitut menetelmät

### Alumiinihydroksipolymeerisaostus

Menetelmän teho perustuu pienimolekyylisten, positiivisesti varautuneiden ja lievästi happamien alumiinihydroksipolymeerien kykyyn murustaa vedessä olevia savihiukkasia. Kuten moniarvoiset kationit, alumiinihydroksipolymeerit yhdistävät tehokkaasti savihiukkasia toisiinsa. Kun vesiliukoinen fosfori sitoutuu muodostuvien savimurujen sisässä oleviin oksideihin, se muuttuu leville käyttökeltottomaan muotoon. Yhdistyneet savihiukkaset kasvavat ja painuvat altaan pohjaan, jolloin vesi selkiytyy ja ravinteet jäävät altaaseen. (Kulmala 2011, 58.) Jotta alumiinihydroksipolymeerisaostusmenetelmä toimi kunnolla, kemikaalin ja veden määrän täytyy olla oikeassa suhteessa. (Kulmala 2011, 59–60.)

### Ferrisulfaattisaostus

Ferrisulfaatti on kemialliselta kaavaltaan  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  ja se sisältää aktiivisia kolmiarvoisia rautayhdisteitä, jotka veteen liuetessaan saostavat siitä epäpuhtauksia ja fosforia (Lepistö 2012, 13). MTT on tutkinut ferrisulfaattisaostusta.

Ferrisulfaattia lisättiin veteen suhteessa 1:35 000, mikä tarkoittaa 1 kiloa ferrisulfaattia jokaista 35 000 vesilitraa kohden. Kemikaalin vaikutuksesta veden

pH laski vajaan 2 yksikköä arvoon 5,7. Kemiallisessa saostuksessa hyötysuhde on parempi korkeissa fosforipitoisuuksissa. TEHO-hankkeen tulosten mukaan testatut laitteistot sopivat parhaiten alle 100 l/s virtaaviin ojiin. Tutkimuksen mukaan kemiallinen käsittely tulisi kohdistaa kevään suurin fosforivaluntoihin tai pienehköihin ojiin. Tällä tavoin mahdolliset haitat kevään kalan kudulle jäävät pieniksi. (Kulmala 2011, 60–62.)

### **Kalkkisuodatus**

Kalkkisuodinojat, kalkkihiekkasuodatuskentät, ojapohjasuodatus sekä fosforiloukkumenetelmä ovat eri variaatioita kalkilla suodattamisesta (Kulmala 2011, 62). Kalkkisuodinoja on salaoja, jonka täyttömaahan on sekoitettu poltettua kalkkia. Ojakaivannon vedenläpäisevyys parantuu kalkkiseoksen ansiosta. Veden mukana kulkeva fosfori suodattuu ojakaivannon rakenteisiin. Fosfori sitoutuu salaojan kalkkiin, ja seos vähentää myös happamien sulfaattimaiden happamuutta. Kalkkisuodinojat soveltuvat erityisesti viettäville savimaille sekä alunamaille. (Kulmala 2011, 62–63.) Kalkkihiekkasuodatuskenttä on kalkkihiekkaseoksella täytetty suorakaiteen muotoinen ja metrin syvyinen imeytyskenttä. Valumavedet suodattuvat kalkkihiekkaseoksessa, jolloin siihen sitoutuu kiintoainesta ja siihen sitoutunutta fosforia sekä liukoista fosforia. Ojapohjasuodatuksessa 5–15 cm paksuinen kalkkihiekkaseos levitetään avoijan pohjalle, jossa kalkkihiekkaseos suodattaa fosforin. (Kulmala 2011, 63.) Fosforiloukussa valumavedet johdetaan suodinkaivantoon suurehkolla avoijalla.

Kuten suodattimilla on tapana, niiden suodatusteho heikkenee ajan myötä. Näin käy myös kalkkisuodattimissa. Alustavien kokeiden mukaan fosforin sitomiskyky häviää muutamassa vuodessa. Kun teho on heikentynyt, sitä voidaan parantaa suodatinmassan vaihdolla tai sekoittamalla uutta kalkkimassaa vanhaan. (Kulmala 2011, 64.) Fosforiloukun kokeiluissa ollaan vasta alkutekijöissä ja alussa ongelmana ovat olleet suuret virtaamat. Vantaanjoen alueella kokeillaan rauta-kalsiumseosta saostamaan liukoista fosforia entistä tehokkaammin. (Kulmala 2011, 64.)

### **Biohiili**

Biohiilen ja hiilellä suodattamisen tutkimustuloksia ei ole raportoitu. Biohiili on hyvin lupaava maanparannusaineena, ja sen kyky sitoa eri aineita on havaittu hyväksi ja sitä on mahdollista hyödyntää melkein mihin tahansa energiakäytöstä maanparannusaineeksi. Biohiilen on havaittu sitovan vettä ja ravinteita peltomaassa. Biohiili on hyvin monimutkainen aine, joten sen käytön optimointi on nykyisellä tiedolla vaikeaa. Biohiilen ominaisuudet riippuvat pyrolyysissä käytettävästä materiaalista sekä pyrolyysin kestosta ja maksimilämpötilasta. Näiden vielä tuntemattomien tekijöiden takia ei ole varmaa, millä tavalla biohiili käyttäytyy erilaisissa maa-aineksissa. Biohiili on hyvin



huokoista ainetta. Huokoisuus selittää hiilen hyvän ravinteiden- ja vedensitomiskyvyn. (Kettunen & Saarnio 2014, 4–5.)

## **Tuhka**

Tuhkaa käytetään lannoitteena ja siitä irtoaa raskasmetalleja, jotka ovat ympäristölle haitallisia korkeina pitoisuuksina. Fa-Forest on kehittänyt pinnoitteen, jolla tuhka saadaan pysymään liukenemattomana sekä sitomaan fosforia. Samalle pinnoite estää tuhkasta irtoamista aineita, jotka voivat olla haitallisia ympäristölle. Tutkimukset Fa-Forestilla ovat kesken, eivätkä he ole patentoineet menetelmää vielä, joten tarkempia tietoja ei ole saatavilla tällä hetkellä. (Karosto 2015a.)

## **Puuhakesuodatus**

Lantto ja Lindfors (2005, 14) ovat omassa tutkimuksessaan kehittäneet puuhakesuodattimen, joka koostuu rautakehikosta ja verkosta. Hakesuodattimet tulee sijoittaa sellaiseen kohtaan ojaa, josta suodattimella on hyvä kulkuyhteys. Hakesuodattimien eteen kertyy lietettä, joka täytyy saada poistettua ojasta loka-autolla. Hyvä paikka suodattimelle olisi kovapientareinen ja -pohjainen oja, jolloin voidaan minimoida veden virtaamisesta aiheutuva ohijuoksu. Ohijuoksu syövyttää pientareen, johon rautakehikko on asetettu, ja saattaa siten siirtää koko suodattimen pois paikaltaan. (Lantto & Lindfors 2005, 15.) Hakesuodatus toimii parhaiten melko paljon kiintoainetta sisältävissä ojissa, joissa virtaama on tasaista. Hakesuodattimia voidaan käyttää myös laskeutusaltaiden osana tasaamaan virtausta sekä tehostamaan kiintoaineksen pidäytymistä. (Lantto & Lindfors 2005, 39) Hakesuodatuskokeissa toukokuusta 2004 huhtikuuhun 2005 saatiin parhaimmillaan melkein 50 % keskimääräiset kiintoainereduktiot. Fosforia saatiin vähennettyä 8–24 % ja typpeä 2–10 %. Kesällä 2005 suodattimet eivät toimineet käytännössä ollenkaan. Kiintoaines väheni vain yhdellä ojalla ja ravinteita sinä aikana ei vähennetty yhtään. (Lantto & Lindfors 2005, 38.)

## **Pajukerpputorni**

Henna Niemelän (2010, 8) opinnäytetyössä selvitetään pajun hyödyllisyyttä puhdistamokäytössä. Pajukerpputorneja käytetään neljällä eri kaatopaikalla Suomessa. Pajukerpputorni toimii kaatopaikkavesien puhdistamisessa yhtenä vaiheena. Pajujen pinnalle muodostuu bakteerikasvustoja, jotka hajottavat typpeä ja fosforia, jotka ovat tavallisimmat haitta-aineet suotovesissä. Paju valikoitui suotimen raaka-aineeksi sen nopean kasvun ja muun käytön vähyyden vuoksi. Tornin runkona toimii hirsistä koottu noin 12 metriä korkea kehikko. Kehikkoon rakennetaan 2,5 metrin välein tasot, joihin asetetaan pajuniput. Vesi pumpataan tornin päälle, mistä se valuu pajuja pitkin alas. Kiintoaines valuu tornin alle rakennettuun saostusaltaaseen. Altaan pinnalta pumpataan

vettä, jota nostetaan takaisin ylös, ja osa pumpataan kahteen seuraavaan saostusaltaseen. Saostusaltaiden jälkeen vesi pumpataan keinotekoiseen kosteikkoon. (Niemelä 2010, 19.)

## **Rahkasammal**

Vapon oma rahkasammalsuodatin on ollut koekäytössä kesän 2015 ajan. Laboratorio- ja kenttäkokeen tulokset ovat olleet positiivisia, mutta eivät mulistavia. Koesuodattimen puhdistusteho on jäänyt vielä pieneksi, sillä puhdistettavassa vedessä on ollut muutoinkin vähän kiintoainesta. (Jokisuu 2015.) Vapo päätyi rahkasammaleeseen biosuodattimena, koska sen suodatusominaisuuksia ei ole aikaisemmin kokeiltu käytännössä ja rahkasammal on luontaisesti soilla kasvava edullinen biosuodatinmateriaali. (Jokisuu 2015.)

Humushappoja pidetään pääsyynä metallien sitomiskykyyn turpeessa. Yleisesti turpeen kyky sitoa metalleja kasvaa pH:n noustessa. Rahkasammal on hapanta ja sillä on matala tilavuuspaino sekä korkea vedenläpäisevyys. Kyseiset ominaisuudet indikoivat hyvää kyllästävyyttä ja sopivuutta suodatinaineeksi. (Kalmykova & ym. 2007, 887–889.) Rahkasammaleen kestävä keräämistä on tutkittu ja siitä on saatu hyviä tuloksia. Niko Silvanin (2012) mukaan rahkasammal uusiutuu 30 vuodessa. Rahkasammalta ei saa korjata 25 senttimetriä syvemmältä, sillä rahkasammaleen eläviä hankasilmuja esiintyy varmuudella vielä siinä syvyydessä ja uudistuminen on taattua. (Silvan 2012.)

## **Pohdintaa**

Suodattimen tärkeimmät ominaisuudet ovat kevättulvien kestäminen, suodattimen paikallaan pysyvyys ja virtaamahuippujen aikana toimiminen. Suodatinmateriaalin tulisi kestää noin kolme vuotta asennuksesta, sillä sinä aikana aiheutuvat suurimmat kiintoaines- ja ravinnevalumat. Järjestelmän tulisi olla helppo asentaa sekä edullinen rakentaa, jotta metsänomistajille koituisi mahdollisimman vähän lisäkustannuksia.

Biosuodatinratkaisut hidastavat veden virtausnopeutta ja käytettävä materiaali voidaan käyttöajan jälkeen kierrättää takaisin, jolloin ravinteet saadaan palautettua luontoon. Näin voidaan parantaa käytettävien suodatusmenetelmien ekologista kestävyyttä, eivätkä metsänhoidon toimenpiteet aiheuta lisärasitusta ympäristölle.

Isoja haasteita asettaa se, miten suodatinratkaisu saadaan markkinoitua käyttäjille. Lisäkustannuksia tuovan suojelutoimenpiteen myynti vaatii markkinointistrategioiden päivittämistä ympäristöystävällisempään suuntaan. Suodattinten käyttöönoton nopeuttamiseksi ja yleistämiseksi esimerkiksi sertifioijat voisivat vaatia tehokkaampia suojelutoimenpiteitä suodattimien muodossa.

## LÄHTEET

Hiltunen, Timo, Rissanen, K., & Leinonen, A.: Vesi. 2011. Teoksessa: Päivinen, J., Björkqvist, N., Karvonen, L., Kaukonen, M., Korhonen, K-M., Kuokkanen, P., Lehtonen, H. & Tolonen, A. (toim.). Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 67.

Joensuu, Samuli, Hynninen, Pekka, Heikkinen, Kaisa, Tenhola, Tommi, Saari, Päivi, Kauppila, Maija, Leinonen, Antti, Ripatti, Hannu, Jämsén, Juha, Nilsson, Svante & Vuollekoski, Martti 2012. Metsätalouden vesiensuojelu - Metsätalouden vesiensuojelu -kouluttajan aineisto. Jyväskylä: Kopijyvä.

Joensuu, Samuli, Makkonen, T. & Matila, A. 2007. Metsätalouden vesiensuojelu. Lönnberg Print.

Jokisuu, Roosa 2015. Sähköpostikeskustelu 2.9.2015–8.9.2015. Biologi, Projektityöntekijä Vapo Oy.

Kalmykova, Yuliya, Strömvall, Ann-Margret & Steenari, Britt-Marie 2007. Adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn on Sphagnum peat from solutions with low metal concentrations. Journal of Hazardous Materials 152.

Karosto, Kalle 2015a. Haastattelu 14.9.2015. VETU-hankkeen projektipäällikkö.

Kettunen, Riitta & Saarnio, Sanna 2014. Kirjallisuusselvitys biohiilestä Suomen maataloudessa – sen käytettävyys ja saatavuus. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kirjallisuusselvitys. PDF-dokumentti. <http://rae.savonia.fi/tietopankki/maatilan-tietopaketti/viewdownload/6-lanta-ja-lannoitteet/58-biohiili-maatalouskaytossa>.

Kulmala, Airi 2011. TEHO-hankkeen raportteja, osa 1. TEHO-hankkeen julkaisuja 1/2011, 57–78.

Lantto, Johanna & Lindfors Ismo 2005. Joutsijärven ja Tuurujärven vesiensuojelusuunnitelma: hakesuodatuskokeet. PDF-dokumentti. <http://www.pori.fi/material/attachments/porinvesi/5tagNe4O9/Hakesuodatinraportti.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 6.12.2014.

Metsäntutkimuslaitos 2014. Metsätalostollinen vuosikirja 2014. Tampere; Tammerprint Oy

Niemelä, Henna 2010. Pajukerpputorni kaatopaikkavesien käsittelyssä. Tampereen ammattikorkeakoulu. Environmental Engineering. Opinnäytetyö.

Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finish wood production - an analysis based on large scale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2): 131–153.

Ruotsalainen, Matti 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Helsinki: Lönnberg Print.

Silvan, Niko 2012. Rahkasammalbiomassan korjuu, korjuupotentiaali Suomessa ja nostopaikan uudistuminen. Metsäntutkimuslaitos. PowerPoint-esitys.

Tomppo, E. 2005. Suomen suometsät 1951–2003. Teoksessa: Ahti, E., Kainisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta suometsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947.

Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (toim.) 2015. Hyvän metsänhoidon suositukset – Suometsien hoito, työopas. Tapion julkaisuja. Porvoo: Bookwell Oy.

# LABORATORIOMITTAKAAVAN BIOSUODATINKOKEET METSÄ- TALouden VESIENSUOJELUN TEHOSTAMISEKSI

*Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen*

Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen biosuotimilla –hankkeessa testataan erilaisten biosuodinmateriaalivaihtoehtojen soveltuvuutta metsäojitusalueiden sekä metsäbiomassan varastoalueiden valumavesien käsittelyyn sekä laboratorio- että pilot-mittakaavassa. VETU-hanke on kaksivuotinen (1.1.2015–31.12.2016) ja sitä toteuttaa Mikkelin ammattikorkeakoulu yhdessä Tapio Oy:n kanssa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta. Hankkeessa on mukana yritysedustajana Mikkelissä sijaitseva RPK-Hiili Oy. Tässä artikkelissa kerrotaan VETU-hankkeen laboratoriomittakaavan kokeista ja niiden alustavista tuloksista.

## **Laboriomiittakaavan kokeet**

Laboriomiittakaavan kokeiden avulla testataan ja tutkitaan erilaisten suodatinmateriaalien teknistä kestävyyttä ja puhdistustehoa. Testien perusteella valitaan kestävimät ja puhdistusteholtaan parhaimmat materiaalit maastossa tapahtuvia pilot-mittakaavan kokeita varten.

Suodatinmateriaalien rakenteellista kestävyyttä tutkitaan muun muassa penetrometritestauksen avulla. Lisäksi materiaaleista analysoidaan soveltuvien osin kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudet ennen suodatinkokeiden aloittamista ja niiden jälkeen. Suodatuskokeita varten haetaan maastosta suovettä, josta analysoidaan muun muassa kokonaistypen ja -fosforin pitoisuudet, COD<sub>Mn</sub>-pitoisuus, pH, johtokyky, sameus ja kiintoaine. Suodatinkokeiden aikana suodatetusta vedestä otetaan näytteitä, joista analysoidaan samat muuttujat. Tällä tavalla saadaan kuva suodattamisen vaikutuksista veden laatuun.

Suodattimien toiminnan oletetaan perustuvan sekä kemiallis-fysikaalisiin reaktioihin että mikrobien toimintaan. Tavoitteena on saada suodatinmateriaalien pinnalle kehittymään mikrobien muodostama biofilmi. Biofilmin

kehittyminen on hidaskesä, minkä vuoksi suodatinkokeita on jatkettava kerrallaan useamman kuukauden ajan.

### **Laboratoriomittakaavan koejärjestelyt**

Ensimmäinen koesarja käynnistettiin toukokuussa 2015 ja se kesti syyskuun alkuun. Tämän koesarjan aikana tutkittiin kolmea eri suodatinmateriaalia siten, että jokaista valittua materiaalia pakattiin kahteen kolonniin. Tutkitut materiaalit olivat biohiili, kevytsora ja haja-asutusalueen jätevedenpuhdistuksessa käytettävät muoviset kantokappaleet. Jokaiseen kolonniin pakattiin esisuodattimeksi lehtipuuhaketta.

Koejärjestelyjä varten Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorioon rakennettiin kuusi laboratoriomittakaavan suodatinkolonnia. Kolonnien rakennusmateriaalina käytettiin läpinäkyvää polykarbonaattiputkea sekä viemäriputken osia. Kolonneihin asennettiin letkut näytteenottoa ja veden kierrätystä varten. Suodatinkolonnit on esitetty kuvassa 1.



**KUVA 1.** Ensimmäisen koesarjan suodatinkolonnit (kuva Tuija Ranta-Korhonen)

Suodatinkokeita varten maastosta haettiin kerrallaan noin 250 litraa suovettä, mikä riitti noin kahden viikon tarpeiksi. Ennen jokaista suodatuskertaa veden lämpötila, pH ja johtokyky mitattiin. Myös kolonnien läpi suodatuvasta vedestä mitattiin samat parametrit. Tässä vaiheessa suodatuskokeissa ei käytetty

pumppuja, vaan vesi kaadettiin kolonneihin kastelukannulla. Veden määrää vaihdeltiin siten, että työviikon aikana vettä suodatettiin peräkkäisinä päivinä 10, 4, 2 ja 1 litraa. Viikonlopun ajan kolonnien annettiin kuivua. Maastosta haetusta vedestä analysoitiin pH, johtokyky, sameus, kiintoaine, väriluku sekä kokonaisfosfori- ja typpipitoisuudet. Aina kulloisenkin vesierän lopulla kolonneilla suodatetusta vedestä analysoitiin samat muuttujat. Tällä tavoin saatiin selville suodatuksen vaikutus veden laatuun.

Toinen koesarja käynnistettiin syyskuun 2015 lopulla. Koska ensimmäisen koesarjan aikana oli havaittu, että rakennetut suodatinkolonnit ja niiden avulla tehtävien suodatuskokeiden vaatimat vesimäärät olivat hyvin suuria, päätettiin toista koesarjaa varten rakentaa uudet, pienemmät kolonnit. Toisessa koesarjassa päätettiin myös ottaa letkupumput käyttöön veden suodattamisessa. Toisen koesarjan koejärjestelyt on esitetty kuvassa 2.

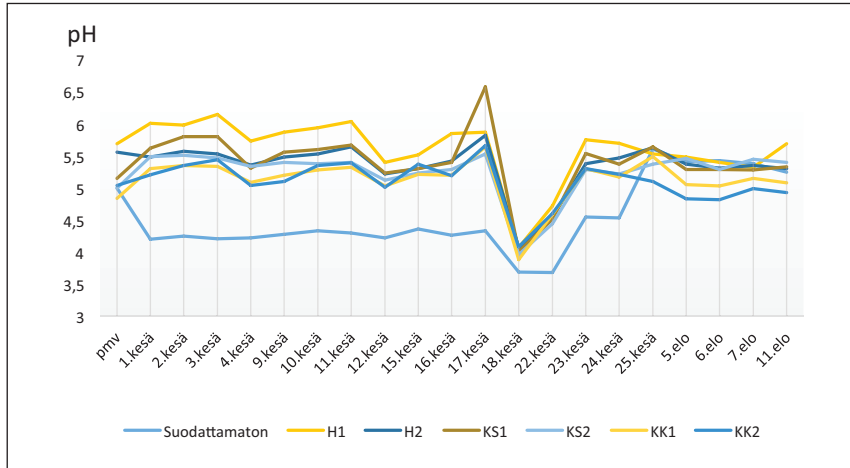


KUVA 2. Toisen koesarjan suodatinkolonnit (kuva Tuija Ranta-Korhonen)

Toisen koesarjan aikana päätettiin vielä jatkaa tutkimusta biohiilen, lehtipuu- hakkeen ja kevytsoran osalta. Uusina tutkittavina suodatinmateriaaleina kokeisiin otettiin mukaan tuhkarae ja rahkasammal. Materiaaleista analysoitiin kuiva-aine- ja tuhkapitoisuus ennen suodatuskokeiden aloittamista.

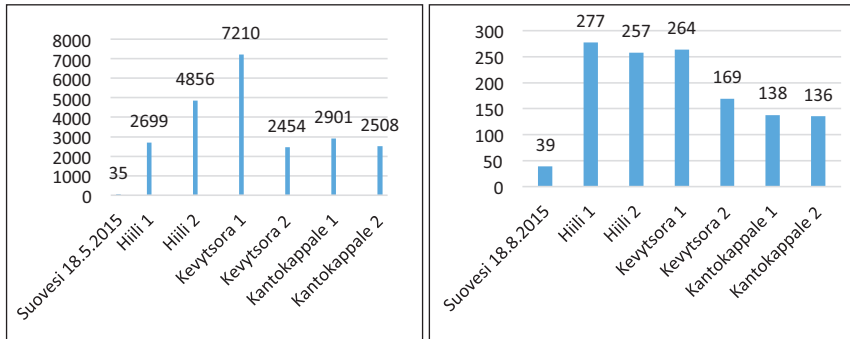
## Suodatuskokeiden tulokset

Ensimmäisen koesarjan aikana huomattiin, että sekä biohiilestä että etenkin lehtipuuhakkeesta irtoaa paljon ravinteita (etenkin fosforia) ja muita yhdisteitä suodatettavaan veteen. Kokeiden alkuvaiheessa suodatinmateriaalit toimivatkin puhdistamisen sijasta lähinnä päästölähteinä. Suodatinmateriaalien vaikutus veden laatuun voidaan nähdä esimerkiksi mitatuista pH-arvoista kuvassa 3.



KUVA 3. pH-arvon muuttuminen suodatinkokeiden edetessä

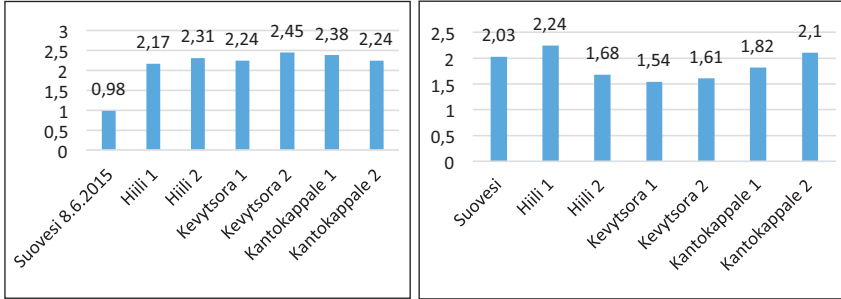
Kokeiden edetessä voitiin kuitenkin havaita, että materiaaleista irtoavien ravinteiden määrä väheni. Kuvasta 4 voidaan havaita kokonais-fosforipitoisuuksien muutos kokeiden edetessä.



KUVA 4. Suodatetun veden kokonaisfosforipitoisuudet (µg/l) 9.6. kuvassa vasemmalla ja 28.8. kuvassa oikealla. Kuvassa esitetty myös kokeissa käytetyn suoveden pitoisuus



Myös kokonaistypen osalta kehitystrendi oli samankaltainen, kuten voidaan havaita kuvasta 5. Jälkimmäisessä kuvaajassa esitettyjen tulosten perusteella voidaan havaita, että suodatinmateriaalit vaikuttivat sitovan tyyppä suodatetavasta vedestä.



KUVA 5. Suodatetun veden kokonaistypipitoisuudet (mg/l) 1.7. kuvassa vasemmalla ja 1.9. kuvassa oikealla. Kuvassa esitetty myös kokeissa käytetyn suoveden pitoisuus

Toinen laboratoriomittakaavan koesarja on vielä kesken. Tätä koesarjaa on tarkoitus jatkaa loppuvuoden 2015 ajan niin kauan kuin maastosta on vielä suovettä saatavilla.

### Koetoimintaa jatketaan edelleen

Laboratoriomittakaavan koetoimintaa ja suodatinmateriaalin toimivuuden testausta jatketaan VETU-hankkeessa myös vuonna 2016. Laboratoriomittakaavan koetoiminnalla pyritään löytämään kustannustehokas suodatusmateriaali pilot-mittakaavan kokeisiin. Lupaavia tuloksia on saatu kokeissa muun muassa biohiilellä.

# KÄYTÄNNÖN BIOSUODATIN- KOKKEET METSÄTALouden VESIEN- SUOJELUN TEHOSTAMISEKSI

*Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen*

Metsätalouden vesiensuojelun tehostaminen biosuotimilla -hankkeessa testataan erilaisten biosuodinmateriaalivaihtoehtojen soveltuvuutta metsäojitusalueiden sekä metsäbiomassan varastoalueiden valumavesien käsittelyyn sekä laboratorio- että pilot-mittakaavassa. VETU-hanke on kaksivuotinen (1.1.2015–31.12.2016) ja sitä toteuttaa Mikkelin ammattikorkeakoulu yhdessä Tapio Oy:n kanssa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta. Hankkeessa on mukana yrityseduc-tajana Mikkelissä sijaitseva RPK-Hiili Oy. Tässä artikkelissa kerrotaan VETU-hankkeen kunnostusojituskohteissa suoritettavista pilot-kokeista.

## **Metsätalouden vesistökuormitus**

Metsätalouden eri toimenpiteet aiheuttavat vesistökuormitusta erityisesti latvavesissä. Kuormitus voidaan jakaa ravinne-, kiintoaine, metalli- sekä happamuuskuormitukseen. Metsätalouden osuus ihmistoiminnan aiheuttamasta kuormituksesta on fosforin osalta noin 6 % ja typen osalta noin 5 %. Merkittävin yksittäinen metsätalouden vesistökuormitusta aiheuttava toimenpide on metsäojien kunnostus. Kunnostuksen myötä valumavesien mukana kulkeutuva kiintoaine ja siihen sitoutuneet ravinteet liettävät ja rehevöittävät vesistöjä. (Joensuu ym. 2013, 11–12.)

## **VETU-hankkeen pilot-mittakaavan kokeet**

VETU-hankkeessa biosuotimia testataan pilot-mittakaavassa käytännön metsätalouden vesiensuojelukohteissa. Hankkeen aikana perustetaan pilot-koh-teita sekä suometsien kunnostusojituskohteisiin että metsäbiomassan varasto-alueille. Biosuotimien vaikutuksia ympäristöön ja valumaojien veden laatuun seurataan ottamalla vesinäytteitä. Vesinäytteistä analysoidaan muun muassa kiintoaine-, happi-, typpi- ja fosforipitoisuus (kokonais/liukoinen) sekä lisäksi pH, sameus, sähkönjohtavuus ja lämpötila. Vesinäytteistä analysoidaan myös kokonaismetallit ennen biosuodinta ja pitoisuudet suodatinkäsittelyn jälkeen.

Lisäksi pilot-kokeiden aikana seurataan muun muassa tuotteiden kestävyyttä ja toimivuutta sekä teknisiä ominaisuuksia.

Hankkeen tuloksena saadaan tietoa biosuodinmateriaalien toimivuudesta kunnostusojituskohteissa sekä metsäbiomassan varastointialueelta. Pilot-kokeiden aikana tutkitaan myös biosuotimen suodatinmateriaalin kestävyyttä, käyttöikä, materiaalin kierrätettävyyttä sekä suodattimen vaatiman huollon tarvetta ja tiheyttä ja tarvittavan logistiikan järjestämistä. Kun testaus viedään käytännön kohteisiin, voidaan arvioida välittömästi toiminnan taloudellista kannattavuutta ja kustannustehokkuutta suhteessa normaaliin vesiensuojelurakentamiseen.

### **Pilot-kokeiden toteutus**

Hankkeen ensimmäiseksi maastokohteeksi valittiin Juvalla sijaitseva suomettä, jonka ojat kunnostettiin heinäkuussa 2015. Valitun kohteen valuma-alue on noin 5 hehtaaria ja puuston ikä noin 50 vuotta. Puusto on mäntyvaltaista. Kohteessa kasvaa tyypillistä suokasvillisuutta, kuten suopursua, tupasvillaa, karpaloa, lakkaa sekä rahkasammalta. Laskuojaan on ennen suodatinrakennelmia kaivettu laskeutusallas, jonka tarkoitus on hidastaa veden virtausnopeutta ja vähentää vedessä olevaa kiintoainetta. Kuvassa 1 on esitetty kohteen valuma-alue ennen kaivutöitä ja kyseiseen kohtaan kaivettu laskeutusallas.



**KUVA 1.** Kunnostusojituskohde ennen kaivutöitä ja niiden jälkeen (kuvat Tuija Ranta-Korhonen)

Ensimmäinen pilot-mittakaavan suodatin rakennettiin maastoon 10.8.2015. Hankkeessa suoritetuista laboratoriomittakaavan kokeista saatujen tulosten perusteella päätettiin rakentaa kaksivaiheinen suodatin. Ensimmäisen suodattimen materiaaliksi valittiin lehtipuuhake ja toisen suodatinmateriaaliksi biohiili. Tarkoitus on tutkia hakkeen kykyä toimia ns. esisuodattimena ja pidättää suurin osa vedessä vielä olevasta kiintoaineesta. Suodattimet asennettiin laskuojaan noin 5–6 metrin etäisyydelle toisistaan. Suodatinrakenteiden alle ja niiden väliin ojan pohjalle asetettiin viherrakentamisessa käytettävä suodatinkangas. Rakennetut suodattimet on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Hake- ja biohiilisuodattimet ensimmäisessä pilot-kohteessa (kuvat Hanne Soininen)

Hankkeen toisen pilot-kokeen sijainniksi valittiin kunnostusohjelmakohde, jossa kaivutyöt oli suoritettu keväällä 2015. Toiseen pilot-kohteeseen päätettiin rakentaa ainoastaan hiilisuodatin (kuva 3). Suodatin rakennettiin maastoon 7.10.2015. Myös tässä kohteessa suodatinrakenteen alle ja sen jälkeen laskuojan pohjalle asetettiin suodatinkangas. Toisin kuin ensimmäisessä pilot-kohteessa, ei tässä kohteessa ole ennen suodatinrakennelmaa laskeutusallasta. Onkin mielenkiintoista nähdä, kuinka tämä vaikuttaa suodattimen käyttöikänsä.



KUVA 3. Toisen pilot-kohteen hiilisuodatin (kuva Tuija Ranta-Korhonen)

### **Pilot-kohteiden monitorointi**

Maastoon rakennettujen suodattimien vaikutusta kunnostusohjelmakohteiden veden laatuun seurataan ottamalla vesinäytteitä. Näytteenotto pyritään ajoittamaan tapahtuvaksi sateen jälkeen. Sateen myötä valumaajissa lisääntyvät virtaamat nostavat kiintoaineen ja ravinteiden määrää ojavesissä. Vaikka syksy 2015 on ollut hyvin vähäsateinen, on näytteitä kuitenkin pyritty ottamaan parin viikon välein.

Näytteenottopisteet on valittu siten, että niistä otetuista näytteistä saataisiin mahdollisimman kattava kuva veden laadun vaihtelusta ja suodatinrakenteiden vaikutuksesta veden laatuun. Näytteenottopisteet on esitetty kuvassa 4. Kuvassa esitettyjen neljän näytteenottopisteen lisäksi näytteitä otetaan ennen ja jälkeen laskeutusaltaan.

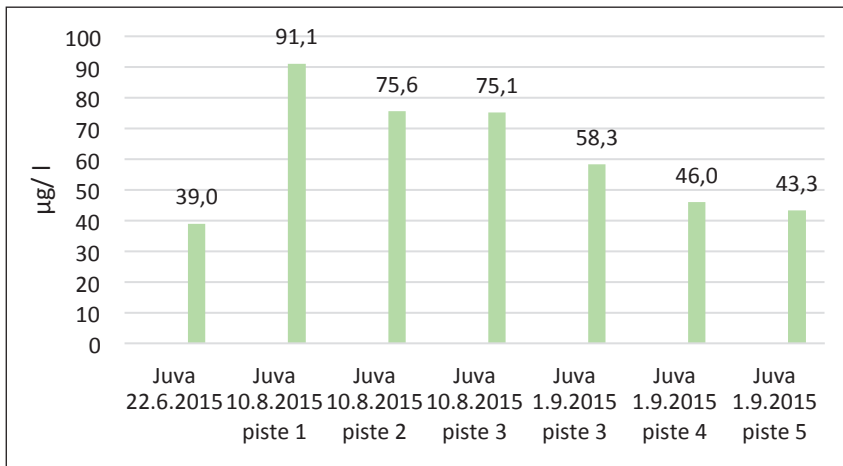


KUVA 4. Kartta näytteenottopisteistä (mukaillen Paikkatietoikkuna)

### Vesinäytteiden tulokset

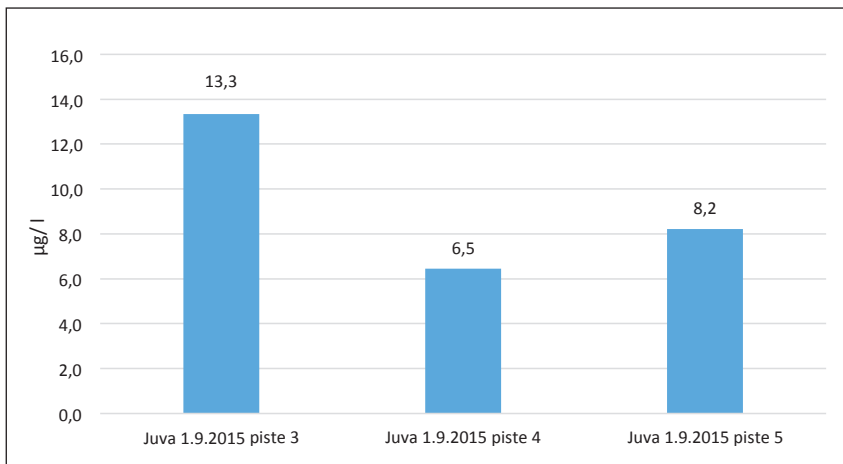
Tämän artikkelin kirjoitushetkellä maastokokeet ovat olleet käynnissä niin vähän aikaa, ettei otettujen vesinäytteiden analyysitulosten perusteella voida tehdä mitään pitemmälle meneviä johtopäätöksiä. Lisäksi suodatinmateriaalien adaptoitumiseen kuluu jonkin verran aikaa, samoin suodatinmateriaaleihin muodostuvan biofilmin kehittymiseen.

Syyskuun alussa otettujen vesinäytteiden analyysitulosten perusteella näyttäisi kuitenkin siltä, että suodatinrakennelma pystyy vähentämään esimerkiksi vedessä kiintoaineeseen sitoutuneena olevan kokonaisfosforin määrää jonkin verran. Toisaalta on huomioitava, että fosforipitoisuudet vedessä ovat olleet hyvin matalia. Tämä johtuu ennen kaikkea syksyn vähäsateisuudesta. Valumaajista otettujen vesinäytteiden analyysituloksia kokonaisfosforin osalta on tarkemmin esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Kokonaisfosforin (µg/l) pitoisuudet kunnostusojituskohteessa (kohde 1)

Ensimmäisten tulosten valossa näyttäisi myös siltä, että suodatinrakennelma pidättää myös liukoista fosforia. Liukoisen fosforin pitoisuudet ja suodatinrakennelman niihin aiheuttama muutos on esitetty kuvassa 6. Kuitenkin myös tässä on huomioitava se, että kaiken kaikkiaan pitoisuudet vedessä ovat hyvin matalia. Tämän lisäksi tulee huomioida se, että sekä näytteenotto että näytteiden analysointi aiheuttavat tuloksiin oman virhemarginaalinsa.



KUVA 6. Liukoisen fosforin (µg/l) pitoisuudet kunnostusojituskohteessa

Näytteenottoa on tarkoitus jatkaa syksyllä 2015 aina talven tuloon saakka. Pitkäaikaisen näytteenoton avulla saadaan selville suodatinrakennelmien vaikutus valumajojien veden laatuun. Suodatinrakennelmat jätetään talven ajaksi maastoon, jotta saadaan selville niiden talvenkestävyys sekä toimintakyvyn säilyminen jäätyneen jälkeen.

## LÄHTEET

Joensuu, Samuli; Kauppila, Maija, Lindén, Maria, Tenhola, Tommi (toim.)  
2013. Hyvän metsänhoidon suositukset. Vesiensuojelu-työopas. Metsäkus-  
tannus Oy. ISBN 978-952-6612-05-8.

Paikkatietoikkuna 2015. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi>.



# YKSITYISTIESTÖ METSÄTALOUDEN TUKIRANKANA

*Kati Kontinen*

Puuhuollon ja maatalouden kuljetusten kannalta rakenteellisesti hyväkuntoinen yksityistieverkosto on välttämätön, jolloin kelirikosta johtuvat kuljetusseisokit voidaan minimoida. Vakituinen asutus ja varsinkin maatalouden harjoittaminen tarvitsevat kulkuyhteydet, joita pitkin voidaan kulkea ympäri vuoden raskaillakin ajoneuvoilla. Etelä-Savon runsas loma-asutus ja palo- ja pelastustoimet vaativat myös toimivan tieverkoston.

## **Kattava tieverkosto**

Riittävän kattava ja hyväkuntoinen tiestö on elintärkeä Suomen metsäteollisuuden puuhuollolle, koska tehtaiden puuhuolto on suurimmilta osin suoraan metsistä autokuljetuksina tulevien puutoimitusten varassa. Jopa 99 % puusta on jossain vaiheessa puuauton kyydissä. Metsätieverkko on toimivan metsätalouden perusedellytys ja samalla tärkeä osa maaseudun palvelutieverkkoa. Metsätiet ovat tärkeässä roolissa, kun pyritään pitämään puunkorjuun ja -kuljetusten kustannukset kilpailukykyisinä (kuva 1). Tämän takia myös metsänomistajalle voidaan maksaa parempaa kantohintaa myymästään puusta. Metsätiet mahdollistavat metsien laajamittaisen virkistyskäytön.

Luonnontuotteiden keruu, metsästys, kalastus ja retkeily aiheuttavat henkilöautoliikennettä koko lumettoman kauden ajan. Taajamien lähistöllä ja teillä, joiden vaikutuspiirissä on myös vapaa-ajan asutusta, teiden käyttö voi olla hyvin vilkasta ja erityisesti tien pintarakennetta kuluttavaa. Käyttäjien odotukset tien ajettavuudelle ovat myös korkeammat kuin puunkuljetuksissa tai muissa metsätalouden kuljetuksissa. Metsäteiden käyttö erilaisissa pelastustehtävissä on määrällisesti vähäistä, mutta tarvittaessa usein ratkaisevan tärkeää. Tällaisia pelastustehtäviä ovat esimerkiksi metsäpalojen sammutus, myrskytuhojen aiheuttamien vaaratilanteiden hoito sekä metsässä liikkuvien henkilöiden pelastaminen sairauskohtauksen sattuessa sekä erilaiset etsinnät.



KUVA 1. Tyypillinen suomalainen metsätie (kuva Kati Kontinen)

### Hakkuumahdollisuudet

Markkinahakkuumäärät ovat vaihdelleet 2000-luvulla 40–50 milj. m<sup>3</sup>/v tuntumassa. Kansallisen metsäohjelman 2015 tavoitteet vahvistettiin vuoden 2008 alussa. Siinä kotimaisen ainespuun hakkuutavoitteeksi esitetään 65–70 milj. m<sup>3</sup>/v vuoteen 2015 mennessä. Lisäksi energiapuun - hakkuutähteen, kantojen ja pienpuun - käyttö on voimakkaassa kasvussa. Lämpö- ja voimalaitosten käytön tavoitteena on saavuttaa 8–12 miljoonan kuutiometrin käyttö vuonna 2015 (kuva 2). Kaksi kolmasosaa energiapuusta koostuu avohakkuulojen hakkuutähteestä ja kannoista.



KUVA 2. Haketusta (kuva Kati Kontinen)

Etelä-Savossa hakataan (kuva 3) vuosittain määrällisesti sekä kantarahatuloissa mitattuna Suomen suurimmat määrät puuta, noin 6 milj. m<sup>3</sup>. Vuosittaiset maakuntaan valuvat kantarahatulot liikkuvat 200 milj. € yläpuolella. Maakunnassa on vahva mekaaninen metsäteollisuus, joka käyttää noin puolet alueella hakatusta ainespuusta. Etelä-Savo on tärkeä raaka-aineen hankinta-alue Kaakkois-Suomen metsäteollisuuskeskittymälle, ja uusien ilmoitettujen investointien (Äänekoski 4 milj. m<sup>3</sup> havukuitua ja Varkaus 1 milj. m<sup>3</sup> havukuidun käytön lisääntyminen) puunhankinta-alue ulottuu Etelä-Savoon.



KUVA 3. Hakkuutyömaa (kuva Kati Kontinen)

### Tieverkosto Suomessa

Suomen tieverkko käsittää noin 454 000 km autolla ajettavia teitä. Yksityisteiden osuus on suuri, noin 350 000 km. Ne voidaan luokitella merkityksensä mukaan seuraavasti:

- vakinaisen asutuksen tiet 100 000 km
- varsinaiset metsätiet 130 000 km
- muut yksityistiet 120 000 km.

Metsäteiden rakentamisen huippuaikaa kesti 1960-luvun loppupuolelta 1990-luvun puoliväliin, jolloin vuosittain rakennettiin noin 3 000–4 500 km uusia metsäteitä. Sen jälkeen on alkanut teiden perusparantaminen, mikä on nyt saavuttanut noin 3 000 km vuotuisen määrän. Kansallisen metsäohjelman (KMO) 2015 tavoitteena on perusparantaa vuosittain 4 000 kilometriä

metsäteitä. Käytännössä lähes kaikilla yksityisteillä on myös metsätalouteen liittyvää liikennöintiä. Siten yksityisteiden kunto on ensiarvoisen tärkeää puunhankinnan raskaille kuljetuksille.

### **Perusparannustarvetta löytyy**

Kuormituksen kasvu ja lisääntyneet kelirikot edellyttävät yksityisteiltä yhä parempaa rakenteellista kuntoa ja kantavuutta. Yksityistiestön kunto on oleellisesti heikentynyt viimeisen 20 vuoden aikana. Kunnossapidon rahoitus on laskenut noin kolmannekseen sen siirryttyä valtiolta kunnille 1990-luvun laman jälkeen. Ely-keskusten mukaan valtionavustukset vuonna 2014 olivat 5 milj. €. Muutokset avustuspäämäärärahoissa ovat johtaneet siihen, että valtio ei enää osallistu yksityisten teiden kunnossapitoon.

Valtaosa tarvittavista metsäteistä on jo rakennettu, ja lisärakentaminen on pääosin nykyisen tieverkon täydentämistä lyhyillä pistoteillä. Tämä tarkoittaa, että Etelä-Suomessa keskimääräinen maastokuljetusmatka kannolta teille on keskimäärin vain 200 metriä. Painopiste metsäteiden rakentamisessa on siirtynyt perusparannuksiin rappeutuneen tiestön kunnon parantamiseksi. Rekkojen muuttuneet mitoituslisäykset lisäävät painetta tiestön ja erityisesti siltojen kunnostukseen. Autojen kokonaispainot ovat suurentuneet asteittain. Vuonna 1961 sallittu paino oli 30 tonnia, vuonna 1982 se oli 48 tonnia ja vuonna 1993 jo 60 tonnia. Tällä hetkellä puutavara-autojen kokonaispaino yhdeksänakselisilla voi olla 76 tonnia.

Metsätiestöä rakennetaan ja perusparannetaan pääasiallisesti valtion ja kuntien tuella. Vuotuisesta avustusten kokonaissummasta 90 % menee perusparantamiseen. Valtio ohjaakin resurssit metsäteiden kunnossapitoon myöntämällä perusparannushankkeen rahoitukseen prosentuaalisesti enemmän tukea kuin uuden tien rakentamiseen. Uuden tien rakentamisen kustannuksista voi yksityinen tienomistaja kattaa noin 30 % avustuksella. Perusparantamishankkeen kustannuksista avustukset kattavat 50–60 % riippuen tukialueesta, jossa tie sijaitsee. Tienomistajat voivat vähentää avustusten ulkopuoliset kustannukset metsäverotuksessa poistomenettelyä soveltaen. Metsäteistä ei myöskään ole käytettävissä koottua perustietoa tai tietokantaa kuntotietoineen, joiden perusteella parannustoimia voitaisiin kohdentaa ja priorisoida.

Metsäteiden perusparannuksen käynnistäminen on tämän hetkisen käytännön mukaan hidas ja työläs prosessi, koska tiekuntien tiedot eivät yleensä ole ajan tasalla tai/ne ovat puutteellisia ja koska tiekunnat eivät toimi aktiivisesti. Tämä on yksi syy siihen, miksi potentiaalisia parannuskohteita ei saada toteutettua tarvittavalla nopeudella. Tyypillisimmät metsätiestöllä tehtävät parannustoimenpiteet ovat vesakon poisto, kivien poisto tierungosta ja rungon muotoilu, kuivatuksen parantaminen eli sivu- ja laskuojien kaivu ja rumpujen uusinta tai korjaus sekä sorastus.

## Metsänomistajat yksityistiestön ylläpitäjinä

Metsänomistajakunta ikääntyy ja suurimmaksi omistajaryhmäksi ovat nousseet eläkeläiset. Metsänomistajakunnan ikääntyminen näkyy tutkimusten mukaan puunmyyntikäyttäytymisessä ja on haaste hakkuu- ja hoitotöiden täysimääräiselle hyödyntämiselle. Hakkuumäärien lisääntyessä sekä ajoneuvomassojen kasvaessa yksityisteiden oikeanlaiseen kunnossapitoon ja parantamiseen tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota. Maaseudun väestön ikääntymisen ja haja-asutusalueiden väestön vähenemisen seurauksena yksityisteiden hallinnosta ja kunnossapidosta kiinnostuneita asuu maaseudulla yhä vähemmän. Useilla tiekunnilla on vaikeuksia löytää aktiivisia toimijoita toimielimiin sekä teiden hoitoon. Toisaalta tiekuntien asioita hoidetaan hyvinkin leväperäisesti, koska ei ole tarkempaa tietoa yksityistieläistä, mikä johtaa erimielisyyksiin tieosakkaiden välillä. Kuntien ja valtion jatkuvasti niukenevat avustukset pystyvät korvaamaan vain osan yksityisteiden tienpidon kustannuksista. Tärkeää olisikin välittää tiekunnille asiantuntevaa opastusta tien hoidosta ja perusparantamisesta. Tätä varten Etelä-Savossakin toimii jo useampia tieisännöitsijöitä, joiden palveluja monet yksityistiekunnat käyttävät jo. Mikkelin ammattikorkeakoululla on suunnitteilla yksityisteiden hallintoon, kunnossapitoon ja perusparantamiseen liittyvä hanke, jossa tiedonvälityksen keinoin lisätään tietoutta tieasioissa.

# YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISTÄ PUUN KÄSITTELYÄ

*Kati Kontinen & Lauri Linkosalmi & Juho Peura*

Modifioinnilla tarkoitetaan puun ominaisuuksien muuttamista erilaisilla käsittelyillä. Menetelmiä ovat muun muassa puun lämpökäsittely, kemiallinen modifiointi ja puun kyllästäminen. Modifioinnilla yritetään parantaa puun ominaisuuksia, kuten sään- ja lahonkestoa.

Mikkelin ammattikorkeakoululla alkoi vuoden 2015 alussa Pumok-hankepari, jossa luodaan koevalmistus-, tutkimus- ja testausympäristö puun modifioinnille. Hankkeen tavoitteena on tukea yritysten mahdollisuuksia kehittää kuumilla luonnonöljyillä tai -vahoilla käsiteltyjä korkean jalostusasteen puutuotteita. Hankkeeseen osallistuu kuusi puualan yritystä: Hexion Oy, Karelia-Ikkuna Oy, Kurikka-Timber Oy, Lieksan Saha Oy, Stora Enso Wood Products Oy Ltd ja Tehomet Oy. Hanke toteutetaan Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahaston sekä hankkeeseen osallistuvien yritysten rahoituksella.

Tuloksina saadaan uutta tietoa ympäristöystävällisemmistä, puun pitkäikäiskestävyyttä parantavista modifiointimenetelmistä ja niiden vaikutuksesta puuhun, kuten sään- ja lahonkestoon. Hanke antaa myös mahdollisuudet keskittää puun modifiointimenetelmien soveltavaa tutkimusta Mikkelin seudulle.

## **Puu materiaalina**

Puuaines koostuu soluista, jotka sisältävät 40–50 prosenttia selluloosaa, 20–35 prosenttia hemiselluloosaa ja 15–35 prosenttia ligniiniä. Lisäksi soluissa voi olla uuteaineita (0–10 %). Materiaalina puuaines on epähomogeenistä; se on hygroskooppista ja luonnossa siihen on varastoituneena runsaasti vettä soluonteloihin ja soluseinämiin. Luonnossa havupuiden kosteus voi vaihdella noin 30–190 prosentin välillä, riippuen puun osasta ja vuoden ajasta. Kuitenkin puutuotteiden loppukosteus on yleensä alle 20 prosenttia, millä estetään puun vikoja (sieni, laho, sinistymä). (Kärkkäinen 2003.)

Kuivatessa puuta vapaa vesi poistuu ensin puun soluonteloista kapillaarisesti puun sisältä kohti ulkopintoja. Puun pinnasta vesi kulkeutuu pois ilmavirran mukana ja puun kuivuminen riippuu kuivausilman nopeudesta ja lämpötilasta, koska lämmin ilma kykenee sitomaan enemmän vettä itseensä. Vapaan veden poistuttua soluonteloista jää jäljelle soluseiniin sidottu vesi. Tätä kutsutaan puunsyiden kyllästymispisteeksi, missä puun kosteus on noin 30 prosenttia. Sidottu vesi poistuu puusta diffuusion vaikutuksesta. Veden haihtumisnopeus puun pinnalta ei saa olla liian nopeaa, vaan sen tulisi tapahtua samanaikaisesti puussa tapahtuvan veden siirtymisen kanssa. Liian nopea kuivuminen aiheuttaa erilaisia kuivausvirheitä puussa. Kuivatessa puu alkaa kutistua puun kosteuden laskiessa alle puun syiden kyllästymispisteen. Puun kutistuminen riippuu puulajista sekä puun eri suunnista. Suurinta kutistuminen on puun tangentinsuunnassa (5–12 prosenttia) ja pienintä puun pituus-suunnassa (0,1–0,3 prosenttia). (Sipi 2002, Kärkkäinen 2003.)

### **Puun modifiointimenetelmät**

Puu on monikäyttöinen materiaali ja sillä on hyviä ominaisuuksia, kuten hyvä paino-lujuussuhde sekä akustiset ja esteettiset ominaisuudet. Puu on kuitenkin orgaanista ainetta ja siksi altis säävaihteluille sekä biologisille tekijöille. Puu onkin aina kuivattava ja yleensä myös pintakäsiteltävä ennen sen lopullista käyttöä. Jo puun kuivamista voidaan pitää puun ominaisuuksien modifiointina, koska esimerkiksi sen lujuusominaisuudet muuttuvat kuivauksen aikana. Yleensä puuta modifoidaan, koska sen lahon- ja säänkestoa halutaan parantaa; samalla puun mittapysyvyys paranee. Käytössä on useita eri modifiointimenetelmiä, joita kaikkia yhdistää se, että niillä yritetään parantaa lopputuotteen ominaisuuksia. Modifioinnilla pyritään muokkaamaan puun kemiallista rakennetta niin, että puun solujen hydroksyyliiryhmät (OH-ryhmät) muuttuvat tai lukittuvat. (Hill 2006.) Seuraavaksi on esitely erilaisia puun modifiointimenetelmiä, joilla pyritään parantamaan puun säänkestoa.

### **Lämpökäsittely**

Lämpökäsittelystä voidaan puhua, kun puun fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia muutetaan yli 160 °C lämpötiloissa. Lämpökäsittely tehdään kammiassa, jossa puu on ympäröity jollain suojakaasulla (happi tai typpi) tai nesteellä (öljy). Käsittely tapahtuu 160–260 °C lämpötilassa samalla, kun suojakaasun happipitoisuutta vähennetään hallitusti. Prosessissa käytetään yleensä myös höyrytystä tai paineen säätöä. Lämpökäsittely aiheuttaa hemiselluloosan ja uuteaineiden hajoamisen, mikä aiheuttaa kemiallisia muutoksia puun solurakenteessa. Prosessin aikana puun komponentit hajoavat ja tilalle syntyy uusia yhdisteitä ja liitoksia. Nämä vaikuttavat lämpökäsittelyn puun ominaisuuksiin: puun kovuus kasvaa, mutta toisaalta lujuusominaisuudet laskevat, puun väri muuttuu ruskeaksi, massahäviö. Lämpökäsittelyssä tapahtuvien rajujen puuaineen muutoksien vuoksi siihen käytettävän sahatavaran

tulee olla hyvälaatuista. (Militz 2002, Lämpöpuuyhdistys 2004, Hill 2006, Navi & Sandberg 2012.) Öljylämpökäsittelyssä kuuma öljy impregnoidaan puuhun, jolloin öljy syrjäyttää puunsoluissa olevan ilman ja lämpökäsittelee puun. Menetelmässä voidaan käyttää rapsi-, pellavansiemen- tai auringonkukkaöljyjä. (Homan & Jorissen 2004.) Lämpöpuukäsittelyllä puusta tulee säänkestävämpää ja sen mittapysyvyys ja lämmöneristysominaisuudet paranevat (Militz 2002).

### **Kemiallinen modifiointi**

Kemiallisen modifioinnin tarkoituksena on parantaa puun mittapysyvyyttä, lahonkestoa ja jatkaa sahatavaran käyttöikä. Käsittelyllä pyritään muuttamaan puun kemiallista rakennetta. Myös kemiallinen käsittely vähentää puun mekaanisia ominaisuuksia, jotka johtuvat soluseinässä tapahtuvista muutoksista. Tämä tarkoittaa, että soluseinä ei enää kykene yhtä hyvin mukautumaan mekaanisiin muutoksiin. Esimerkkinä kemiallisesta modifioinnista voidaan pitää asetylointia, missä puu käsitellään etikka-anhydridillä ilman katalysoivaa ainetta. Modifioinnin aikana soluseinän hydroksyyli-ryhmiä muutetaan asetyyli-ryhmiksi, ja samalla myös soluseinä turpoaa jonkin verran lisäten soluseinän tilavuutta. Käsittely vaikuttaa ensisijaisesti puun tasapainokosteuteen, mikä vaikuttaa mittapysyvyyteen ja biologiseen vastustuskykyyn eli lahonsietokykyyn. Asetyloimalla modifioitu puu ei ole myrkyllistä, tosin prosessin aikana muodostuu etikkahappoa. Käsittely antaa samansuuntaisia tuloksia kuin lämpökäsittely, mutta ilman korkeita lämpötiloja. (Homan & Jorissen 2004, Hill 2006.)

### **Impregnointi eli kyllästäminen**

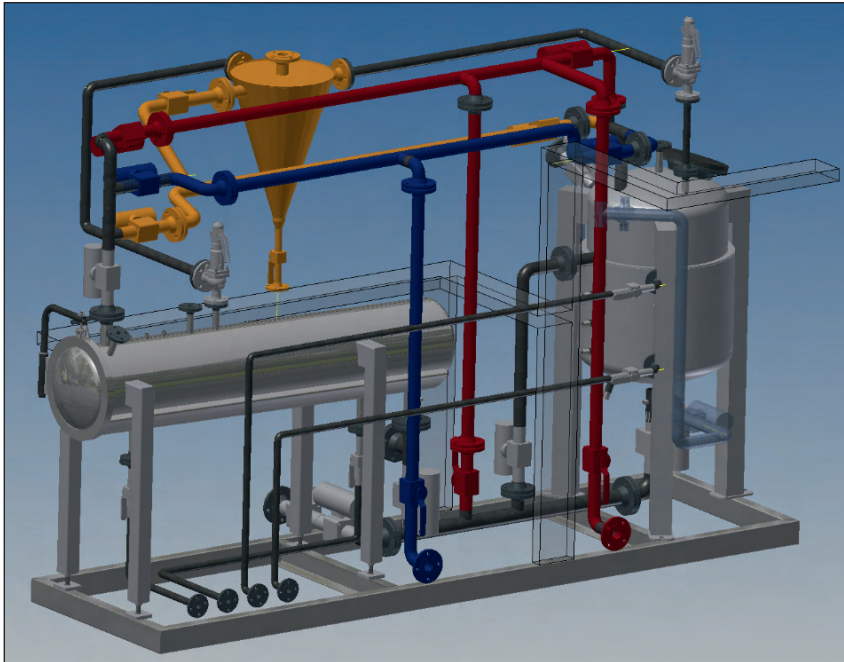
Impregnoinnilla tarkoitetaan puun solujen kyllästämistä kemikaalilla tai kemikaaliseoksella. Tarkoituksena on saada kemikaali ”lukittuun” tilaan solujen sisälle. Kyllästämisaineina voivat olla erilaiset hartsit (PF, MF, MMF tai UF), alkoholi (furfuraali), hapot, silikaatit tai silikoni. Kyllästysaineen tulee kuitenkin olla tarpeeksi pienessä muodossa, jotta se voi tunkeutua solurakenteen sisälle. Modifioinnin aikana solujen tulee olla turvonneessa tilassa, jotta kyllästysaine pääsee tunkeutumaan solujen sisään. (Hill 2006). Furfuolointia pidetään impregnointina, sillä sen aikana puuhun syntyy kemiallisia sidoksia ligniinin kaltaisten molekyylien ja furfuraalialkoholin välille. Prosessissa furfuraalialkoholia impregnoidaan puun solurakenteeseen veden avulla. Lämmön ja katalyytin avulla furfuraalialkoli polymerisoituu puuhun. Furfuraalialkoholia valmistetaan uuttamalla esimerkiksi maissia tai sokeriruokoa. Käsittelyssä käytetyn alkoholin määrä määrittää tuotteen ominaisuudet ja tummumisasteen. Furfuloinnilla saavutettavat muutokset ovat lahonkeston parantuminen, kovuuden lisääntyminen sekä mittapysyvyyden paraneminen. (Lande ym. 2004, Hill 2006, Laitinen 2008.)



## Pumok-hankkeen toimenpiteet

Mikkelin ammattikorkeakoululla alkoi vuoden 2015 alussa Pumok-hankepari. Tutkimushankkeen tavoitteena on luoda yritysten tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa tukeva koevalmistus-, tutkimus ja testausympäristö, jossa voidaan tehdä koevalmistusta ja testata nykyisten ympäristömääräysten mukaisia puun modifiointimenetelmiä. Kehitettävä ympäristö mahdollistaa puumodifioinnin nykyaikaista tutkimusta ja tuotekehitystä; tällainen tutkimus- ja kehittämisympäristö on puuttunut Pohjoismaista. Hanke on vahvasti yritysten tarpeisiin nojautuva ja siihen osallistuu kuusi puualan yritystä: Hexion Oy, Karelia-Ikkuna Oy, Kurikka-Timber Oy, Lieksan Saha Oy, Stora Enso Wood Products Oy Ltd ja Tehomet Oy.

Hankepari käynnistettiin vuoden 2015 alussa suunnittelemalla ja kilpailuttamalla modifiointilaitteisto (kuva 1). Laitteistolla pystytään tekemään öljy- ja vahakäsittelyitä, lämpökäsittelyitä sekä painekyllästystä puulle. Laitteiston toimittaa Kit-Sell Oy. Laitteen asennus tapahtuu vuoden 2015 lopussa ja puun modifioinnit päästään aloittamaan vuoden 2016 alussa.



KUVA 1. Puun modifiointilaitteisto (kuva Kit-Sell Oy)

Hankkeen toisessa vaiheessa on tavoitteena kehittää kuumilla luonnonöljyillä ja -vahoilla käsiteltyjä puutuotteita. Tarkoituksena on käsitellä puuta erilaisilla öljyillä ja vahoilla tai niiden seoksilla eri lämpötiloissa, sekä testata uusien tuotteiden ominaisuuksia. Tavoitteena on ympäristöystävällinen ja kustannustehokas menetelmä. Modifioinnin eri osa-alueiden ympäristövaikutukset todennetaan elinkaarilaskennalla, jolloin voidaan huomioida prosessien vaikutukset jo tuotekehityksen aikana. Päämääränä on parantaa modifioimalla kotimaisten puulajien säänkesto-ominaisuuksia niin, että tietyissä käyttökohdeissa ne voivat korvata trooppisia puulajeja, ympäristölle haitallisilla aineilla valmistettua puutavaraa sekä alumiinin ja muovipohjaisten tuotteiden käyttöä.

Tuloksina saadaan uutta tietoa ympäristöystävällisemmistä, puun pitkäaikaiskestävyyttä parantavista menetelmistä ja niiden vaikutuksesta puuhun, kuten sään- ja lahonkeston. Lisäksi hanke tuo tietoa eri käsittelyiden vaikutuksesta pintakäsittelyyn, liimaukseen ja puun materiaaliominaisuuksiin. Yrityksille ja tutkimusorganisaatioille tulokset tuovat mahdollisuuksia uusien tuotteiden, prosessien ja palveluiden kehittämiseen sekä niiden markkinointiin. Parhaassa tapauksessa yritykset voivat investoida uusien menetelmien käyttöön ja markkinointiin. Hanke antaa myös mahdollisuudet keskittää puun modifiointimenetelmien soveltavaa tutkimusta Mikkeliin. Hanke tukee maakunnalle merkittävimmän teollisuuden alan, puutuoteteollisuuden, tuotekehitystä.

## LÄHTEET

Hill, C.A.S. 2006. Wood Modification – Chemical, Thermal and Other Processes. Wiley Series in Renewable Resources. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, West Sussex. ISBN 0-470-02172-1.

Homan, W.J. & Jorissen, A.J.M. 2004. Wood modification developments. *Heron*, 29:4, sivut 361–386.

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Metsälehti Kustannus. Karisto. Hämeenlinna. ISBN 952-5118-51-7.

Laitinen, M. 2008. Puun modifointimenetelmät. Lahden ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö.

Lande, S., Westin, M., Schneider, M. 2004. Properties of Furfurylated Wood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19:5, sivut 22–30.

Lämpöpuuyhdistys 2004. ThermoWood® -käsikirja. Lämpöpuuyhdistys ry. [https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/914711200401161255\\_twkasikirja.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/914711200401161255_twkasikirja.pdf) Päivitetty 13.01.2004 Luettu 4.11.2015.

Militz, H. 2002. Heat Treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art. International Research Group on Wood Preservation, Documents No. IRG/WP 02-40241.

Navi, P. & Sandberg D. 2012. Thermo-hydro-mechanical Processing of Wood. Engineer Sciences. Materials. EPFL Press. Taylor and Francis Group. ISBN 978-1-4398-6042-7.

# KESTÄVÄ RAKENTAMINEN – PUUN MAHDOLLISUUDET

*Lauri Linkosalmi*

Rakentamisen kestävyysasiat ovat nousseet merkittäväksi teemaksi ohjaamaan uudis- ja korjausrakentamista. Erilaisia energia- ja ympäristöhokkuussäädöksiä on tullut kansallisella sekä Euroopan tasolla ohjaamaan rakentamista. Rakentamisessa otetaan enemmän huomioon koko elinkaaren aikaiset vaikutukset energia- ja materiaalitehokkuuteen. Kiristyvät energiatehokkuusmääräykset ohjaavat rakentamaan entistä energiatehokkaampia rakennuksia. Lähes nollaenergiarakentaminen astuu voimaan Euroopan alueella vuonna 2020. Tämä siirtääkin painon kohti rakennusmateriaalien energia- ja ympäristöhokkuutta, ja rakennusmateriaalien valinnalla onkin jatkossa entistä suurempi merkitys rakentamisen koko elinkaaren aikaisille vaikutuksille. Puumateriaali soveltuu hyvin tiukkeneviin määräyksiin, sillä se on uusiutuva luonnonvara, sen jalostaminen tuotteeksi vie muita rakennustuotteita vähemmän energiaa, ja tuotannossa käytettävä energia on pitkälti bioenergiaa. Lisäksi puutuotteet voidaan kierrättää käytön jälkeen uusiksi tuotteiksi tai energiaksi.

## **Kestävään rakentamiseen ohjaavat määräykset**

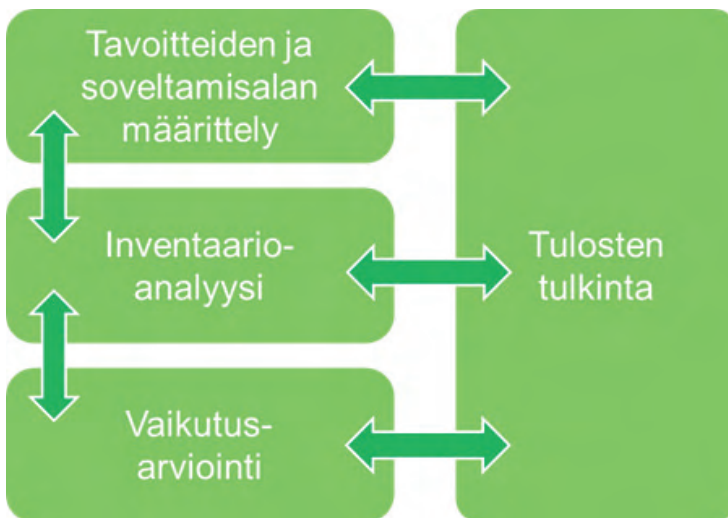
Euroopan unionin vuoden 2020 tavoitteiden tarkoituksena on hillitä ilmastomuutoksen etenemistä vähentämällä kasvihuonekaasuja 20 prosenttia, lisäämällä uusiutuvan energian osuutta energiantuotannossa 20 prosenttiin sekä lisätä energiatehokkuutta 20 prosentilla vuoden 1990 luvusta (EU 2008). Lisäksi tavoitteena on leikata 80–95 prosenttia kasvihuonekaasupäästöistä vuoteen 2050 mennessä (EU 2011a). Jokaiselle maalle on asetettu omat tavoitelukunsa riippuen lähtötilanteen tasosta. Pelkästään rakennettu ympäristö kuluttaa 40 prosenttia Euroopan vuotuisesta energiankulutuksesta, joten EU on laatinut direktiivin ohjaamaan rakentamista lähes nollaenergiatasolle (*near Zero Energy Building, nZEB*) vuoteen 2020 mennessä (Direktiivi 2010/31/EU 2010). Euroopan unionin poliittiset päätökset kasvihuonekaasupäästöihin ja energiankulutukseen liittyen merkitsevät energia- ja hiilitehokasta yhteiskuntaa. Siirryttäessä kohti nolla- tai lähes nollaenergiarakentamista, rakennustuotteiden merkitys kasvaa tarkasteltaessa rakennuksen elinkaarenaikaista energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi EU:n *Resurssitehokas Eurooppa* -suunnitelma määrittää ohjeita tuotteiden uudelleenkäyttö- ja kier-

rätyspotentiaalille (EU 2011b), mikä osaltaan ohjaa rakennustuotteiden valmistusta ja kierrätystä tulisi olla tulevaisuudessa.

Lisäksi eurooppalainen standardointijärjestö CEN on toteuttanut kestäväan rakentamiseen ohjaavan standardisarjan (CEN/TC 350 2012). Standardisarja huomioi rakennusten elinkaarenaikaiset vaikutukset ympäristöön sekä taloudellisiin ja sosiaalisiin näkökulmiin. Suomen hallituksen toimesta on laadittu kansallinen metsäalan strateginen ohjelma (TEM 2015). Ohjelman tarkoituksena oli uudistaa metsäalaa ja parantaa sen kilpailukykyä. Tämän strategian tarkoituksena oli myös osaltaan edistää puun kestävää käyttöä esimerkiksi uusissa tuotteissa ja puurakentamisessa. Tiukkenevien energia-, rakennus- ja ympäristömääräysten takia ympäristöasioiden huomioimisesta on tullut välttämätön osa rakennus- ja rakennustuoteteollisuutta. Muutokset politiikassa ja standardoinnissa ovat myös mahdollisuus suomalaiselle rakennusteollisuudelle, sillä ne tuottavat laadukkaita resurssi- ja ympäristötehokkaita materiaaleja ja palveluita.

### Elinkaariarviointi ja standardit

Tuotteiden, prosessien ja palveluiden vaikutuksia ympäristöön, talouteen tai sosiaalisiin oloihin voidaan tutkia elinkaariarvioinnin avulla (*life cycle assessment, LCA*). Elinkaariarviointi suoritetaan ISO 14040 (2006) ja 14044 (2006) -standardien mukaan. Elinkaariarvioinnin avulla kerätään tietoja esimerkiksi raaka-aineista, tuotteen valmistuksesta, kuljetuksista, käytöstä ja kierrätyksestä. Kuvan 1 mukaan ensimmäisenä vaiheena on arvioinnin tavoitteiden määrittely, toisena tarvittavan tiedon kerääminen, kolmantena vaikutusarvi-



KUVA 1. Elinkaariarvioinnin peruseriaate standardin ISO 14040 mukaan (Kuittinen & Linkosalmi 2015)



vat laatia omista tuotteistaan ympäristöselosteita. Ympäristöselosteita voidaan laatia kattamaan tietty osa tuotteen elinkaaresta (kuva 2) - normaalisti kehdoista portille tai kehdoista portille optioin. EN 15804 -standardin lisäksi eri tuoteryhmien arviointia tarkentamaan on laadittu tuoteryhmäsäännöt (*product category rules, PCR*). Puutuotteille tämä tuoteryhmäkohtainen standardi on EN 16485 (2014), joka määrittää puulle tyypillisten asioiden huomioimisen ympäristöselostetta valmisteltaessa.

## TAULUKKO 1. Ympäristöselosteessa ilmoitettavat indikaattorit (EN 15804 2012)

Vaikutusluokka	Indikaattori	Yksikkö
Ilmaston lämpeneminen	Kasvihuonekaasupäästöt (GWP)	kg CO <sub>2</sub> ekvivalentti
Otsonikato	Yläilmakehän otsonia tuhoavien aineiden päästöt (ODP)	kg CFC 11 ekvivalentti
Happamoituminen	Maaperää ja vesistöjä happamoittavat päästöt (AP)	kg SO <sub>2</sub> ekvivalentti
Rehevytyminen	Rehevytymistä aiheuttavat päästöt (EP)	kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup> ekvivalentti
Valokemiallisen otsonin muodostuminen	Valokemiallista otsonia alailmakehässä muodostavien aineiden päästöt (POCP)	kg eteeni ekvivalentti
Uusiutumattomien mineraalivarojen ehtyminen ( <i>elements</i> )	Uusiutumattomien mineraalivarojen ehtyminen (ADP-elements)	kg Sb ekvivalentti
Uusiutumattomien energiavarojen ehtyminen ( <i>fossil</i> )	Uusiutumattomien energiavarojen ehtyminen (ADP-fossil fuels)	MJ, alempi lämpöarvo
	Uusiutuvan primäärienergian kokonaiskäyttö (prosessienergian ja raaka-aineena käytetty primäärienergia)	MJ, alempi lämpöarvo
	Prosessienergianä käytetty uusiutumaton primäärienergia	MJ, alempi lämpöarvo
	Raaka-aineena käytetty uusiutumaton primäärienergia (energiasisältö)	MJ, alempi lämpöarvo
	Uusiutumattoman primäärienergian kokonaiskäyttö (prosessienergianä raaka-aineena käytetty primäärienergia)	MJ, alempi lämpöarvo
	Käytetyt kierrätysmateriaalit	kg
	Käytetyt uusiutuvat kierrätyspolttoaineet	MJ, alempi lämpöarvo
	Käytetyt uusiutumattomat kierrätyspolttoaineet	MJ, alempi lämpöarvo
	Veden kokonaiskäyttö	m <sup>3</sup>
	Vaarallinen jäte	kg
	Kaatopaikkajäte	kg
	Radioaktiivinen jäte	kg
	Komponentit uudelleenkäyttöön	kg
	Jäte materiaalikierrätykseen	kg
	Jäte energiasisällön hyödyntämiseen	kg
	Viety energia	MJ per energiamuoto

## Puumateriaali elinkaariarvioinnissa

Puumateriaali toimii hiilivarastona sitoen itseensä hiilidioksidia noin 1,8 kiloa yhtä puukiloa kohden. Hiilidioksidi on varastoitunut puuhun hiilen muodossa; noin 50 prosenttia puun painosta on hiiltä. Puu sitoo hiilen moneksi vuodeksi ensin kasvuaikana ja sitten tuotteena rakennuksissa, kuljetusvälineissä tai kalusteina. Tuotteen elinkaaren lopussa puu voidaan mahdollisesti kierrättää uudeksi tuotteeksi tai polttaa energiaksi, jolloin sitoutunut hiili vapautuu. Puun kestäväällä käytöllä voidaan edistää hiilen sitoutumista ilmakehästä metsiin ja puutuotteisiin.

Puu poikkeakin muista rakennusmateriaaleista ominaisuuksiensa suhteen. Puuta voidaan käyttää energianlähteenä joko suoraan metsästä tai siitä jalostetun tuotteen elinkaaren lopussa. Puun energiasisältö vaihtelee sen kosteuden mukaan: kuivatun puun alempi lämpöarvo on noin 18,3–20,0 MJ/kg, märällä puulla lämpöarvo on pienempi. Ympäristöselosteessa tuleekin ottaa huomioon nämä puupohjaisten rakennustuotteiden ominaisuudet.

Puuhun varastoitunutta hiiltä kutsutaan eloperäiseksi hiileksi (*biogenic carbon*). Eloperäisen hiilen ilmoittamisesta voidaan standardin EN 16485 (2014) pohjalta suositella seuraavaa menettelyä: eloperäinen hiili tulee ottaa mukaan ilmastonlämpenemispotentiaalin (*Global Warming Potential, GWP*) vaikutusluokkaan. Vaiheessa A1 hiilivarasto lasketaan mukaan negatiivisena ja vaiheessa C3 hiilivarasto poistuu tuotejärjestelmästä positiivisena (Kuva 2). Tämä tarkoittaa sitä, että balanssi tuotejärjestelmän sisällä on nolla. Mikäli puu päätyy energiantuotannon polttoaineeksi vaiheessa C, voidaan moduulisissa D ilmoittaa korvattavan fossiilisen polttoaineen päästöt negatiivisena lukuina osana ilmastonlämpenemispotentiaalia vastaamaan samaa energiasisältöä. Tämä tunnetaan substituutiovaikutuksena (*substitution effect*).

Standardi EN 16449 (2014) antaa ohjeet puun eloperäisen hiilisisällön laskemiseksi ja muuttamiseksi hiilidioksidiksi seuraavan kaavan avulla (kuva 3).

$$M_{CO_2} = \frac{3,67}{2} * \frac{\rho_{\omega} * V_{\omega}}{1 + \omega/100}$$

$M_{CO_2}$  = puuhun sitoutuneen hiilidioksidin massa (kg)

$\rho_{\omega}$  = puun tiheys,  $\omega$  kosteudessa (kg/m<sup>3</sup>)

$V_{\omega}$  = puun tilavuus,  $\omega$  kosteudessa (m<sup>3</sup>)

$\omega$  = puun kosteus (%)

KUVA 3. Laskentaohje puun eloperäisen hiilisisällön laskemiseen



Puupohjainen rakennusmateriaali voidaan hyödyntää bioenergiana käytön ja kierrätyksen jälkeen. Standardi EN 16485 (2014) ohjaa seuraavasti: jotta puu voidaan luokitella kierrätyspolttoaineeksi, tulee energiantuotantolaitoksen hyötysuhteen olla vähintään 60 prosenttia tai 31.12.2008 jälkeen käytönotetuilla laitoksilla 65 prosenttia. Laskettaessa puun energiasisältöä tulee huomioida puun kosteus, joka määrää kosteusprosentin ja puun lämpöarvon.

### **Rakennustason arviointi**

Joitakin koko rakennustason huomioivia elinkaaritarkasteluja on laadittu uusien standardien pohjalta. Takano ym. (2015) esittelevät puiselle kerrostalolle tehdyn arvioinnin, jossa luotettavan aineiston puuttuminen (tietolähteet) arviointiin suurimmaksi ongelmaksi. Joitakin uuden standardin mukaisia ympäristöselosteita on tehty, mutta ongelmana on, ettei kaikista tarvittavista materiaaleista tai tuotteista löydy selostetta. Tällöin pitää turvautua laskennassa yleisiin tietokantalähteisiin. Uusien standardien mukaan laaditun arvioinnin pitäisi helpottaa rakennustason tarkastelua, mutta käytännössä eri laajuiset vaihtoehdot ovat mahdollista ja tuloksia voidaan esittää eri tavoilla.

Tämä vaikeuttaa uusien standardien käyttöä ja rakennuksien ympäristötehokkuuden vertailua. Puutuotteiden osalta hankalaksi voi kokea biogeenisen hiilivaraston ja energiasisällön ilmoittamisen. Kuittinen & Linkosalmi (2015) esittävät käytössä olevia erilaisia raportointitapoja puutuotteiden erityisominaisuuksille; eri ympäristöselosteohjelmat käyttävät erilaisia raportointitapoja.

Kaiken kaikkiaan uusi *Kestävä rakentaminen* -standardisarja harmonisoi rakennus- ja tuotetason elinkaariarvioinnin ja tarjoaa hyvän pohjan eri materiaali- ja rakennustason raportoinnille. Tarkempaa ohjeistusta tietolähteiden ja raportoinnin osalta tulisi kuitenkin saada, jotta eri laskelmat ovat keskenään vertailtavissa.

## LÄHTEET

CEN/TC 350 2012. CEN/Technical Committee 350 Sustainability of Construction works. [http://portailgroupe.afnor.fr/public\\_espacenormalisation/CENTC350/index.html](http://portailgroupe.afnor.fr/public_espacenormalisation/CENTC350/index.html) Luettu 9.11.2015.

Direktiivi 2010/31/EU 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. 19.5.2010.

Euroopan komissio 2008. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle. Kaksi kertaa 20 vuonna 2020 Ilmastonmuutostoimet – mahdollisuus Euroopalle. KOM(2008) 30, 23.1.2008.

Euroopan komissio 2011a. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle. Etenemissuunnitelma – siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. KOM(2011) 112, 8.3.2011.

Euroopan komissio 2011b. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle. Etenemissuunnitelma kohti resurssitehokasta Eurooppaa. KOM(2011) 571, 20.9.2011.

EN 15804+A1 2014. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt.

EN 15978 2012. Kestävä rakentaminen. Rakennusten ympäristösuoritus-tason arviointi. Laskentamenetelmä.

EN 16449 2014. Wood and wood-based products. Calculation of the biogenic carbon content of wood and conversion to carbon dioxide.

EN 16485 2014. Pyöreä ja sahattu puutavara. Ympäristöselosteet. Tuoteryhmäsäännöt puulle ja puupohjaisille rakennustuotteille.

ISO 14040 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.

ISO 14044 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.

Kuittinen, Matti & Linkosalmi, Lauri 2015. Puupohjaisten rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laatiminen - Ohjeet tiedonkeruuseen, elinkaariarviointiin ja dokumentaatioon. Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSOVER. Aalto-yliopisto, Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu, Arkkitehtuurin laitos. ISBN 978-952-60-3703-5 (pdf).

Takano, Atsushi, Hafner, Annette, Linkosalmi, Lauri, Ott, Stephan, Hughes, Mark & Winter, Stefan 2015. Life cycle assessment of wood construction according to the normative standards. *European Journal of Wood and Wood Products* 73:299–312. DOI 10.1007/s00107-015-0890-4.

TEM 2015. Työ- ja elinkeinoministeriö. Metsästä kohti biotalouden edelläkävijyyttä - Metsäalan strategisen ohjelman (MSO) loppuraportti. [http://www.tem.fi/files/43541/TEMopas\\_16\\_2015\\_Metsasta\\_kohti\\_biotalousden\\_edellakavijyytta\\_25082015.pdf](http://www.tem.fi/files/43541/TEMopas_16_2015_Metsasta_kohti_biotalousden_edellakavijyytta_25082015.pdf) Luettu 9.11.2015.



ÄLYKKÄÄT MATERIAALIT JA  
ENERGIARATKAISUT

# DEMOLAB-OPPIMISYMPÄRISTÖN SUUNNITTELUA TALOTEK-HANKKEESSA

*Johanna Arola & Panu Jouhkimo & Mika Kuusela & Jukka Räisä*

Mamkissa käynnistyi vuoden 2015 alussa kaksivuotinen Talotek-hanke, jossa nykyinen ilmanvaihtolaboratorio päivitetään kokonaan. Hankkeen suurin kokonaisuus on laboratorion sisälle vuoden 2016 aikana rakennettava pien-talo, Demolab. Demolab on testaus- ja tutkimusalusta sekä talo-, sähkö- sekä ympäristötekniikan koulutusten oppimisympäristö, johon luodaan mahdollisuudet erilaisten taloteknisten laitteiden ja ratkaisuiden tutkimiselle, testaamiselle, kehittämiselle ja demonstroinnille.

TALOTEK-hankepari koostuu kehittämishankkeesta ”TALOTEK1 – Talotekniikan tutkimus- ja osaamisympäristöjen kehittäminen” ja investointihankkeesta ”TALOTEK2 – Energiatieteiden taloteknisten ratkaisujen kehittäminen”. TALOTEK-hankkeissa toteutetaan Mamkille talotekniikan uudet oppimis- ja tutkimusympäristöt sekä kehitetään kiinteistöjen energiatehokkuuteen liittyvää opetusta, TKI-toimintaa sekä yritysten ja tutkimus- ja koulutusorganisaatioiden yhteistyötä. Mamk toteuttaa hankkeet yhdessä Esedun kanssa. Hankkeita rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Marjatta ja Eino Kollin säätiö sekä Fläkt Woods Oy, Geberit Oy, Jeven Oy, Morehouse Oy, Pipe-Modul Oy, Rakennusliike U. Lipsanen Oy, Schneider Electric Buildings Finland Oy, Suomen Talotekniikka Oy sekä Wimacor Oy.

## **Talotekniikan opetus yli 40 vuotta**

Talotekniikkaa on opetettu Mikkelin ammattikorkeakoulussa yli 40 vuoden ajan ja koulutuksella on pitkät perinteet. Mamkissa opiskelee talotekniikkaa lähes 300 opiskelijaa, ja vuosittain valmistuu noin 60 AMK-insinööriä ja 10 YAMK-insinööriä. Talotekniikan opetuksessa on keskitytty opiskelijoiden vahvaan teoriaosaamiseen, mutta myös käytännön tekemistä on arvostettu korkealle. Tämän vuoksi LVI-laboratorioissa tehtävillä mittauksilla, havainnollistamisilla ja asennuksilla on ollut ja tulee olemaan suuri merkitys talotekniikan koulutuksessa.

## Suunnittelun lähtökohdat

Niin kuin monessa muussakin asiassa, myös oppimiseen, opetukseen ja tutkimukseen käytettävien ympäristöjen suunnittelussa tulisi nykyisten tarpeiden ja mahdollisuuksien oivaltamisen lisäksi pystyä ennakoimaan myös tulevaisuutta. Siksi haluttiin miettiä toteutusta kulloiseenkin tarpeeseen mukautuvasta testaus- ja havainnointiympäristöstä. Lisäksi lähtökohtana oli ympäristö, joka palvelisi niin opetuksen ja opiskelijoiden kuin TKI-toiminnan ja alueen yritystenkin tarpeita ja edistäisi näiden kahden kentän keskinäistä vuorovaikutusta ja yhteistyötä. Tällä ajatuksella ympäristöä lähdettiin suunnittelemaan siten, että hankkeessa rakennettaisiin monikäyttöinen ja havainnollinen ympäristö, infrastruktuuri, jossa alan toimijat voisivat koekäyttää, testata ja tutkia laitteitaan ja niihin liittyviä ominaisuuksia ja ilmiöitä.

Suunnittelu käynnistyi keväällä 2015 miettimällä, mitä toimintoja talossa tulee pystyä tekemään opetuksen sekä TKI-toiminnan näkökulmista. Mamkin talo-, sähkö- ja ympäristötekniikan sekä Esedun rakennus-, sähkö- ja LVI-koulutuksien opettajien kanssa selvitettiin opetuksen tarpeet liittyen toteutettaviin ympäristöihin. Lisäksi selvitettiin yritysten TKI-tarpeita järjestämällä hankkeen sidosryhmille tiedotustilaisuus ja ideointityöpaja. Työpajan tulokset hyödynnettiin Demolab-ympäristön suunnittelussa. Lisäksi tietoa hankittiin tutustumalla muiden alalla toimivien yritysten ja oppilaitosten TKI-toimintaan ja oppimis- ja tutkimusympäristöihin.

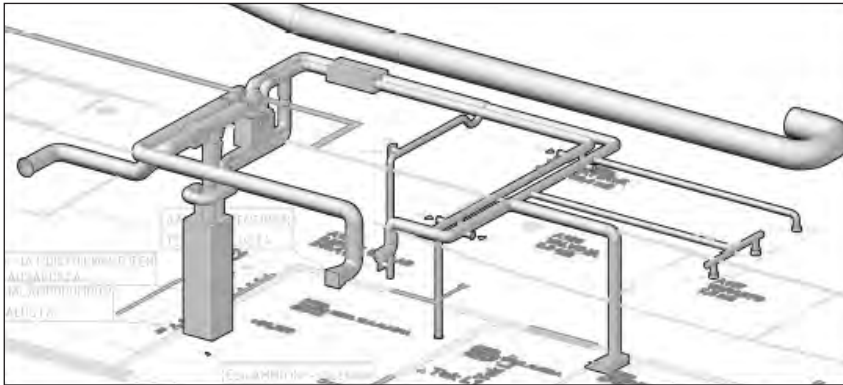
Demolabin lämmityksen ja jäähdytyksen tutkimisessa ja havainnollistamisessa tiedostettiin haasteet, jotka aiheutuvat siitä, että Demolab on talo talossa, eikä se varsinaisesti tarvitse ulkopuolista lämmitysenergiaa. Tämän vuoksi luotiin myös Demolab-taloon perustuva virtuaalimalli, joka mahdollistaa rakennuksen energiasimulointien tekemisen. Virtuaalimalli on esitetty kuvassa 1. Simulointien avulla voidaan selvittää erilaisten taloteknisten ratkaisujen vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Demolabissa haluttiin myös hyödyntää viereisen energialaboratorion jo olemassa olevat kiinteistöjen energiaratkaisuihin liittyvät oppimisympäristöt.



KUVA 1. Demolabin rinnalle toteutettu virtuaalitalo (kuva Heikki Kirjalainen)

Vaikka Demolabia ei tarvitsekaan lämpöeristää, haluttiin rakennusvaipasta ilmatiiveydeltyään sellainen, että ympäristössä on mahdollista suorittaa talon ilmanpitävyyden mittaus standardin SFS-EN 13829 mukaisella painekoemethodella sekä havainnoida höyrynsulun vuotokohdan aiheuttamia muutoksia.

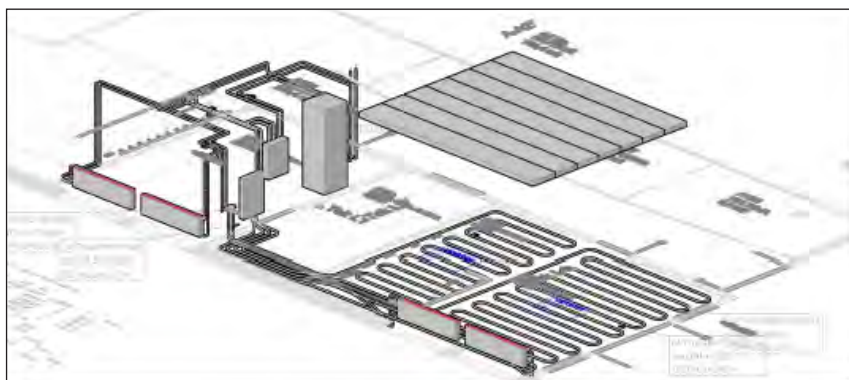
Ilmastointijärjestelmän osalta ympäristössä on mahdollisuus tutkia erilaisten ilmanvaihtokoneiden toimintaa, määrittää ominaissähkötehoa ja perehtyä ilmastointijärjestelmän tasapainotukseen. Demolab-ympäristöön suunniteltu ilmanvaihtojärjestelmä on esitetty kuvassa 2. Vesi- ja viemärijärjestelmän testausympäristössä on mahdollista tutkia talousvesijärjestelmän paineenalennusventtiilin toimintaa, suihkuveden lämmön talteenottoa sekä tutkia jäteveden aiheuttamaa melua ja meluun vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi voidaan tutkia vesijohtoverkoston paineen vaikutusta vesikalusteiden toimintaan.



**KUVA 2.** Luonnos Demolab-ympäristön ilmanvaihtojärjestelmästä (kuva Mika Kuusela)

Lämmön luovutukseen ja keräykseen, eli lämmitykseen ja jäädytykseen, on Demolabiin suunniteltu useita eri menetelmiä, lattiapiirit, kattoelementit, puhallinkonvektorit sekä radiaattorit. Demolab-ympäristöön suunniteltu lämmönjakoon ja jäädytykseen käytettävä järjestelmä on esitetty kuvassa 3. Huonetiloissa voidaan tutkia muun muassa lämpötilan kerrostumista, valaistuksen tarpeenmukaisuutta sekä havainnollistaa vedon tunnetta ja mitata sisäilman hiukkaspitoisuutta.

Monen muun yksityiskohdan ja laajemmankin kokonaisuuden lisäksi Demolabissa tutkitaan ja testataan rakennusautomaatiota. Rakennusautomaatiolla tulee pystyä ohjaamaan samanaikaisesti kaikkia taloteknisiä järjestelmiä siten, että alhaisella energiankulutuksella ja käyttökustannuksilla saadaan aikaan viihtyisiä ja terveellinen sisäympäristö.

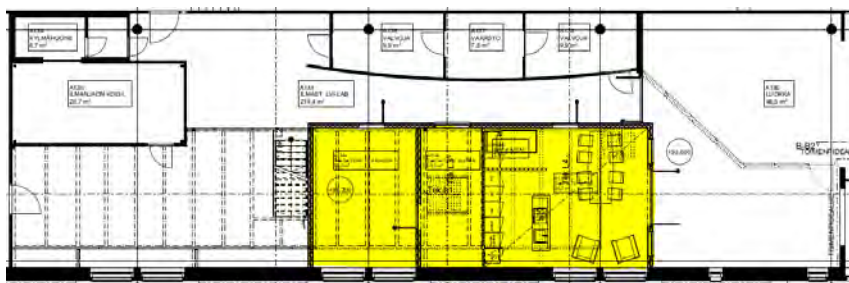


KUVA 3. Luonnos Demolab-ympäristön lämmönjakojärjestelmästä (kuva Mika Kuusela)

### Tarpeista ja toiveista suunnitelmakeksi

Demolabin suunnittelussa huomioon otettavista seikoista monet ovat keskenään ristiriidassa. Toisaalta on haluttu, että ympäristö olisi kuin mikä tahansa nykyaikainen asuintalo, ja toisaalta taloteknisten järjestelmien pitäisi olla ympäristössä esillä ja asennettuna siten, että niiden toimintaa voisi havainnoida ja että laitteet ja järjestelmät olisivat muokattavissa ja vaihdettavissa kohtuullisella vaivalla. Toisaalta tarvitaan reilusti huonekorkeutta, ja toisaalta on tärkeää, että talo olisi toteutettu kahdessa tasossa. Samalla on otettava huomioon sijoituspaikan, A-rakennuksen ilmanvaihtolaboratorion, asettamat rajoitteet. Näiden lähtökohtien pohjalta laadittiin suunnitelma, jossa olohuoneesta, keittiöstä ja alkovista muodostuva asuintila tehdään yhdeksi korkeaksi tilaksi ja kylpyhuone, mittaustila ja tekninen tila rakennetaan kahteen kerrokseen.

Talon kokonaispinta-ala on lähes 100 m<sup>2</sup>, josta alakerran pinta-ala, joka käsittää keittiön, olohuoneen, alkovin sekä tekniset tilat, on noin 68 m<sup>2</sup> ja yläkerroksen pinta-ala, joka käsittää kylpyhuoneen ja teknisen tilan toisen kerroksen, on noin 30 m<sup>2</sup>. Kuvassa 4 on nähtävissä, kuinka Demolab-ympäristö sijoittuu ilmanvaihtolaboratorioon.

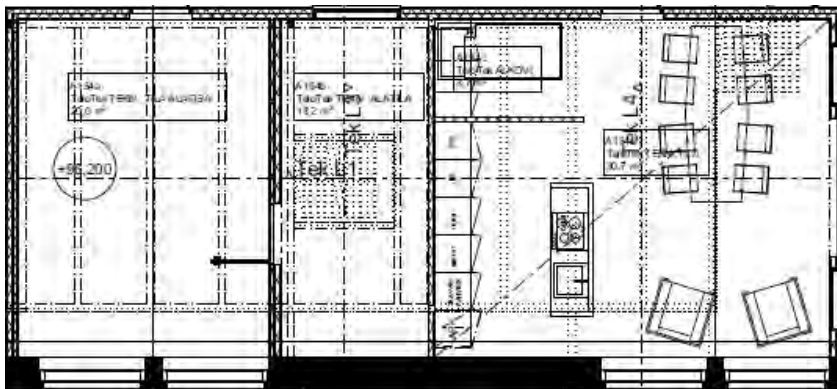


KUVA 4. Demolab-ympäristön sijoittuminen A-rakennuksen ilmanvaihtolaboratorioon (kuva Heikki Kirjalainen)



Asuutilasta tulee huonekorkeudeltaan normaalia huonekorkeutta korkeampi, noin 4 metriä. Korkeudesta ei ole haittaa, päinvastoin. Korkeassa tilassa on mahdollista saada tarkasteltavat ilmiöt, kuten lämpötilagradientti, selkeämmin havainnollistettua. Kuvassa 5 on esitetty Demolab-ympäristön alataso, jossa asuutila sijoittuu kuvan oikeaan reunaan. Asuutilasta viereiseen luokkatilaan aukeavat pariovet ja ikkunat mahdollistavat sekä tilan laajentamisen osaksi viereistä luokkaa että Demolabin havainnoinnin luokkatilasta käsin. Pariovet voivat kuvata myös oikean pientalon terassinovia. Asuutilasta aukeavat korkeat ikkunat ulos etelään, mikä mahdollistaa esimerkiksi auringon suoran säteilyn aiheuttamaan lämpökuorman liittyvät tarkastelut. Pääsisäänkäynti taloon on käytävän puolelta.

Tilaratkaisussa huomioitiin rakennuksen ilmanvaihdon sijoittuminen sekä riittävä tulo- ja poistoilmapisteen määrä ilmanvaihdon tasapainotuksen näkökulmasta. Keittiöön ja kylpyhuoneeseen sijoitetaan kumpaankin poistoilmapistee. Lisäksi yksi poistoilmapiste sijoitetaan isompaan tekniseen tilaan, jonka voidaan kuvitella vastaavan kahden hengen makuuhuonetta ja vaatehuonetilaa. Tuloilmaa tuodaan olohuoneeseen, makuualkoviin sekä kahden hengen huonetta mallintavaan isompaan tekniseen tilaan.

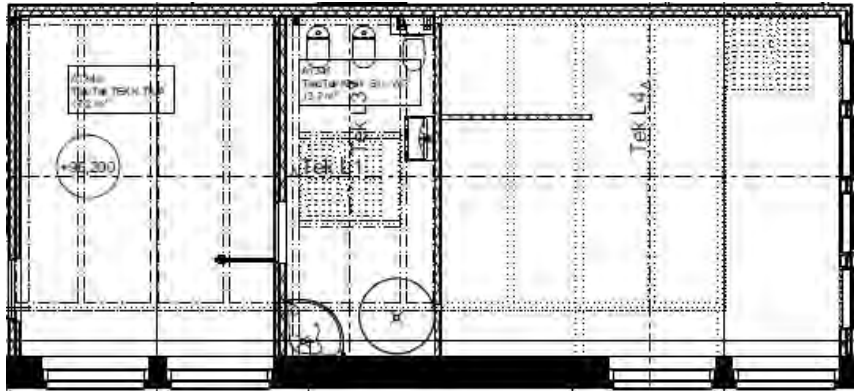


KUVA 5. Demolab-ympäristön alataso (kuva Heikki Kirjalainen)

Yläkerran kylpyhuoneeseen tulee suihku, pesuallas sekä useampi wc-istuin. Kylpyhuoneen alapuolelle rakennetaan mittaus- ja havainnointitila, jossa on mahdollista havainnollistaa vesi- ja viemäriputkien sijoittuminen kaksikerroksiseen tilaan. Kylpyhuoneen ja sen alapuolisen mittaustilan välinen välipohja toteutetaan puukerrostalon välipohjaa vastaavalla rakenteella. Mittaus- ja havainnointitilassa voidaan suorittaa viemärimeluun liittyviä mittauksia ja havainnollistuksia. Koska yläkertaan tulee useampi samalla tavalla kytketty wc-istuin, voidaan tilassa havainnollistaa wc-huuhtelun meluvaikutuksia erilaisia viemäreitä, kannakointeja, äänieristyksiä ynnä muita teknisiä ratkaisuu-

ja käyttäen. Tilaan on suunniteltu tulevan myös testausalusta viemärivereden lämmöntalteenoton tutkimiseksi. Testausalusta koostuu altaasta, jonka kautta voidaan laskea viemäriin haluttu määrä halutun lämpöistä vettä ja tutkia viemärivereden lämmöntalteenottoa erisuuruilla vesimäärillä. Kokonaisuus muodostaa vesi- ja viemärijärjestelmien tutkimusympäristön, joka on monipuolisesti hyödynnettävissä vesi- ja viemärijärjestelmien opetuksessa ja tutkimuksessa. Vesi- ja viemärijärjestelmien tutkimusympäristöön kuuluva kylpyhuone on esitetty kuvassa 6 talon keskellä.

Teknisen tilan osalta hyödynnetään olemassa oleva ritilätaso teknisen tilan välipohjana. Tämä säästää tilaa korkeussuunnassa sekä mahdollistaa kommunikoinnin tasojen välillä. Tilan toteuttaminen kahteen tasoon mahdollistaa useiden toimintojen mahdolluttamisen tekniseen tilaan riittävän väljästi siten, että laitteiden ja asennuksien yksityiskohdat ovat helposti tavoitettavissa ja näkyvillä. Tämä on tärkeää, koska teknistä tilaa käytetään tilassa olevien laitteiden havainnointiin ja demonstrointiin. Lisäksi laitteiston on oltava muunneltavissa aina kulloisenkin tutkimustarpeen mukaan ja tilavarausta mahdollisesti muuttuville asennuksille on hyvä olla.



KUVA 6. Demolab-ympäristön ylitaso (kuva Heikki Kirjalainen)

Artikkelin kirjoittamishetkellä lokakuussa 2015 odotamme Demolab-ympäristön rakennesuunnittelua valmistuvaksi. Tämän jälkeen, ympäristöön asennettavien laitteistojen ja järjestelmien täsmennyttyä, työn alla ovat LVI- ja sähkösuunnittelu jo tehtyjen luonnosten pohjalta. Tavoitteena on saada rakennustyöt alkamaan rungon perustamisella vuoden 2016 tammikuussa ja valmista tulisi olla vuoden loppuun mennessä.

# TALOTEKNIIKAN PROJEKTITOIMISTON TOINEN TOIMINTAKAUSI LIIKKEELLE MUUTOKSIEN MYÖTÄ

*Johanna Arola & Anna-Maija Ojapelto & Taru Potinkara*

Mikkelin ammattikorkeakoulun talotekniikan koulutus toteutti vuonna 2014 ensimmäisen kerran opintokokonaisuuden, jota kutsutaan Talotekniikan projektitoimistoksi. Projektitoimistossa opiskelijat työskentelevät työelämälähtöisten projektien parissa suorittaen samalla opintoihinsa kuuluvia pakollisia opintoja. Ensimmäisessä toteutuksessa vuonna 2014 kokonaisuus (11 op) koostui kolmesta opintojaksosta: Projektiosaaminen, Talous- ja tilastomatematiikka sekä Ammattietiiikka.

Talotekniikan projektitoimistolle asetettiin ensimmäisenä toimintavuonna tavoitteeksi tuottaa hyötyä alueen työelämäorganisaatioille, saada aikaan opiskelijoille ainutlaatuista osaamista ja toimivia työelämäverkostoja, kehittää tiimiopettajuutta ja tuottaa liki 500 TKI-opintopistettä. Toimeksiantajat antoivat loppupalautteessa kiitettäviä arvioita tehdyistä töistä. ”Projektisujuu suunnitellusti ja loppuraportti oli erittäin hyvä.” Asiakkaat myös kokivat saaneensa käytännön hyötyä oman toimintansa kehittämiseen: ”Taloyhtiö sai raportista hyvää tietoa ja käynnistelee parhaillaan toimenpiteitä, joita raportissa suositeltiin.”

Opiskelijoista ainakin yksi sai harjoittelupaikan siitä yrityksestä, jossa teki projektiansa. TKI-opintopisteitä kertyi projektitoimiston opiskelijoille yhteensä 484 op. Kolmen opettajan tiimi sai ainutlaatuista kokemusta yhdessä tekemisestä ja ison opiskelijajoukon projektien pyörittämisestä. Kehittämisideoita seuraavan vuoden toteutukseen syntyi pitkin matkaa runsaasti.

Opiskelijat pitivät siitä, että pääsivät työskentelemään oikeissa työelämän projekteissa. Omatoiminen työskentely koettiin sekä hyväksi tavaksi opetella työelämää että myös joidenkin kohdalla haastavaksi. Palautetta saatiin myös matematiikan osuudesta sekä runsaasta kirjallisten tehtävien tekemisestä. Palautteet otettiin huomioon, kun uutta toteutusta lähdettiin suunnittelemaan. Toisesta toteutuksesta muodostettiin laajempi kokonaisuus (16 op) ja mukaan otettiin Työorganisaatioiden toiminta ja johtaminen -opintojakso.

Ensimmäisessä toteutuksessa oli mukana seitsemän eri toimeksiantajan 14 projektia. Syksyn 2015 toteutuksessa projekteja on yhteensä 11 ja toimeksiantajia kuusi. Toimeksiantajissa on mukana isännöitsijätoimistoja, kuntia, talotekniikka-alan yrityksiä sekä Mikkelin ammattikorkeakoulu. Suurimpana erona ensimmäiseen toteutukseen verrattuna on se, että jokainen opiskelija hoitaa projektinsa lisäksi otona erilaisia projektitoimiston hallintotehtäviä. Oto-tehtäviä ovat muun muassa henkilöstöhallinto, taloushallinto, markkinointi ja myynti sekä viestintä.

## **Johdanto**

Mikkelin ammattikorkeakoulun talotekniikan koulutuksessa otettiin vuonna 2014 käyttöön uudenlainen tapa opiskella. Opiskelijat olivat aiemmin tehneet opintojensa yhteydessä työelämälähtöisiä projekteja, mutta nyt käytäntöä vietiin entistä syvemmälle. Opiskelijat työskentelivät syksyn 2014 ajan toimeksiantajayritysten projektien parissa. Projektien aiheina olivat mm. asunto-osakeyhtiön sisäilmasto-olosuhteet, ammattikeittiön ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, keilahallin jäähdytysjärjestelmän vaikutus sisäilmastoon sekä biokaasulaitoksen energiataseen tarkastelu. Seitsemälle mukana olleelle toimeksiantajalle toteutettiin yhteensä 14 projektia. Opiskelijat suorittivat kukin projektissaan 11 opintopistettä ja kokonaisuudessaan toiminta tuotti 484 TKI-pistettä.

## **Projektitoimistossa toteutetaan ongelmalähtöistä oppimista**

Projektitoimiston toiminta pohjautuu ongelmalähtöiseen oppimiseen. Opiskelijat työskentelevät projekteissa, joista alussa on pääsääntöisesti tiedossa vain toimeksiantaja, aihe ja projektin tavoite. Opiskelijat joutuvat perehtymään aiheeseen mm. tekemällä kirjallisuusselvityksen aihealueesta ja mahdollisesti myös rajaamaan projektia sellaiseksi, että se on mahdollista toteuttaa käytettävissä olevan ajan puitteissa. Heti alussa opiskelijat käyvät projektia läpi ohjaavan opettajan sekä toimeksiantajan kanssa. Ensimmäisessä palaverissa sovitaan, kuinka projektia lähdetään viemään eteenpäin.

Projektista laaditaan projektisuunnitelma, jossa tuodaan esille projektin aiheeseen liittyvä tausta ja teoriatieto aiheesta. Projektisuunnitelmassa määritetään myös ne toimenpiteet, joilla tavoitteeseen päästään. Projektisuunnitelma sisältää lisäksi mm. projektin laskennallisen budjetin, vaikka raha ei todellisuudessa liiku kumpaankaan suuntaan. Ohjaava opettaja hyväksyy projektisuunnitelman, ja tämän jälkeen projektiryhmä aloittaa työskentelyn projektin tavoitteen saavuttamiseksi. Tämä tarkoittaa esimerkiksi kohteeseen tutustumista, mittausjärjestelyiden suunnittelua ja mittauksen toteutusta (kuva 1), saatujen tulosten analysointia ja johtopäätösten tekemistä. Selvitysprojekteissa työ on pääsääntöisesti tiedonetsintää, ja erilaiset kirjaston tietokannat tulevat hyvinkin tutuiksi. Useat projektit sisältävät myös esimerkiksi takaisinmak-

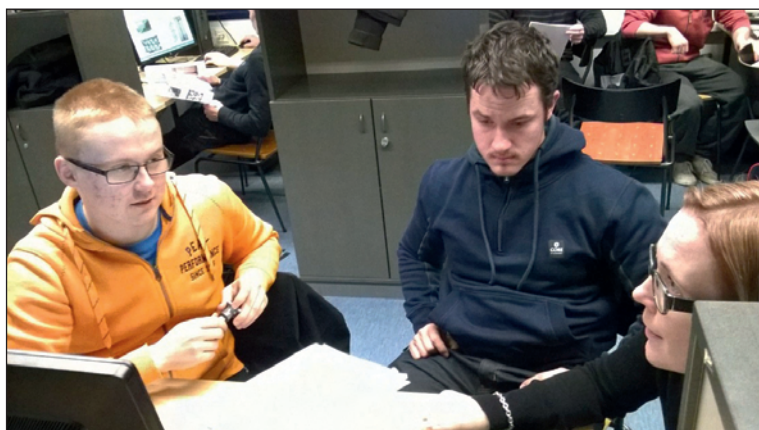
suaikojen laskentaa tai investointien kannattavuuden selvittämistä. Monet projektit vaativat myös yhteydenottoja alalla toimiviin yrityksiin, sillä usein teknisistä ratkaisuista täytyy hakea tietoa laitevalmistajilta tai muilta vastaavilta tahoilta.



KUVA 1. Vuoden 2014 projektiryhmän esitys mittausjärjestelyistä Xinnossa (kuva Ristomatti Lepola)

Projektityö on opiskelijoille todella itsenäistä ja poikkeaa siten aiemmin totutusta toimintatavasta, jossa suurin osa opetuksesta on tapahtunut luokkatilanteessa opettajan johdolla. Projekteissa opiskelijat vastaavat siitä, että projekti etenee suunnitelman mukaisesti ja valmistuu ajallaan. Opettaja on toki toiminnassa mukana ja käy opiskelijoiden kanssa säännöllisesti projektia läpi sekä ohjaa tarvittaessa oikeaan suuntaan. Opettajan rooli on enemmän ohjaava kuin opettava (kuva 2). Myös toimeksiantajat ovat projekteissa mukana ja hoitavat oman osuutensa ohjaustyöstä omien aikataulujensa puitteissa. Itsenäinen työskentely pakottaa opiskelijat hyödyntämään aiemmin opittuja taitoja sekä hakemaan aktiivisesti uutta tietoa. Tällainen työskentelytapa kannustaa myös yhteistyöhön, sillä samantyyllisissä projekteissa työtä voidaan hyvin jakaa myös projektiryhmien kesken ja kokemuksia ja tietoa on hyödyllistä jakaa.

Ensimmäisestä toteutuksesta saatiin hyvää palautetta juuri kuvatun kaltaisesta työskentelytavasta. Opiskelijat kokivat sen mielekkääksi ja hyväksi tavaksi oppia. Toki uudenlainen tapa oppia aiheutti myös hämmennystä ja välillä stressiäkin, kun kukaan ei ollutkaan jatkuvasti sanomassa, mitä seuraavaksi tehdään ja kuinka joku asia hoidetaan. Kokonaisuudessaan sanonta ”tekemällä oppii” tuli todistetuksi.



KUVA 2. Projektiryhmä neuvonpidossa Johanna Arolan kanssa, vasemmalla Valtteri Stenholm ja oikealla Lasse Huurinainen (kuva Taru Potinkara)

### Matikka osana projektia

Vuoden 2014 projektiin osallistuneet antoivat runsaasti korjausehdotuksia. Matematiikan osuus arvioitiin projektiin liittyvillä talous- ja tilastolaskelmilla sekä itsenäisillä tehtävillä. Iso osa opiskelijoista ei pitänyt siitä, että matematiikka oli liitetty projektityöhön (kuva 3). Näiden opiskelijoiden projekteihin sisältyi vain vähän tai ei ollenkaan talous- tai tilastoasioita. Heidän täytyi täydentää aihealueita ”kamalalla määrällä” tehtäviä, joista ”ei oppinut mitään”. Lähitunteja pidettiin opiskelijoiden mielestä liian vähän ja niihin osallistuminen oli vapaaehtoista. Ehdotus jatkoon oli ”viisi tuntia viikossa pakollista matematiikkaa ja koe”. Toisaalta ryhmät, joiden projektityössä oli paljon laskeamista ja tilastointia, olivat tyytyväisempiä, ja he pääsivätkin muiden mielestä ”liian helpolla” ja arviointi oli siksi ”epäreilua”.



KUVA 3. Simo Karhu ratkoo visaisia matematiikan ongelmia Anna-Maija Ojapellon avustuksella (kuva Taru Potinkara)

## Yhdessä tekemisen meininki

Projektitoimisto opetti opiskelijoita toimimaan osana ryhmää. Koska projektiryhmät koottiin kahdesta eri luokasta, pääsivät jotkut opiskelijat työskentelemään myös ennestään täysin tuntemattomien henkilöiden kanssa. Opettajan näkökulmasta oli kuitenkin hienoa huomata, että ryhmät muovautuivat hyvin nopeasti ja jokainen ryhmä löysi oman tapansa toimia. Projektipäälliköt veivät ryhmänsä projektia eteenpäin ja hoitivat tehtävänsä hienosti. Ryhmien yhteenkuuluvuuden tunnetta ja ns. ryhmähenkeä koeteltiin projekteissa eteen tulleissa haasteissa, mutta jokainen ryhmä selvisi niistä ja kaikki projektit vietiin kunnialla loppuun saakka.

Projektien tulokset esiteltiin toiminnan lopussa pidetyssä loppuseminaarissa, jossa kuulijoina oli opiskelijoiden lisäksi myös toimeksiantajien edustajia. Loppuseminaarin jälkeen opiskelijat pääsivät nauttimaan yhden toimeksiantajan tarjoamasta lounaasta, ja osa toimeksiantajista muisti ryhmän jäseniä muutenkin. Eräs opiskelija pääsi toimeksiantajayritykseen kesätöihin, sillä hän vakuutti projektin aikana yrityksen omalla toiminnallaan ryhmänsä projektipäällikkönä. Tällainen lopputulos on todella palkitsevaa ja osoittaa sen, että tällaisella toiminnalla voidaan tarjota opiskelijoille verkostoja työelämään.



KUVA 4. Projektitoimiston päättäjaisissä testattiin projektiryhmien yhteistyön sujuvuutta Vahtokarkki-kisassa (kuva Taru Potinkara)

Projektitoimiston päättäjäsissä nautittiin päättäjäiskahvit ja testattiin vielä ryhmien toimivuus ns. vaahtokarkkisassa, jossa tietystä määrästä spagettia, naria ja teippiä tuli rakentaa annetussa ajassa mahdollisimman korkea rakennelma, jonka huipulla vaahtokarkki pysyi (kuva 4). Tässä ryhmät pääsivät viimeisen kerran näyttämään yhteistyön toimivuuden. Lopuksi todettiin yhdessä, että jokainen projektitoimistoon osallistunut, sekä opiskelijat että opettajat, olivat montaa kokemusta rikkaampia ja kaikki saivat toiminnasta eväitä tulevaan.

## **Projektitoimisto vuonna 2015 – jokaiselle jotakin**

Vuoden 2015 toteutusta lähdettiin valmistelemaan kevään 2015 aikana. Ensin käytiin läpi ensimmäisestä toteutuksesta saatuja palautteita. Opiskelijoiden kirjoittamista oppimispäiväkirjoista löytyi todella hyviä kehittämisehdotuksia, jotka otettiin mahdollisuuksien mukaan huomioon. Toimintaa kehitettiin palautteiden pohjalta, ja kevään aikana syntyi näkemys siitä, millaisella kokonaisuudella toimintaa lähdettiin toteuttamaan. Suurimpana muutoksena mukaan otettiin Työelämäorganisaatioiden toiminta ja johtaminen -opintojakso, jonka opiskelijat toteuttavat hoitamalla erilaisia työorganisaatioiden ote-tehtäviä projektiansa lomassa. Kokonaisuuteen kuuluvat myös mm. asiantuntijaluennot.

Myös matematiikan osuuteen tehtiin muutoksia ottaen huomioon edellisen toteutuksen palautteet. Aikatauluun laitettiin 5 tuntia lähiopetusta viikossa, mutta ei pakollisena. Vapaaehtoisia matematiikan harrastajia on ollut kiitettävä määrä. Lähes kaikki ovat osallistuneet opetukseen. Luovuttiin myös palautettavista tehtävistä ja matematiikan osuus arvioidaan tentin ja projektiin liittyvien laskelmien perusteella. Tentti on aineistotentti ja projektiryhmä tekee sen yhdessä. Tentissä ryhmällä on kaikki opiskelumateriaali käytössään ja tietoa voi työskentelyn aikana hakea myös Internetistä. Ryhmä voi jakaa tehtäviä keskenään tai tehdä kaikki yhdessä. Tarkoitus on selvittää, miten ryhmä osaa käyttää ja jakaa tietoa, ei mitä osataan ulkoa.

Projektien osalta neuvottelut yritysten kanssa käynnistettiin kevään 2015 aikana. Ensin otettiin yhteyttä ensimmäisessä toteutuksessa mukana olleisiin yrityksiin, ja useista näistä löytyikin jälleen opiskelijaprojekteiksi soveltuvia tehtäviä. Myös uusia työelämän toimijoita saatiin hyvin mukaan. Opettajan näkökulmasta yritysten kanssa käytävät neuvottelut projekteista olivat hieman aiempaa vuotta helpompia, sillä yrityksille pystyi kertomaan esimerkkejä ensimmäisen vuoden toteutuksista ja toki toimintatapa oli monille jo ennestään tuttu. Projekteja tuli lopulta niin monta, että osa niistä jouduttiin jättämään pois. Myös projektien rajaaminen oli aikaisempaa helpompaa, sillä erilaisten projektien laajuus ja niissä tehtävä työmäärä oli helpompi arvioida ensimmäisen vuoden kokemusten perusteella.



Ensimmäisessä toteutuksessa opiskelijoiden antaman palautteen perusteella mielekkäimpiä projekteja olivat sellaiset, joissa oli mukana käytännön tekemistä, kuten esimerkiksi erilaiset mittausprojektit. Näitä pyrittiinkin ottamaan mukaan mahdollisimman paljon. Lisäksi mukaan otettiin muutama selvitystyyppinen projekti, sillä jokaisesta ryhmästä löytyy opiskelijoita, jotka kokevat tällaisen työn mielekkääksi.

Vuoden 2015 toteutuksessa on mukana 11 projektia kuudelta eri toimeksiantajalta. Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on esitetty vuoden 2015 projektit.

## TAULUKKO 1. Projektitoimiston syksyn 2015 toimeksiantajat ja projektit

Toimeksiantaja	Projekti
Mikkelin ammattikorkeakoulu/TALOTEK-hanke	Ilmanvaihtolaboratorion ilmanjoon testihuoneen kehittäminen
Mikkelin ammattikorkeakoulu/TALOTEK-hanke	Liikkuvan talotekniikan oppimis- ja tutkimusympäristön kehittäminen
Suomen Talotekniikka Oy	Hybridiratkaisujen hyödyntäminen energiantuotannossa
Taloasema Mikkel	As Oy Sompapossun sisäilmastomittaukset ja energiatehokkuus
Taloasema Mikkel	As Oy Porepolun sisäilmastomittaukset ja energiaselvitys
Ensavetec Oy	Jäteveden LTO
Reimgroup Oy	As Oy Sokkalanhovin sisäilmastaselvitys
Reimgroup Oy	Ritvalanrinteen kiinteistöjen patterien perussäädön tarpeen ja ikkunoiden ja ovien tiiveyden kartoitus
Järvi-Saimaan Palvelut Oy / Juvan kunta	Kiinteistöjen sisäilmastokartoitukset Juvan kunnan alueella
Järvi-Saimaan Palvelut Oy / Sulkavan kunta	Kiinteistöjen sisäilmastokartoitukset Sulkavan kunnan alueella
Järvi-Saimaan Palvelut Oy / Rantasalmen kunta	Kiinteistöjen sisäilmastokartoitukset Rantasalmen kunnan alueella

## Projektienhallintaa HanSalla

Projektienhallinnassa opiskelijat käyttävät Mamkin hankesalkkutyökalua eli HanSaa (kuva 5). Projektisuunnitelmat budjetiteineen viedään järjestelmään,

Projektin nimi	Vaihe	Rakennus	Painotte	Alueyks	Tilaus päivämäärä	Kuukaus	Budjetit e
Järvi-Saimaan Palvelut Oy/Sisäilmastovaihtokäyt Sulkavan kunnan	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Pyörä Juuso	Talotekniikan projekti	0 €
Järvi-Saimaan Palvelut Oy/Sisäilmastovaihtokäyt Juvan kunnassa	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Saranen Miia	Talotekniikan projekti	16 471 €
REINA Mikaeli Oy:n Ritvalanrinteen patteriverkoston perussäädön k	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Rantanen Samuel	Talotekniikan projekti	21 066 €
Talotekniikka	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Viitanen Juuso	Talotekniikan projekti	24 460 €
Järvi-Saimaan Palvelut Oy/Sisäilmastovaihtokäyt Rantasalmen kunnassa	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Heiskan Lasse	Talotekniikan projekti	32 833 €
Reimgroup Oy:n patteriverkoston perussäädönkartoitus	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Nali Sami	Talotekniikan projekti	7 446 €
STT hybridiennergianratk	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Anderson Christer	Talotekniikan projekti	6 300 €
Taloasema/As Oy Sompapossun sisäilmasto- ja energiaselvitys	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Hirvonen Peltu	Talotekniikan projekti	36 429 €
Taloasema/As Oy Porepolun sisäilmasto- ja energiaselvitys	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Järveläinen Panu	Talotekniikan projekti	41 554 €
Talotekniikka	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Lane Kerttu	Talotekniikan projekti	31 000 €
Ensavetec/LTO-aktivite	P2 Toteutus		Materiaalit ja ympäristö		Energia- ja ympäristöt: Hiltunen Tiina	Talotekniikan projekti	23 629 €
							241 193 €

KUVA 5. Talotekniikan projektitoimiston projektit näkyvät HanSassa

jota käytetään myös seurantatyökaluna. Tässä tulee opeteltua työtuntien kirjaamista, kustannusten seurantaa, raportointia yms.

### **Yhteistyötä ympäristötekniikan koulutuksen kanssa**

Jo ensimmäisen toteutuksen aikana heräsi ajatuksia siitä, että joidenkin projektien aiheet ovat hyvin lähellä ympäristötekniikan koulutusta ja projekteja voitaisiin siten toteuttaa monialaisina. Toisen toteutuksen suunnitteluvaiheessa tämä asia ratkesi vähän kuin itsestään, sillä yksi toimeksiantajista, Järvi-Saimaan Palvelut Oy, toivoi, että heidän projekteissaan toteutettaisiin myös mikrobinäytteidenottoa. Toimeksiantajan esittämään toiveeseen voitiin vastata, kun näihin projekteihin otettiin mukaan joukko ympäristötekniikan opiskelijoita. Talotekniikan ja ympäristötekniikan opiskelijat toimivat siten samoissa projekteissa ja vastaavat omista osaamisalueistaan. Tästä on etua toimeksiantajalle, mutta myös opiskelijat oppivat toisen insinöörikoulutuksen asioita ja osaavat siten ottaa nämä myöhemmin huomioon myös siirtyessään työelämään. Yhteistyö toisen koulutuksen kanssa ei toki ole aivan ongelmatonta, sillä esimerkiksi aikataulujen sopiminen on välillä haastavaa erilaisten lukujärjestysaikataulujen vuoksi.

### **Miten tästä eteenpäin?**

Tätä tekstiä kirjoitettaessa syksyn projektien toteutus on parhaillaan täydessä vauhdissa (kuva 6). Mittausprojekteissa suunnitellaan mittauksia, ja loppuvuoden aikana tullaan toteuttamaan lukuisia erilaisia mittauksia useissa kohdekohteissa. Mittaustuloksia ja kyselyitä puretaan ja muokataan esityskuntoon tilastomatematiikan tunneilla. Talousmatematiikan osaamista testattiin jo ennen syyslomaa. Ryhmätentti oli kaikille uusi asia ja se herätti etukäteen hieman hämmennystä. Tentin jälkeen mielipiteet ryhmässä tekemisestä olivat pääosin myönteisiä:

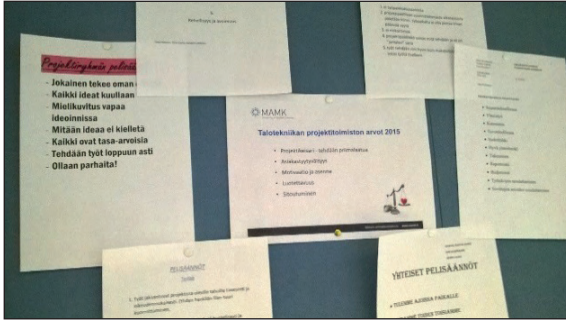
”ei jännittänyt niin paljon, koska tiesi, että voi kysyä toisilta, jos ei osaa”

”oli mukava tehdä porukalla ja vaihtaa mielipiteitä ratkaisuihin”

”erimielisyyttä oli, mutta saatiin soviteltua – ei tullut käsirysyä”

Ryhmät työskentelivät rauhallisesti ja keskittyneesti. Tietoa osattiin käyttää ja asioista sopia. Juuri näitä taitoja tarvitaan työelämässä ja niihin projektityöskentely valmentaa.

Myös hallintotehtävien suunnitelmat ovat toteutusvaiheessa, ja ryhmät toteuttavat mm. erilaisia henkilöstökoulutuksia, pohtivat mahdollista työkykytoimintaa, käyvät läpi projektitoimiston taloutta ja laativat raportteja työajan käytöstä. Työtä riittää siis runsaasti – myös niitä kirjallisia tehtäviä, vaikka ne eivät kaikille niin mieluisia olekaan. Toiminta on intensiivistä ja paljon aikaa vievää myös opettajan näkökulmasta. On ohjausta, tehtävien kommentointia ja palavereja sekä opiskelijoiden että toimeksiantajien kanssa.



KUVA 6. Perinteistä viestintää ilmoitustaululla (kuva Taru Potinkara)

Erilaisten sisäisen viestinnän menettelyjen käytön lisäksi mietitään, kuinka toiminnasta voisi parhaiten viestiä ulospäin. Artikkeleiden vai blogin avulla? Vai pitäisikö viestintä hoitaa vaikkapa avoimen Facebook-profiilin kautta (kuva 7). Toiminta siis kehittyi jo tämän syksyn aikana, ja seuraavaan toteutukseen onkin jo muutama idea kehitteillä. Myös yksi opiskelijaryhmä tekee ototyönään talotekniikan projektitoimiston strategiaa vuodelle 2020. Senkin avulla syntyy todennäköisesti uusia ajatuksia projektitoimiston tulevaisuudesta.



KUVA 7. Sisäistä viestintää Facebookissa

# TALOTEKNIIKAN KOULUTUKSELLE VALMISTUMASSA ILMANVAIHDON JA SISÄILMASTON TESTAUS- JA TUOTEKEHITYSYMPÄRISTÖ

*Johanna Arola & Panu Jouhkimo & Jarkko Kolehmainen & Heikki Salomaa*

Mikkelin ammattikorkeakoulun talotekniikan ilmanvaihtolaboratorion tilat ovat kokeneet suuria muutoksia vuoden 2015 aikana. Laboratorion muutokset ovat osa Mikkelin ammattikorkeakoulun hallinnoimaa Talotek-hankeparia, joka koostuu TALOTEK1 – Talotekniikan tutkimus- ja osaamisympäristöjen kehittäminen ja TALOTEK2 – Energiatehokkaiden taloteknisten ratkaisujen kehittäminen -hankkeista. Mamk toteuttaa hankkeet yhdessä Esedun kanssa. Hankkeita rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Marjatta ja Eino Kollin säätiö, alalla toimivat yritykset, sekä Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Hankkeen yhtenä tavoitteena on luoda ilmanvaihtolaboratorioon ilmanvaihdon ja sisäilmaston testaus- ja tuotekehitysympäristö – Testlab. Kokonaisuus tulee toimimaan sekä talotekniikan koulutuksen oppimisympäristönä että palvelemaan myös TKI-toimintaa sekä alalla toimivia yrityksiä. Ympäristö mahdollistaa ilmanvaihtoon ja sisäympäristöön liittyvän tutkimuksen, kehittämisen ja testaamisen. Ympäristössä voidaan myös demonstroida ilmanvaihtoon ja sisäilmastoon liittyviä ilmiöitä.

Testlab-kokonaisuuden suunnitteluun osallistuvat hankkeessa työskentelevät sekä hankkeeseen osallistuvat yritykset, talotekniikan koulutuksen opettajat että myös talotekniikan ja sähkötekniikan opiskelijat. Tilan rakentamiseen osallistuu Etelä-Savon ammattiopiston Esedun opiskelijat opettajiensa johdolla, joten näkökulmia tilan erilaisiin toimintoihin saadaan siten lukuisilta tahoilta.

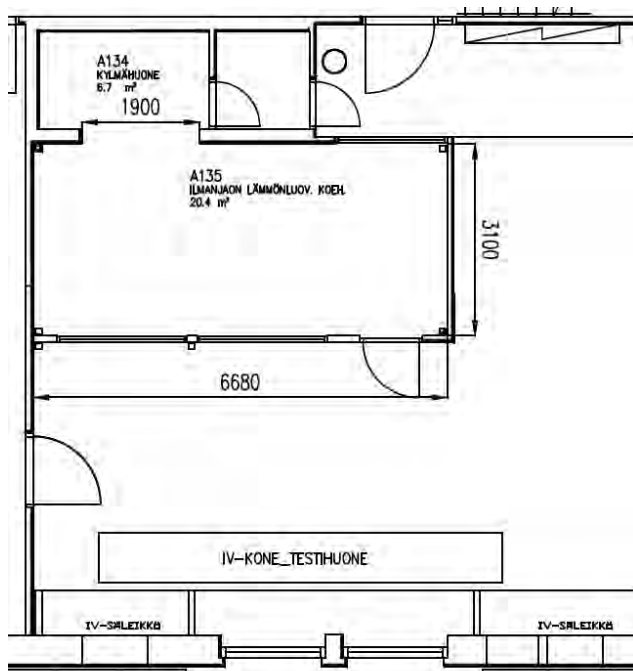
## **Johdanto**

Mikkelin ammattikorkeakoulussa käynnistyi vuoden 2015 alussa Talotek-hanke, jonka aikana talotekniikan koulutuksen laboratoriot kokevat suuria

muutoksia. Yksi muutoksen kohteista on ilmanvaihtolaboratorio, johon rakentuu ilmanvaihdon ja sisäilmaston testaus- ja tuotekehitysympäristö, Testlab. Lähtökohtana on, että ympäristö toimii tulevaisuudessa talotekniikan koulutuksen oppimisympäristönä, jossa voidaan havainnoida, testata ja tutkia erilaisia ilmanvaihtoon liittyviä ilmiöitä. Tila mahdollistaa myös erilaisten sisäympäristöön liittyvien tekijöiden simuloimisen. Oppimisympäristön lisäksi tila palvelee myös talotekniikan TKI-toimintaa, sillä tila mahdollistaa ilmanvaihtoon ja sisäilmastoon liittyvän tutkimus- ja kehitystyön. TKI-toiminnan kautta tila hyödyttää myös alan yrityksiä, jotka voivat tehdä mm. omaa tutkimus- ja tuotekehitystyötään tilassa.

## Tarpeista suunnitteluun

Testlabin suunnittelu alkoi alkuvuodesta 2015. Kokonaisuuden suunnittelu lähti liikkeelle eri tahojen tarpeiden selvittämisestä. Alusta lähtien oli tiedossa, että kokonaisuudessa on tarkoitus uusia vanha, 90-luvulla käyttöön otettu, opetuksessa käytetty ilmanvaihtokone, joten tarpeiden kartoitus koski osaltaan uuden ilmanvaihtokoneen ominaisuuksia. Toisaalta oli myös tiedossa, että Testlab-kokonaisuuteen voidaan ottaa käyttöön olemassa oleva, noin 20 m<sup>2</sup>:n suuruinen, korkeudeltaan säädettävissä oleva huonetila sekä kyseisen tilan vieressä oleva, noin 6,5 m<sup>2</sup>:n kokoinen toimiva kylmiö, joten myös tilojen tuomia mahdollisuuksia ja tiloilta vaadittavia ominaisuuksia kartoitettiin. Kuvassa 1 on esitetty Testlab-kokonaisuuden käytettävissä oleva laboratoriotila.



KUVA 1. Testlab-kokonaisuuden käytettävissä oleva tila (kuva Heikki Kirjalainen)

Koska kokonaisuus toimii tulevaisuudessa talotekniikan koulutuksen oppimisympäristönä, suunnittelun lähtökohtana oli, että Testlabissa voidaan sekä havainnollistaa erilaisia ilmanvaihtoon ja sisäilmastoon liittyviä ilmiöitä että tehdä näihin liittyviä mittauksia. Suunnittelun alkuvaiheessa käytiin keskusteluja myös hankkeeseen osallistuvien, alalla toimivien yritysten kanssa ja kartoitettiin, millaisia tarpeita yrityksillä olisi tämän kaltaisen kokonaisuuden suhteen.

Selvityksessä tuli esille useita erilaisia tarpeita sekä opetuksen että TKI-toiminnan näkökulmasta. Ilmanvaihtokoneelle asetettiin mm. lämmitys-, jäähdytys- ja kostutusprosessiin, ilmavirtojen sekoitukseen ja lämmöntalteenoton toimintaan liittyviä vaatimuksia. Testlab-kokonaisuuteen kuuluvan huonetilan taas odotettiin olevan soveltuva erilaisten sisäilmastoon liittyvien tekijöiden demonstroimiseen, tutkimiseen ja kehittämiseen. Tällaisia tekijöitä ovat mm. erilaiset ilmanjakotavat ja veto sekä esimerkiksi lämpötilan, kosteuden ja hiili-dioksidipitoisuuden vaikutus ilmanvaihdon toimintaan. Myös huonetilan ilmanvaihtuvuudelle, ilmavirtojen mittaustarkkuuksille sekä huonekorkeuden säädettävyydelle esitettiin toiveita. Kylmiötila nähtiin mahdollisuutena seinän lämpö- ja mahdollisesti myös kosteuskäyttätymisen tutkimiseen ja demonstrointiin.

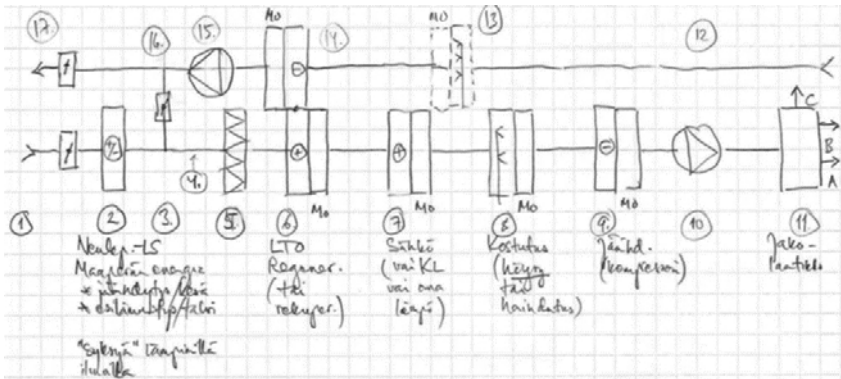
Kevään 2015 aikana ensimmäinen konkreettinen työ suunnittelutyön ohella oli vanhojen tilojen ja laitteistojen purkaminen (kuva 2), jotta uudelle ilmanvaihtokoneelle ja testihuoneelle varatut tilat saatiin tyhjiksi. Purkamistyöstä vastasivat Etelä-Savon ammattiopisto Esedun opiskelijat opettajiensa johdolla.



**KUVA 2.** Vanhat laboratoriolaitteistot ja tilat odottavat purkamista (kuvat Johanna Arola)

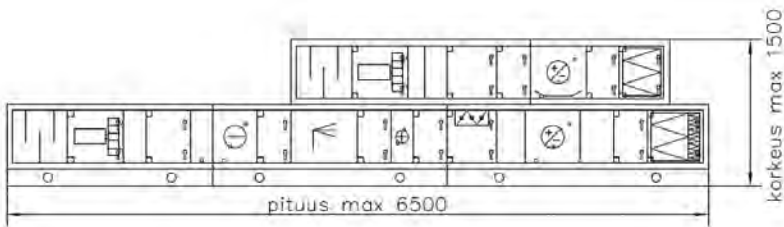
## Yhdessä tehden muodostuu monipuolinen tila

Alkukartoituksen jälkeen ryhdyttiin suunnittelemaan ilmanvaihtokoneen kokoonpanoa. Talotekniikan lehtori Heikki Salomaa teki koneesta ensimmäiset luonnokset (kuva 3) ja laskelmat, joiden pohjalta koneen kokoonpanoa lähdettiin viemään eteenpäin. Useiden eri kokoonpanoilla pidettyjen keskusteluiden ja erilaisten selvitysten jälkeen päästiin tilanteeseen, jossa talotekniikan opettaja Jarkko Kolehmainen pystyi viimeistelemään suunnitelmat ja ilmanvaihtokoneesta saatiin kilpailutukseen soveltuva kaaviokuva (kuva 4) sekä muut tarvittavat dokumentit kuten ohjaus- ja säätökaaviot.



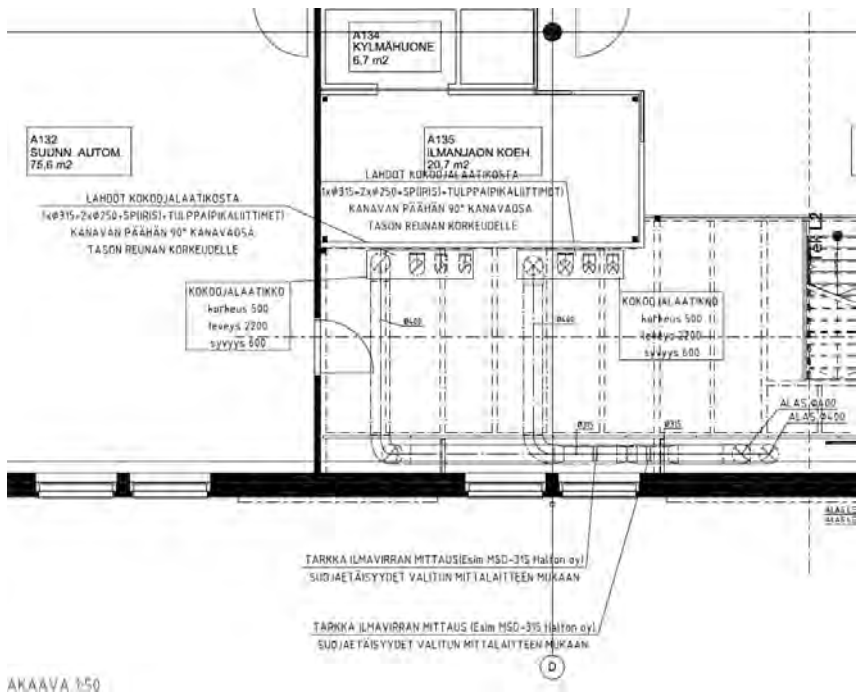
KUVA 3. Ensimmäinen luonnos Testlabin ilmanvaihtokoneen kokoonpanosta (kuva Heikki Salomaa)

Testlab-kokonaisuuteen tuleva ilmanvaihtokone on periaatteessa normaali, tehdasvalmisteinen kone, mutta opetuskäyttö asettaa sille muutamia tavanomaisesta poikkeavia ominaisuuksia. Koneessa on mm. mahdollisuus ottaa käyttöön useita erilaisia lämmöntalteenottolaitteistoja. Koneeseen on myös mahdollista saada läpinäkyviä osia, jolloin toimilaitteet ovat helpommin nähtävillä.



KUVA 4. Testlabin ilmanvaihtokoneen kaaviokuva (kuva Jarkko Kolehmainen)

Ilmanvaihtokone palvelee vain testihuonetilaa, jolloin se on täysin opetuksen ja TKI-toiminnan käytettävissä. Ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirrat pystytään yhdistämään testihuoneeseen kokoojalaatikoiden kautta, jolloin ilmanjakotavat testihuoneessa ovat monipuolisesti muunneltavissa ja kokonaisuus mahdollistaa useiden erilaisten laitteiden käytön sekä ilmanvaihtoon liittyvien ilmiöiden tutkimisen. Ilmanvaihtokoneessa ja sen testihuoneeseen liittävässä kanavoinneissa on myös huomioitu suojaetäisyyksien täyttyminen (kuva 5), jotta ilmavirtojen mittaaminen olisi mahdollisimman tarkkaa ja siten kokonaisuus palvelisi hyvin myös tutkimuskäyttöä.



KUVA 5. Ilmanvaihtokoneen kytkeytyminen testihuoneeseen (kuva Jarkko Kolehmainen)

Testihuoneen osalta suunnittelu toteutetaan osittain opiskelijatyönä osana talotekniikan koulutuksen projektitoimistoa. Kolmannen vuoden opiskelijat suunnittelevat testihuoneen ilmanjakoa sekä tilaan tulevia laitteistoja osana opintojaan. Suunnittelun lähtökohtana on, että tilassa voitaisiin mahdollisimman monipuolisesti tutkia ja havainnoida erilaisia ilmanvaihtoon sekä sisäilmastoon liittyviä ilmiöitä. Testihuoneen alustavien suunnitelmien mukaan tilaan tulee sekä sekoittava että syrjäyttävä ilmanjakotapa. Lisäksi tilaan tulee lämpö-, kosteus- ja hiilidioksidilähteet, joilla tilaan voidaan tuottaa kuormitusta. Myös tilan valaistuksen suunnittelussa otetaan huomioon esimerkiksi



valaisinten vaikutus tilassa liikkuvan ilman käyttäytymiseen. Testihuoneen suunnittelussa on mukana myös sähkötekniikan koulutus. Sähkötekniikan opiskelija suunnittelee ja toteuttaa testihuoneen kuormituslähteiden (lämpö, kosteus ja CO<sub>2</sub>) automaatiojärjestelmän opinnäytetyönään. Lisäksi opinnäytetyössä suunnitellaan ja toteutetaan hiilidioksidin käyttöön liittyvä turvallisuusjärjestelmä, jotta tilan käyttäminen on turvallista.

### Suunnittelusta toteutukseen

Artikkelin kirjoitushetkellä entiset laboratoriolaitteistot on purettu ja testihuonetiila on muunneltu ja kunnostettu ja sen rakenteet ovat viimeistelyä vaille valmiit. Testihuoneen sisällön suunnittelu on pitkällä, ja lähiaikoina päästään hankkimaan tilaan tulevat laitteistot. Ilmanvaihtokoneen asennus on alkamassa ja valmistuu hyvissä ajoin ennen vuodenvaihdetta. Ennen vuoden vaihtumista kokonaisuutta päästään testaamaan ilmanvaihtokoneen ja siihen liittyvän automaation osalta. Testihuoneen laitteistot päästään asentamaan vuoden 2016 alussa ja niitä sekä niihin liittyvää automaatiojärjestelmää päästään testaamaan alkuvuodesta 2016. Opetuskäyttöön Testlab-kokonaisuus otetaan syksyllä 2016.



KUVA 6. Näkymä Testlabin tiloista artikkelin kirjoitushetkellä (kuva Johanna Arola)

## Monipuolinen tila opetukselle ja yritys yhteistyölle

Testlab-kokonaisuuden suunnittelun lähtökohtana oli, että tila toimii sekä opetusympäristönä että TKI-toiminnan tutkimus- ja kehitysympäristönä. Tehtyjen suunnitelmien valossa tila täyttää sille asetetut vaatimukset. Opetuksen näkökulmasta tila mahdollistaa sekä ilmanvaihtokoneen ja siihen liittyvän automaatiojärjestelmän että ilmanvaihdon eri prosessien tutkimisen. Kokonaisuudessa voidaan myös tutkia ja demonstroida lukuisia sisäilmastoon liittyviä tekijöitä. Testihuoneeseen voidaan esimerkiksi tuottaa kahden hengen toimistotilaa vastaava lämpö-, kosteus- ja hiilidioksidikuormitus ja tutkia, kuinka ilmanvaihdon tulee toimia, jotta tila täyttää toimistotilan sisäilmasto-vaatimukset. Automaatiikan kautta tilan kuormitusta voidaan lisätä ja tutkia, kuinka se vaikuttaa ilmanvaihtokoneen toimintaan. Tilassa voidaan myös tehdä esimerkiksi savukokeita ja havainnoida, kuinka erilaiset ilmanjakotavat tai erilaiset ilmanvaihdon päätelaitteet vaikuttavat tilan sisäilmasto-olosuhteisiin. Ilman liikettä voidaan häiritä esimerkiksi valaisinten paikkaa muuttamalla ja selvittää vaikka vedon muodostumista.

Tila mahdollistaa myös yritys yhteistyön, ja ensimmäisen yrityksen kanssa on jo sovittu testaustoiminnasta. Testihuonetilaan asennetaan ammattikeittiökäyttöön tarkoitettu huuva, jolla ammattikeittiöiden ilmanvaihtoon erikoistunut yritys toteuttaa omaa tutkimus- ja tuotekehitystyötään. Huuvaa voidaan käyttää myös opetuskäytössä perehdyttäessä ammattikeittiöiden ilmanvaihtoon, joten yhteistyö hyödyttää molempia osapuolia. Testlabista on suunnitelmien perusteella muodostumassa erittäin monipuolinen oppimis- sekä tutkimusympäristö.

# APPLYING GEO-EXCHANGE SYSTEM TO UTILIZE GROUND ENERGY IN BUILDINGS

*Anastasiia Bykova & Heikki Salomaa*

The main purpose of HVAC engineering – is comfortable and healthy living conditions. We all want to breathe good air, feel ourselves warm and comfortable inside the building. Hence, we all want to save money heating or cooling our house or office- right? The answer may be under your feet- literally.

Much of the heating and cooling can come from the ground. The environment contains huge sources of free energy. The earth absorbs around 47% of the energy that reaches it, storing this energy in the ground. The geo exchange system extracts this energy during winter. For cooling, the system removes heat from the house and dumps it into the cooler earth. Below the frost line, at about 0.7–1.2 m deep, the earth maintains an almost constant temperature. We can tap into this clean energy to provide heating in the winter and cooling in the summer. Because the geothermal system simply moves heat instead of burning fossil fuels to generate it, it's more energy efficient. The clean energy will be around your house for as long as there is a sun.

The geo exchange system is different from the popular heat pumps. The difference is the operating principle. No cooling process implemented by a compressor cycle occurs during the work of a geo-exchange system. The pump in a geo-exchange system does not create any heat – it just circulates the liquid in the pipelines.

This article is based on a thesis done by me at MUAS in 2015. The name of this thesis is “Air handling unit combined with geo-exchange system”. In this thesis, the real system was taken as an example. I studied an air conditioning system of H-building in MUAS campus. This air handling unit (AHU) is combined with a geo-exchange system (GE) represented by the Retermia company. This system includes a needle tube heat exchanger and loop system, presented by a series of pipes buried into the ground.

## Aims and methods

The aim was to evaluate the energy efficiency of AHU updated with the GE system and compare this efficiency to a regular AHU system. With the results of energy efficiency calculations, it can be proved that the Geo Exchange system is an energy efficient system and gives us free, clean, reliable energy.

In order to reach the specified aim, the following methods were applied. The first method was measurements. The temperature data were collected from the automation system. Weather data (relative humidity) were collected from the web-source. Data for the circulation pump was measured with an instrument.

The next method was calculation. In order to show the efficiency of the system, heat demand calculations were applied. Using measurements and calculations as methods, we wanted to know – how much energy we can save just by circulating the fluid inside the pipeline.

## Results

The air conditioning process in the H-Building of MUAS is carried out by the air handling unit. On the figure 1, you can see the parts of this system. This air handling unit includes a Reetermia unit, liquid-coupled heat recovery and heating coil. A Reetermia unit (RU) is located on the roof and is visible from figure 1 (the black box on the roof on the right side of stairs). The Reetermia

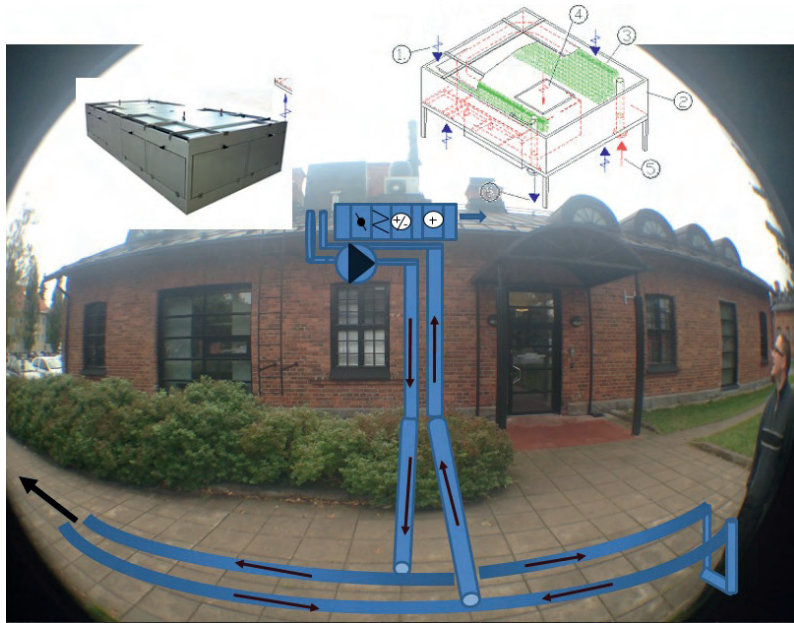


FIGURE 1. AHU combined with GE system in H-building (pictured by Anastasiia Bykova)

unit is the intake air device itself. The outdoor air is sucked through the Retermia Unit and obtains a certain temperature inside this unit. The needle tubes inside the box help to implement the energy exchanging process between the outside air and the liquid inside the underground pipeline system. The liquid circulates through the needle tubes and then returns down into the ground. There are three boreholes in front of the building and three U-bended loops going in there. In the summertime, the warm liquid media from the Retermia box flows into the underground pipeline system and cools down during circulation. This cold liquid is pumped back to the Retermia unit to cool down the warm air. After the Retermia unit, the air is delivered into the duct, connected to the AHU. The air handling unit is located in the machine room in the attic. After the air handling process is done, the supply air is boosted with a fan to the building distribution duct system. Thus, we mainly only need power to run the circulation pump.

In order to find out the efficiency of the AHU combined with the GE system, data from automation system was taken. For the calculations, a so-called hot period during the 2014 was taken into account. The whole period was divided by months. Each month was calculated with the same method. Six months (04.2014–09.2014) were taken as a hot period. The data haven't been taken manually. All data are collected from the automation system of the air handling unit of the H-building. There is no controlling of the accuracy of values, since values were collected from the Schneider Electric database with the help of a specialist. After the calculations were made, the energy demand of the RU, AHU and heating coil were found separately and compared to each other. The COP value was also found out.

After the calculation and analyzing, the results following issues were found out. The first and most unexpected issue was the heating coil working during the summer time. It seemed like the Retermia Unit is working “too hard”, so that heating coil has to warm up cold air after the HR, which was not in use during the summer. This fault of the automatic control system was reported forward and can be corrected early.

The main issue is the regulation of the control valve. Operating with a control valve, it should be possible to regulate the temperature of the air after the Retermia unit and to obtain a probable higher temperature of air, not to cool down the air too much. Figure 2 shows the location of the main mixing valve in the Retermia pipeline system. When analyzing data collected from the automation system, it appeared so that control valve was fully open the whole period. The control valve message referred 100% as a constant value. The opening of the control valve is regulated according to the outdoor air temperature, depending on the supply air temperature. When the temperature of the air outside is the same as the temperature of the heat transfer fluid the control valve should be closed (Spring, Autumn) and the air handling process

is made by a heat recovery and heating coil. The control valve should be fully open when the temperature difference between the outdoor air temperature and temperature of the heat transfer fluid is significant (Winter, Summer). Different control principles should be applied during a hot period when the cooling demand is according to the temperature values  $t_0 > t_s$ , and the cold period average heating demand is according to the  $t_0 < t_s$ .

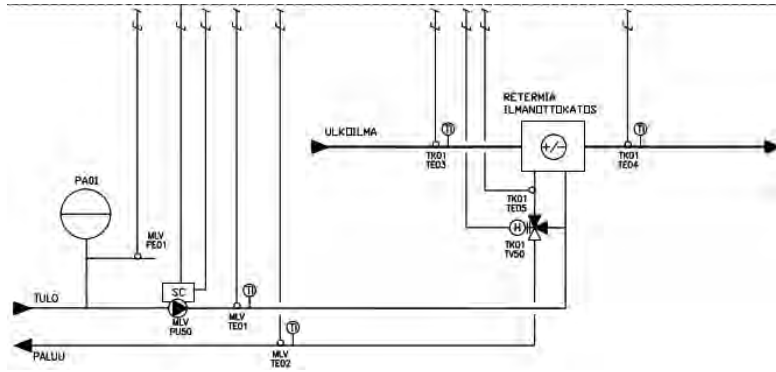


FIGURE 2. Position of the control valve (retell Schneider Electric)

The next very important point is the results of a comparison of the energy loads recovered by the AHU parts. From figure 3, we can read the percentage of the cooling energy produced by the Retermia unit, according to the whole system. From this graph we can clearly see that the efficiency of the Retermia unit according to the whole system directly depends on the outdoor air temperature. The greater temperature difference between the outdoor air and the ground – the more free energy we can obtain from the Retermia unit. It rises with the increase in the outdoor temperature and obtains 80 % of the total energy demand. It means that over 80% of the energy is taken freely from the ground. Traditionally, this part of the cooling demand would be performed by a compressor- now with the Retermia, it is almost free.

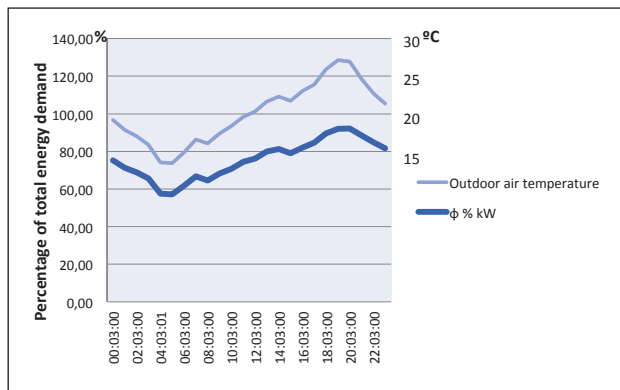


FIGURE 3. Graph 1. The energy demand dependence of the outdoor temperature

In order to visually show the partial heat demands, graph<sup>o</sup> 2 was created.

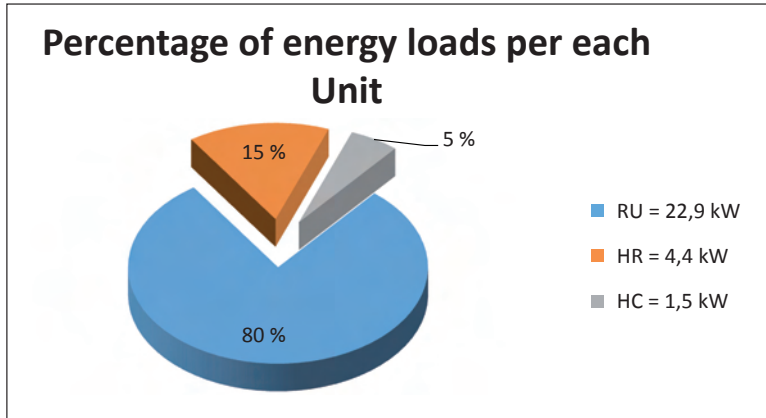


FIGURE 4. Graph 2. The annual energy demands for each part of AHU

Graph 2 shows how a large part of the entire air handling process is performed by the Retermia unit. Both graphs 1 and 2 were based on values from the hottest week of the summer, in July 2015. So in those graphs, the process of cooling the outdoor air is studied. This annual value for 22.9 kW is almost free energy that we get from the ground.

The last, but not least issue is the COP value- an example of the calculations. The average values for COP for the summer period are mentioned in table 1.

TABLE 1. Results of COP calculations

Month	COP
April	80
May	89
June	81
July	157
August	92
September	48
Average value	91

Calculations are made for the hot period only. In order to receive adequate results, period data of at least one year should be taken for the calculation. Probably more sensors should be installed to receive more accurate values. In this thesis, the following estimations were applied for the calculations next:

- There was no sensor for an outdoor air humidity value, so the relative humidity for outdoor air was determined manually from the climate historical data, weather report for Mikkeli city.

- Outdoor air temperature values are quite high – the location of the sensor should probably be changed in the future.
- The results of the calculations might be quite rough, but still reliable related to the data we had.
- Nevertheless, there are important conclusions to be discussed in the following chapter.

## Discussion

As a result of this work, the investigation of the geo-exchange system was made. The system was studied during the hot summer period. Based on the monthly graphs, the following conclusions can be made. The energy loads of the Retermia unit are changing according to the temperature difference between the outside air temperature and the ground temperature. With the rising of the outside temperature, the cooling power of the Retermia unit rises relatively. The efficiency of the Retermia unit according to the whole system decreases during months such as April, May and September, when the outside temperature does not exceed the ground temperature. Hence, the efficiency of the Retermia unit obtains high values during the middle of summer. The efficiency of the RU depends on the temperature difference between the outdoor air temperature and the temperature of the fluid inside the underground pipeline system. The temperature difference is high during hot or very cold days. In order to gain complete information on the system, calculations during the cold period must be done as well.

According to the results of the calculations, it can be said that the renovation of the air handling unit system was a right, efficient decision. During the hot period, when the outside temperature greatly exceeds the supply air temperature, the Retermia unit gives up to 80% of the energy required. These values result in significant savings. Even investment costs don't appear so high, if the payback period is taken into consideration. The investment of money that can be paid back over a period of one to three years means that the geo-exchange system is efficient and capable. The operation of the control system must be checked carefully. Moreover, operation costs can be decreased by switching off the unit during the night time and weekends. The so-called 'mid-season' can be operated with an automation system, by switching off the unit according to the outside air temperature. In the summer, when we have cooling demands and the  $t_0 > t_s$  RU should cool air down to  $t_s$ , not more, and it is not reasonable to use the HR of HC. In the winter, when  $t_0 < t_s$ , it is possible to pre-heat air with the RU, e.g. if the supply liquid temperature is  $+5^\circ\text{C}$  and  $t_0 < +2^\circ\text{C}$ .

Average value of the performance coefficient in July were 157. For the entire 'hot' period, which is 6 months, the COP is 91. In hot days during the summer time, this value rises up to 200. Occasionally the operating COP value in



geo-exchange system can be considered to be 40–50 times more efficient than a regular heat pump.

The coefficient of performance (COP) as average value obtains 157 in July. For the entire 'hot' period, which is 6 months, the COP is 91. In hot days during the summer time, this value rises up to 200. The operating COP value of this kind borehole geo-exchange system can be considered to be in summer time 30–50 times higher than the values of conventional heat pumps. In this thesis, it has been found that with a pumping effort of 103 W, it is possible to gain 200 times more power than for cooling. The pumping of the heat transfer fluid doesn't take so much power. With the HR system, the number of the COP can be between 20 and 30, but there are higher pressure losses on the air side. It is important to remember that the pressure losses of the ReTermia unit on the air side increase the energy use of the fan. Anyway, the pressure losses of the RU are lower than in conventional coils. The average value 91 for COP only includes the power demand for the liquid side. A more detailed investigation should be done with more reliable data from sensors (as the most important outdoor air temperature sensor and humidity sensors) and deeper calculations.

It is important to say that such a system can be smart decision and be highly effective during hot or cold periods of the year. As a conclusion, the geo-exchange system is energy efficient and gives us free, clean and reliable energy.

## **BIBLIOGRAPHY**

Anastasiia Bykova. Air Handling unit combined with geo-exchange system. Bachelor Thesis. 51 pages, 2015.

# KÄYTÖSTÄ POISTETTUIEN LUJITEMUOVITUOTTEIDEN KIERRÄTYS SEMENTTIUUNISSA PARANTAA KIERRÄTYSASTETTA SUOMESSA

*Dick Blom*

Mikkelin ammattikorkeakoulu on mukana toteuttamassa TEKES:n rahoittamaa Euroopan aluekehitysrahaston hanketta, jossa luodaan Suomeen käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden uusi kierrätysmalli. Hanke edistää omalta osaltaan EU:n kierrätystavoitteiden saavuttamista. Vastaavaa kierrätysmallia ei ole tällä hetkellä Suomessa olemassa, mutta vuonna 2016 voimaan tulevan orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vuoksi sen luominen on tullut välttämättömäksi. Tämä yleishyödyllinen hanke kehittää suomalaista kierrätysliiketoimintaa. Hankkeen toteutukseen osallistuu Mikkelin ammattikorkeakoulun lisäksi neljä kierrätys- ja jätehuoltoalan yritystä.

## **Taustaa LUMI-hankkeelle**

Uusi jätelaki astuu voimaan. Valtioneuvoston asetuksen 331/2013 28 § ja 53 § vaatimukset kieltävät yli 10 % orgaanista ainetta sisältävien jätteiden sijoittamisen kaatopaikalle 1.1.2016 alkaen. Tällaiseksi jätteeksi luetaan myös käytöstä poistuvat lujitemuovituotteet, jotka tähän saakka on pääasiassa sijoitettu kaatopaikalle. Tyypillisessä lujitemuovijätteessä on yli 50 % kestumuovihartsia, joten lujitemuovijätettä ei saa sijoittaa kaatopaikoille 1.1.2016 jälkeen, mikä luo merkittävän ongelman alan teollisuudelle ja jätehuoltoyrityksille. Maailmalla, muun muassa Saksassa, on jo käytössä kierrätysjärjestelmiä, joilla lujitemuovijäte kerätään, murskataan ja lisäjätejakeilla muokataan sellaiseksi, että jäte käy sementinvalmistuksen raaka-aineeksi.

Sementtiuunissa lujitemuovijätteen muovikomponentit palavat tuottaen sementinpolttoon vaadittavaa energiaa. Lujitemuovijätteen lasikuitu sekoittuu muuhun kiviainekseen muodostaen sementin kiintoainesta. Mikkelin ammattikorkeakoulu ja Teknologikeskus KETEK ovat toteuttaneet hankkeen, jonka pohjalta suomalaisen lujitemuoviteollisuuden tuotantojätteet on mahdollista kierrättää sementtiuuniin. Oman haasteensa muodostavat kuitenkin

käytöstä poistettavat lujitemuovituotteet, kuten veneet, urheiluvälineet, säiliöt ja putkistot.

Suurimmat haasteet käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden kierrätyksessä ovat jättemateriaalin talteenotto, onnistunut alkulajittelu, materiaalivirran prosessointi vastaamaan ominaisuuksiltaan kierrätyspoltoaineelle ja korkealaatuiselle sementille asetettavia vaatimuksia sekä ansaintalogiikan ja motivaation aikaansaaminen koko kierrätysverkostolle.

Tässä artikkelissa on kuvattu käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden jätevirran koostumusta, määriä, prosessoinnille asetettavia vaatimuksia sekä kierrätystoiminnan alkuunsaamisen haasteita ja tarvittavia toimenpiteitä.

### **Komposiittien kierrätys**

Komposiittimateriaalit tarjoavat ylivoimaisia ominaisuuksia niin lujuuden, keveyden kuin pitkän käyttöiän suhteen. Hyvät ominaisuudet ovat mahdollistaneet aivan uudenlaisia tuotteita, joiden ominaisuudet ovat huomattavasti parempia verrattuna perinteisiin materiaaleihin, kuten teräs, alumiini tai puu. Esimerkiksi liikenteen alalla komposiittirakenteet ovat keveytensä ansiosta johtaneet aikaisempaa energiatehokkaampiin ratkaisuihin. Pitkä käyttöikä puolestaan vaikuttaa suoraan tuotteiden ympäristötehokkuuteen. Komposiittien ominaisuudet ovat ratkaisevia tulevaisuuden ympäristöystävällisemmän kehityksen kannalta, koska ne mahdollistavat fossiilisten resurssien käytön vähentämisen sekä uusiutuvan energian parhaiten hyödyntävät ratkaisut.

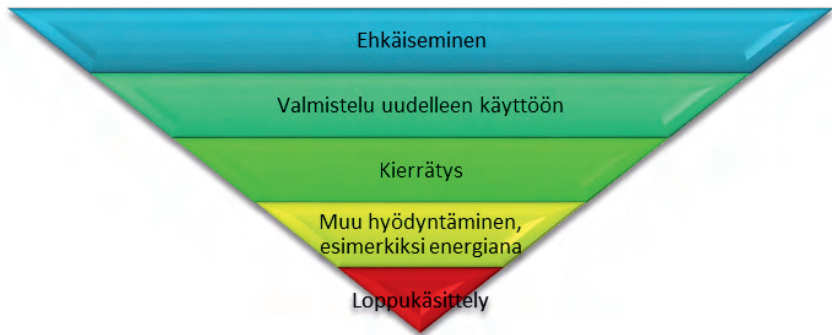
Komposiittimateriaalin luonteesta johtuen niiden kierrättäminen on ollut vaikeaa, koska materiaali on yleensä hyvin kestävä sekä mekaanisesti että kemiallisesti. Tästä huolimatta komposiittien kierrättämiseen on kuitenkin löytynyt tehokas ja toimiva menetelmä. Komposiittijätteen polttaminen sementtiuunissa on teknisesti ja taloudellisesti toimiva kierrätysmenetelmä, jossa voidaan hyödyntää sekä komposiitin sisältämä materiaali että energia. Menetelmä on yleisesti tunnustettu ja käytössä jo joissakin Euroopan maissa.

Nyky-yhteiskunnassa on ymmärretty, että maapallon resurssit eivät välttämättä ole loputtomia ja siksi tehokkuusajattelu on nostanut päätään viimeisimpinä vuosikymmeninä. Käytettävien materiaalien vähentäminen, kierrätys ja erilainen hyötykäyttö ovat yleistyneet yhteiskunnassamme, ja teknologian kehitys on mahdollistanut erilaisten materiaalien tehokkaamman käytön. Myös komposiitit on mahdollista kierrättää. Komposiitit ovat haastavia kierrätettäviä, koska ne ovat useamman materiaalin yhdistelmiä. Näille löytyy kuitenkin myös tehokkaita hyödyntämiskeinoja.

EU:n jätepolitiikan keskeisimpiä tavoitteita on siirtyä kohti ekotehokasta kierrätys- ja hyödyntämisjärjestelmää. Suomen jätelaki pohjautuu EU:n

jätedirektiiviin (2008/98/EY), jossa tärkein tavoite on jätteiden synnyn ehkäiseminen sekä jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentäminen. Direktiivissä on säädetty jätehierarchyä, jolla tähdätään jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämiseen, jätteen kierrätyksen ja muun hyödyntämisen lisäämiseen sekä jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämiseen. Kuvassa 1 on EU:n jätehierarchyä eri tasot.

Kierrätys- ja hyödyntämistavoitteista on säädetty jätelain mukaisia asetuksia. Yksi merkittävä asetus on kaatopaikkojen biohajoavan jätteen ja muun orgaanisen aineksen kaatopaikkakielto, joka astuu voimaan 1.1.2016. Komposiittien osalta asetus tarkoittaa sitä, että niiden kaatopaikkasijoitus ei ole sallittua vuoden 2016 alusta lähtien.



KUVA 1. EU:n jätehierarchyä

Mikkelin ammattikorkeakoulu ja Teknologiakeskus KETEK toteuttivat vuosina 2013–2014 rinnakkaishankkeet, joissa sovellettiin Euroopassa käytössä olevaa ideaa lujitemuovijätteen kierrättämisestä sementtiuunin yhdistettynä raaka-aineena ja kierrätyspoltoaineena. Hankkeissa kehitettiin kotimaisen lujitemuoviteollisuuden puhtaita lujitemuovijätteitä käyttäen menettelyitä ja reseptejä, joita soveltaen on mahdollista käyttää puhtaita lujitemuoviteollisuuden lujitemuovijätteitä sementtiuunin poltto- ja raaka-aineen valmistukseen.

Oman haasteensa muodostavat käytöstä poistettavat lujitemuovituotteet. Vaikka lujitemuovituotteet ovat pitkäikäisiä, poistuu niitä käytöstä arviolta ainakin n. 10 000 tonnia vuodessa. Nämä tuotteet ovat tähän saakka luokiteltu sekajätteiksi ja kaatopaikoilla ne ovat menneet penkkaan. Kun kaatopaikkakielto astuu voimaan, on kierrätys sementtiuunissa vartenotettava menetelmä. Haasteita ovat mm. jätteen suhteellisen pieni määrä, hajasijoittuminen, jätteen sisältämät muut materiaalit, epäpuhtaudet ja vanhat toimintatavat, jotka eivät tunnista lujitemuovijätettä omaksi jätelajikseen.

## Käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden muodostamat jätevirrat

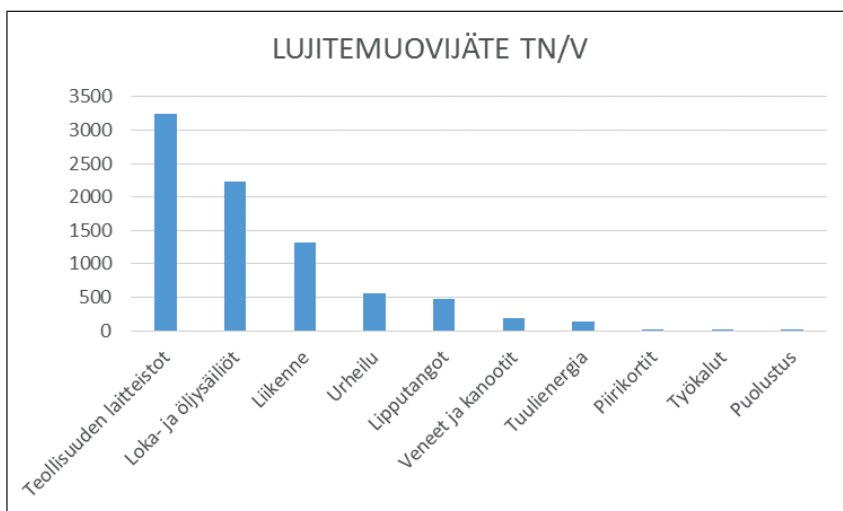
Lujitemuovia käytetään monenlaisissa tuotteissa liikennevälineistä urheiluvälineisiin. Kun lujitemuovista valmistettu tuote poistuu käytöstä, se kulkeutuu yleensä sekajätteenä kaatopaikalle ja kaatopaikalla penkkaan. Yhdyskuntajätteen mukana tuleva lujitemuovijäte hukkuu pienen osuutensa johdosta muun sekajätteen joukkoon, ja talteenotto on haasteellista. Suuremmat lujitemuovituotteet, kuten veneet ja säiliöt, tuodaan jäteasemille, jossa ne otetaan vastaan kaatopaikkajätteenä ja penkataan. VAHTI- tietokannassa ei lujitemuoveilla ole omaa jättekoodiaan, vaan lujitemuovijätteitä otetaan vastaan ja käsitellään eri lähtö- ja käyttötarkoituksen mukaisilla sekajättekoodilla ja rakennus- ja purkujätteen koodilla. Näin lujitemuovijätteen jätevirtojen määrä, laatu ja suunta ovat erittäin haasteellisia ja työläitä määrittää.

## Kysely jätehuoltoyhtiöille

Jätehuoltoyhtiöitä lähestyttiin puhelinhaastatteluin sekä kysymyslomakkein. Kyselyssä tiedusteltiin lujitejätteen määriä, tyypillisiä lujitemuovituotteita jätteessä, jätteen käsittelyä ja loppusijoitusta sekä sitä, miten lujitemuovijätteen kanssa aiotaan toimia vuoden 2016 alusta.

## Tilastolliset tarkastelut

Tuotteiden myyntimääriä, elinkaaria, käyttäjätrendejä ja jäteraportteja analysoimalla ja yhdistelemällä eri tietokantojen tilastoja voidaan tehdä johtopäätöksiä jättemääristä. Tässä tutkimuksessa lujitemuovituotteita tarkasteltiin



KUVA 2. Hankkeessa tehty arvio käytöstä poistuvan lujitemuovijätteen vuotuisista määristä tuoteryhmittäin

seuraavissa ryhmissä: veneet ja vesikulkuneuvot, urheiluvälineet, työkalut, öljysäiliöt, lokasäiliöt, hiekka- ja liete- erottimet, sakosäiliöt, lipputangot, kulkuvälineet, tuulienergia, teollisuuden purkujätteet kuten säiliöt, putkistot, savukaasupesurit ym. sekä puolustusvoimien tarvikepoistot. Nämä tuotteet eivät käytännössä aina päädy kierrätykseen eivätkä kaatopaikoille, vaan jäävät usein hylättyinä käyttöpaikoilleen tai omistajiensa tonteille.

### **Käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden jätteen määrä**

Tutkimuksessa eri menetelmin määritetty lujitemuovijättemäärä on esitetty oheisessa kuvassa 2. Tulos esittää vuotuista jätevirtaa. Laskelmassa vuotuiseksi jätevirraksi saatiin n. 7 500 tonnia käytöstä poistuvaa lujitemuovijätettä vuodessa. Laskelma edustaa sitä minimimäärää, joka olisi mahdollista saada kierrätykseen. Kuitenkin esimerkiksi venerekisterin 200 000 veneeseen arvioidaan sisältyvän ainakin 20 000 venettä, jotka on jo poistettu käytöstä.

### **Käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden kierrätyksen ja kierrätettävyyden haasteita**

Jos lujitemuovijätettä halutaan kierrättää ja hyötykäyttää, on syntypaikkalajittelu avaintekijä lujitemuovijätteen talteen saamisen kannalta. Lujitemuovijäte on saatava mahdollisimman varhaisessa vaiheessa erilleen muusta jätevirrasta.

Aikaisemmin toteutetussa LUMI-hankkeessa (Lujitemuovijätteen materiaalin ja energian kierrätys sementtiuunissa) määriteltiin sementtiuunin kierrätyspolttoaineessa käytettävän lujitemuovijätteen vaatimukset. Sementinpoltossa käytettävän lujitemuovin tulee olla kuivaa ja puhdasta. Se ei saa sisältää eikä sen mukana saa tulla sellaisia aineita, joilla on haitallisia vaikutuksia työntekijöiden terveyteen tai valmistettavan sementin laatuun.

Käytöstä poistetut lujitemuovituotteet sisältävät usein muista materiaaleista valmistettuja komponentteja, jotka tulee poistaa joko ennen kierrätyspoltoaineen valmistusta tai kierrätyspoltoaineen valmistuksen yhteydessä. Materiaalista on poistettava metallit ja metalleja sisältävät materiaalit, alkalit, PVC-muovi, kennorakenteet, maalit, liimat, ongelmajätteet, jne. Materiaalien erottelu edellyttää tuotteiden purkamista tai murskaukseen yhdistettyä murskeen lajitteluprosessia.

Suurten ja paksujen kappaleiden murskaus edellyttää käyttötarkoitukseen soveltuvia laitteistoja. Liian suuret kappaleet joudutaan leikkaamaan, jotta ne sopisivat käytettävään murskaimeen. Paksujen kappaleiden murskaus asettaa vaatimuksia murskaimen voimalle ja lujuudelle.

## Tyypillisiä lujitemuovituotteita ja niiden edellyttämiä toimenpiteitä kiertäyksessä

Lujitemuovisia veneitä poistuu käytöstä vuosittain noin 1 600 kpl. Ne sisältävät lujitemuovia yhteensä 170 tonnia (Venemestari 2006, Venemestari 2015). Osa veneistä jää rannoille, osa on toimitettu toistaiseksi kaatopaikoille, joissa ne on murskattu puskutraktorilla ja ajettu penkkaan. Osa jätteenkäsittelijöistä toimittaa käytöstä poistetut veneet Ekokemille polttoon. Veneet sisältävät lujitemuovin lisäksi metalleja, muoveja, letkuja ja kennorakenteita (kuva 3). Veneissä voi olla myös moottori, joka on poistettava, tai ainakin öljyt on poistettava.



KUVA 3. Käytöstä poistuva vene on monimateriaalituote. Vene voi sisältää lujitemuovin lisäksi metalleja (teräs, RST, messinki, kupari, lyijy jne.), myrkkymaaleja ja muoveja (kuva Dick Blom)

## Käytöstä poistuvat öljysäiliöt

Suomessa on käytössä noin 300 000 öljylämmityskattilaa. Niiden öljysäiliöistä on 41 % lujitemuovisia. Öljylämmitys lämmitysmuotona on vähenemässä ja sen oletetaan päättyvän vuoteen 2028 mennessä. Jos poistuma on tasaista, vuotuinen poistuva lujitemuovimäärä on noin 2 200 tonnia. Säiliöissä on lujitemuovin lisäksi kuparimetalliputkistoja sekä teräksinen kansi. Säiliö on pestävä käytöstä poiston yhteydessä. Säiliön murskaaminen saattaa edellyttää leikkaamista.

Erityisesti prosessiteollisuus käyttää eri kohteissa lujitemuovivalmisteisia laitteistoja niiden hyvän kemiallisen keston takia. Tyypillisiä kohteita ovat putkistot, säiliöt, altaat ja savukaasupesurit. Lujitemuovikomponentit ovat usein kooltaan suuria ja läpimitaltaan paksuja. Tämä on huomioitava vastaanotettaessa näitä materiaaleja käsittelyyn.

Teollisuuden purkujätteen sisältämää lujitemuovimäärää ei ole tilastoitu. Finwaste- hankkeen loppuraportin mukaan vuonna 2003 syntyi teollisuuden purkujätteestä loppusijoitettavaa jätettä 7 000 tn (Suomen ympäristökeskus).

Lisäksi on käytöstä poistuvia laitteita, jotka jäävät varastoon vielä käytöstä poiston jälkeen (kuva 4). LUMI 1 -hankkeessa on selvitetty, että teollisuuden laitteistojen osia valmistava lujitemuoviteollisuus tuottaa jätettä noin 300 tonnia vuodessa. Näiden tietojen perusteella voi arvioida, että teollisuuden käytöstä poistettavien lujitemuovisten laitteistonosien määrä voisi olla 3 000–7 000 tn.



KUVA 4. Prosessiteollisuudessa käytettävä suurikokoinen ja seinämän läpimitaltaan paksu putkiyhde. Nämä saattavat vielä sisältää teräsosia, jotka tulee saada erilleen murskauksen yhteydessä (kuva Dick Blom)

### **Kierrättämisen toimintamalli ja ansaintalogiikat**

Hankkeessa valmistellaan yhdessä kierrätys- ja jätehuoltoyritysten kanssa toimintamalli kierrätystoiminnan aloittamiseksi. Tulevalle toimintamallille on asetettu periaatteita ja tavoitteita. Hajallaan oleva jäte on saatava erilleen



muusta jätteestä jo alkulajittelussa. Lujitemuovijätteille on perustettava riittävä määrä keräys- ja vastaanottopisteitä siten, että jätteitä on helppo toimittaa ja että keräyspisteet ovat kuitenkin riittävän suuria, jotta niiden tuottavuus on riittävä. Kerättyä jätettä on saatava toimitettua jalostukseen jatkuvana virtana tai tarvittaessa. Tämä edellyttää varastojen sijainnin ja koon määrittämistä. Varastojen tilausrajoille ja toimitusajoille on sovittava periaatteet ja toimintatavat. Koko toimitusketjun on toimittava siten, että materiaali säilyy kuivana kaikissa toimitusketjun vaiheissa.

Lujitemuovijätettä voidaan käyttää myös hyötyvoimaloiden polttoaineessa. Hyötyvoimaloita onkin rakennettu useita kuluvan vuoden aikana johtuen vuoden 2016 alussa voimaan astuvasta orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellosta. Vaikka lujitemuovin energiahyötykäyttö on jätehierarkiassa alemmalla tasolla kuin materiaalikierrätys, ovat hyötyvoimalat varteenotettava vaihtoehto tässä julkaisussa esitetylle menetelmälle käyttää lujitemuovijätettä sementinvalmistuksen raaka-aineena. Energiahyötykäyttö ottanee osan käytettävissä olevasta lujitemuovijätteestä. Samoin energiakäyttö antaa tulevaisuudessa yhden tavoitearvon sementtiuunikierrätykseen tähtäävän jätteenkäsittelyn hinnoittelulle. Sementinpolttoon valmistettavan kierrätyspolttoaineen raaka-aineena käytettävän lujitemuovin vastaanottohinnan tulee olla kilpailukykyinen energiahyötykäytön kanssa. Hinnan tulee kuitenkin kattaa käsittelyketjun kustannukset, ja toisaalta valmiin kierrätyspolttoaineen hinnan tulee olla sementtitehtaan portilla vertailukelpoinen nykyisin käytettävien muiden polttoaineiden kanssa.

## LÄHTEET

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY. Euroopan Unionin virallinen lehti 22.11.2008, L312/3–L 312/30.

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013.

Valtioneuvoston asetus jätteistä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta 86/2015.

Vanhat veneet kierrätykseen – viime kesän koeluontoinen kampanja. Venemestari 1 Helmikuu 2006, 88–89.

Lasikuituveneiden hävitys ja kierrätys. ”Haudattomat raadot”. Venemestari 10 Lokakuu 2015, 54–58.

Jätevirrat ja jäteintensiteetin muutos Suomen taloudessa 1997–2003. Finwaste-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 44|2006. Suomen ympäristökeskus.

# YKSILÖLLISTEN TUKIPOHJALLISTEN VALMISTUS MATERIAALIA LISÄÄVILLÄ VALMISTUSMENETELMILLÄ

*Markus Bruun & Laura Saar & Kari Dufva*

Perinteisesti yksilölliset tukipohjalliset on valmistettu käsityönä. Nykyisin digitaalisuus on yleistynyt tukipohjallisten valmistuksessa ja pohjallisia valmistetaan myös CAD-CAM-tekniikalla. Menetelmässä pohjallinen valmistetaan tietokoneohjatulla jyrsinkoneella digitaalisen mallin perusteella.

Materiaalia lisäävät valmistusmenetelmät soveltuvat erityisen hyvin yksilöllisesti räätälöityjen tuotteiden valmistukseen. Tulostusmateriaalien kehitys on nopeaa ja nykyisin on tarjolla myös elastisia tulostusmateriaaleja. Tässä tutkimuksessa testattiin kahta eri materiaalia lisäävän valmistusmenetelmän soveltuvuutta yksilöllisten tukipohjallisten valmistamiseen, ja valmistettuja pohjallisia vertailtiin CAD-CAM-menetelmällä valmistettuihin pohjallisiin. Työ on osa Etelä-Savon uudistuva teollisuus –hanketta, jota rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin ammattikorkeakoulu, Etelä-Savon ammattioppilaitos sekä useat alueen yritykset.

## **Tukipohjallisten käytön merkitys ja tavoitteet**

Tukipohjallis- eli ortoositerapialla tarkoitetaan yksilöllisten pohjallisten tai varvasvälisilikonien käyttöä. Valtaosa pohjallisista valmistetaan helpottamaan kiputiloja, korjaamaan alaraajan rakenteellisia virheasentoja sekä ohjaamaan alaraajan toimintoja. Pohjallisilla voidaan saada aikaan myös keventävä vaikutus; pohjallista voidaan muokata esimerkiksi kipeän ihomuutoksen tai luisen ulokkeen kohdalta. Hiomalla ja ohentamalla pohjallista ongelmakohdasta saadaan aikaan kevennyskohta, jolle ei tule kuormaa ja kipu helpottuu. Usein pohjallisista haetaan myös lisäiskunvaimennusta. Jalkapohjassa on luonnostaan rasvatja, joka toimii hyvänä iskunvaimennuksena. Esimerkiksi virheellisen askelluksen, epäsovivien kenkien, rakenteellisten muutosten ja kuormittavan urheilun myötä rasvatja voi kuitenkin hajota tai siirtyä pois paikaltaan. Tällöin vaaditaan iskunvaimennusta jalkaterän ulkopuolelta. (Tollafeld & Merriman 1997, 171-172, Kennedy 2011.)

## **Tukipohjallisten valmistaminen**

Tukipohjallisprosessi alkaa aina pohjallistarpeen kartoituksella. Tähän kuuluvat pystyasennon ja kävelyn analysointi, alaraajojen biomekaaniset tutkimukset, tarvittaessa joitain selän tutkimuksia, kiputilojen sekä ihon ja kynsien kunnon arviointi. Tutkimusten pohjalta voidaan muodostaa kuva asiakkaan ongelmasta ja sen syistä. Lopulta päädytään joko pohjallisterapiaan ja alaraajojen toimintoja tukeviin harjoitteisiin tai todetaan, ettei pohjallisilla voida tilannetta helpottaa, vaan annetaan muuta hoitoa ja ohjausta. Mikäli päädytään pohjallisterapiaan, laaditaan sille selkeät tavoitteet. Tässä vaiheessa valitaan myös pohjallisten valmistusmenetelmä. Tukipohjallisten tarve vaihtelee ja pohjallistarpeen kartoitus on hyvin tärkeä osa asiakkaan hoidon aloittamisessa. Tutkimusten perusteella valitaan sopiva hoitomuoto ja selvitetään, millaiset pohjalliset asiakas tarvitsee. Pohjalliset voidaan valmistaa monella eri tavalla. (Saarikoski ym. 2010, 190 - 192.)

## **Pikapohjalliset**

Pikapohjalliset valmistetaan yksinkertaisilla työvälineillä yhden hoitokerran yhteydessä. Pohjallisten valmistamisessa voidaan käyttää levytavaraa, puolivalmisteisia elementtejä tai valmistopohjallisia. Pikapohjallisten ensisijainen tavoite on keventää kipeää tai vaurioitunutta jalkapohjaa jakamalla kuormitusta laajemmalle alueelle. Yksi käyttökohde on diabeetikoiden jalkoihin kohdistuvien painepiikkien keventäminen. Menetelmä on nopea ja helppo ja sen kustannus-hyötysuhde on hyvä. (Liukkonen & Saarikoski, 407)

## **Elementtipohjalliset**

Tukipohjallisten valmistaminen puolivalmiista elementeistä on perinteinen Suomessa käytetty menetelmä. Pikapohjallisten tavoin menetelmä on nopea, helppo ja työvaiheita on vähän. Elementtipohjalliset valmistetaan jalkapohjien painannekuvion tai vaahtolaatikkoon otetun negatiivijäljennöksen mukaan. Valmistaminen tapahtuu käsityönä käyttämällä valmiita elementtejä ja muokkaamalla puolivalmisteita yksilöllisesti asiakkaan ongelmien mukaisesti. Elementtipohjallisissa käytettävät materiaalit ovat lujempia ja kestävämpiä kuin pikapohjallisissa. (Liukkonen & Saarikoski, 415)

## **Kipsijäljennöksen avulla valmistetut pohjalliset**

Toiminnalliset tukipohjalliset voidaan valmistaa kipsijäljennöksen avulla. Toiminnallisilla tukipohjallisilla korjataan jalkaterien ja alaraajojen toimintoja. Pohjallisten on kontrolloitava liikettä, mutta sallittava jalkaterän normaali toiminta ja jousto sopivista paikoista. Toiminnallisten tukipohjallisten valmistus vaatii aina huolellisen biomekaanisen tutkimuksen, jonka perusteella tehdään tarvekartoitus ja määritellään, minkälaiset pohjalliset asiakas tarvitsee. Kipsi-

negatiivia valmistettaessa jalkaterä asetetaan oikeaan asentoon ja kostutetut kipsisiteet asetellaan jalan päälle. Kovettuessaan kipsi muodostaa negatiivimallin jalan päälle. Negatiivin avulla valmistetaan jalkaa muistuttava kipsiposiitiivi. Kipsiposiitiivi voidaan valmistaa myös vaahtolaatikkomenetelmällä. Menetelmässä jaloista tehdään jäljennös painamalla jalka vaahtolaatikkoon. Jalkaterän oikea asento on tärkeä: subtalaarinivelen eli alemman nilkkanivelen tulisi olla neutraaliasennossa.

Jalkaa muistuttava kipsimalli saadaan valamalla kipsi laatikkoon. Kipsiposiitiivia muotoillaan hiomalla tai lisäämällä kipsiä tarvittaviin kohtiin. Varsinainen tukipohjallinen valmistetaan lämpömuovattavista materiaaleista alipainemuovauksella. Lämpömuovattuun pohjalliseen voidaan tarvittaessa liimata lisäpehmusteita. (Liukkonen & Saarikoski 2010, 425, Tollafield & Merriman 1997, 183, Kennedy 2004.) Vaahtolaatikkomenetelmällä voidaan valmistaa myös täysin jäykkään jalkaan niin sanottu jalkavuode. Tällaista jalkavuodetta tarvitaan esimerkiksi diabetekseen liittyvän Charcot-jalan hoidossa, kun jalkapohja muistuttaa keinutuolin jalkaa, eikä jalkaterän nivelissä ole enää minäänlaista liikettä. (Liukkonen & Saarikoski 2010, 667.)

### **Suoraan jalkapohjiin muotoiltavat tukipohjalliset**

Tukipohjalliset voidaan valmistaa lämpömuovattavista pohjallisiaihioista suoraan jalkapohjaa vasten. Menetelmässä lämmitetty aihio asetellaan erityisen tyynyn päälle ja asiakas nousee sen päälle seisomaan. Jäähtyessään aihio säilyttää muotonsa. Pohjallisesta tulee täysin jalkapohjan muotojen mukainen. Jalan asentoa korjataan liimaamalla pohjallisen alle sopiviin paikkoihin erillisiä kiiloja tai lämpömuovattavia materiaaleja. (Jalat ja terveys, 428.)

### **Tietokoneavusteisesti suunnitellut ja valmistetut tukipohjalliset**

Nykyisin tukipohjallisten valmistuksessa on yleistynyt CAD-CAM-menetelmä. Pohjallistarvekartoituksen jälkeen asiakkaan jalat skannataan taso- tai 3D-skannerilla digitaaliseen muotoon. Pohjallisten muotoiluun on olemassa erikoisohjelmistoja, joissa muotoilu tapahtuu valmiiksi laadittujen elementtien pohjalta. Elementtikirjastosta valitaan tarvittavat elementit, jotka muokataan skannatun mallin mukaisesti suunnitteluohjelmistossa. Pohjallisiaihio valmistetaan tietokoneohjatulla työstökoneella sopivanlaatuudesta materiaalista asiakkaan tarpeen mukaan. Pohjallismateriaalina käytetään yleisesti EVA-muovia (etyyli-vinyyli-asetaattimuovia). (Jalkaterapiakeskus Orthopodo 2015.)

### **Tukipohjallisten materiaalit**

Tukipohjallismateriaalit voidaan jakaa kolmeen luokkaan: pehmeisiin, puolikoviin ja koviin. Pohjallismateriaalien ja puolivalmisteiden kovuus määrittel-

lään yleensä shore-asteikolla, jossa luku kasvaa siirryttäessä pehmeästä kovaan. Shore-asteikolla pehmeä on <45, puolikova 45–75 ja kova 75–100. Materiaalin valinnassa on otettava huomioon materiaalin kestävyys, joustavuus, muodon palautumiskyky, muodon säilyttämiskyky, jäykkyys, paino ja työstettävyys. Materiaali ei saa haurastua, murtua tai venyä. Tukipohjalliset voidaan jakaa kolmeen kovuusasteeseen, mutta tarkkaa luokitusta ei kuitenkaan ole olemassa. (Liukkonen & Saarikoski, 403.)

### **Pehmeät tukipohjalliset**

Pehmeitä tukipohjallisia käytetään, kun jalkaterän biomekaniikkaa ei ole tarpeellista muokata. Pehmeiden pohjallisten shore-arvo on pienempi kuin 45. Pehmeiden pohjallisten tarkoitus voi olla iskuvaimennus, mukavuuden lisääminen ja jalkapohjan arkuuden ja kipujen lievittäminen. Pehmeissä materiaaleissa on sekä nopeasti että hitaasti alkuperäiseen paksuuteensa palautuvia materiaaleja. Nopeasti palautuvilla materiaaleilla on iskua vaimentavia ominaisuuksia. Hitaasti palautuvilla materiaaleilla voidaan vaikuttaa pohjallisen mukavuuteen ja paineen tasaamiseen. (Liukkonen & Saarikoski, 403.)

### **Puolikovat tukipohjalliset**

Puolikovien pohjallisten shore-arvo on 45–70. Puolikovat pohjalliset ovat yleisimmin käytettyjä, ja niillä pyritään jalkaterän asennon korjaamiseen, asentomuutoksen etenemisen hidastamiseen sekä alaraajan toimintojen ohjaamiseen. Pohjalliset voidaan valmistaa levyistä, joiden kerroksilla on erilaisia ominaisuuksia. (Liukkonen & Saarikoski, 403.)

### **Kovat ja joustamattomat tukipohjalliset**

Kovien ja joustamattomien pohjallisten shore-arvo on yli 70. Kovia pohjallisia käytetään, kun tarvitaan tehokas biomekaaninen korjaus. Kovat pohjalliset voidaan valmistaa lämpömuovattavasta muovista, hiilikuidusta tai lasikuidusta. Kova pohjallinen voi olla ohut, jolloin se mahtuu kenkään paremmin. (Liukkonen & Saarikoski, 403.) Joustamaton, kova pohjallinen voi tuntua epämiellyttävältä jalan alla, joten terapeutti voi joutua miettimään käyttömukavuuden lisäämistä ilman, että terapeuttinen vaikutus kärsii. Kovankin pohjallisen päälle voidaan lisätä ohut kerros iskua vaimentavaa tai painetta tasaavaa materiaalia.

### **Materiaalia lisäävä valmistus**

Materiaalia lisääviä valmistusmenetelmiä on useita ja ne eroavat suuresti toisistaan. Menetelmät voidaan jakaa eri luokkiin monin tavoin esimerkiksi tulostusmateriaalin olomuodon perusteella. (Gibson et al.) Kansainvälisessä termistössä materiaalia lisäävät valmistusmenetelmät jaetaan seitsemään ala-

luokkaan:

1. Allasvalopolymerisaatio
2. Jauhepetitekniikka
3. Materiaalin pursotus
4. Materiaalin ruiskutus
5. Sideaineen ruiskutus
6. Laminointi
7. Materiaalin ja lämmön kohdistus.

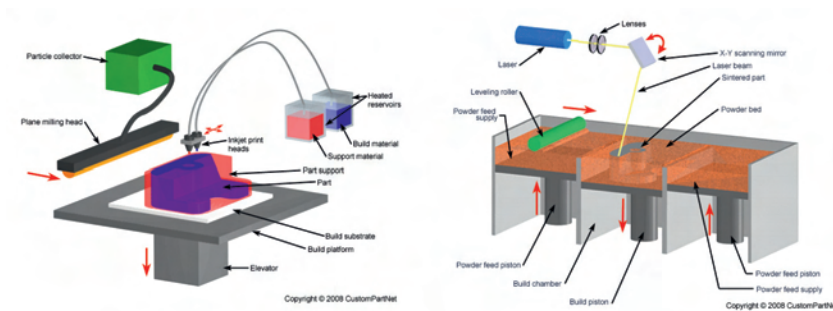
Tässä tutkimuksessa tukipohjallisten valmistamiseen käytettiin kahta eri menetelmää. Valmistusmenetelmiksi valittiin sellaisia menetelmiä, joilla on mahdollista tulostaa elastisia muovimateriaaleja. Seuraavassa on esitelty tutkimuksessa käytetyt tulostusmenetelmät.

### Materiaalin ruiskutus

Materiaalin suihkutuksen menetelmä muistuttaa perinteisen mustesuihkutulostimen toimintaa. Tulostinpäässä on useita suuttimia, jotka ruiskuttavat nesteistä UV-valolla kovetettavaa tulostusmateriaalia tulostusalustalle. Kappale rakentuu useista hyvin ohuista kerroksista, jotka kovetetaan yksi kerrallaan. Materiaalin ruiskutus tyhjän päälle ei onnistu, joten tulostamisessa käytetään apuna tukiaineita, jotka poistetaan tulostuksen jälkeen lämpöä tai vettä hyväksikäyttäen. Materiaalin ruiskutuksella voidaan valmistaa myös monimateriaalikappaleita, joissa kappaleen ominaisuudet voivat vaihdella sen eri osissa. Menetelmän periaate on esitetty kuvassa 1 vasemmalla. (Gibson et al.)

### Jauhepetitekniikka

Jauhepetitekniikassa materiaali on jauhemaisessa muodossa, ja se muutetaan kiinteäksi joko sintraamalla tai sulattamalla materiaali kiinteäksi kerros kerrokselta. Yhden kerroksen valmistuttua jauhepeti siirtyy kerrospaksuuden verran alaspäin ja sen päälle levitetään uusi kerros jauhetta. Uusi kerros kiinnittyy edelliseen sintrautuen tai sulamalla. Lämmönlähteenä käytetään yleensä la-

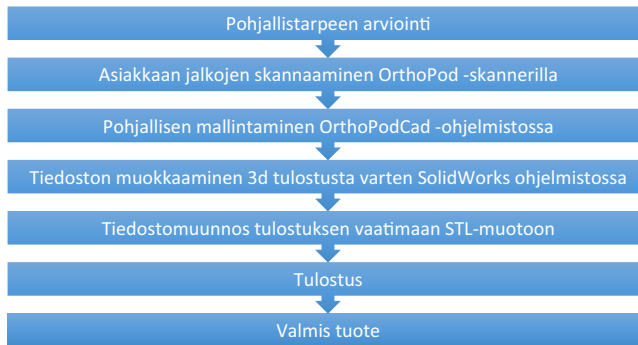


KUVA 1. Kuvassa vasemmalla materiaalin ruiskutusmenetelmä ja oikealla jauhepetimenetelmä (mukaillen custompartnet)

seria. Muovimateriaalit eivät tarvitse tukiaineita, vaan sulamaton jauhe tukee valmistettavaa kappaletta prosessin ajan. (Gibson et al.) Jauhepetimenetelmän periaate on esitetty kuvassa 1 oikealla.

### **Tukipohjallisten valmistaminen materiaalia lisäävillä valmistusmenetelmillä**

Pohjallisten valmistusprosessi alkoi asiakkaan jalkojen 2D-skannaamisella OrthoPodScan-laitteella, jonka jälkeen pohjalliset suunniteltiin OrthoPodCad-ohjelmistossa skannatun kuvan perusteella. Pohjallisen mallintaminen perustuu ohjelmiston elementtikirjastossa olevien valmiiden elementtien valintaan ja muokkaamiseen. Hoidon vaatimat elementit asetellaan ohjelmistossa skannatun kuvan päälle ja muokataan oikean kokoisiksi ja muotoisiksi. OrthoPodCad-ohjelmistossa luodut pintamallit muokattiin tilavuusmalleiksi SolidWorks-ohjelmistossa. Samalla pohjallisiin liitettiin Mamkin logo ja tiedostot muunnettiin 3D-tulostuksessa yleisesti käytettyyn STL-tiedostomuotoon. Valmistusprosessi selviää kuvasta 2.

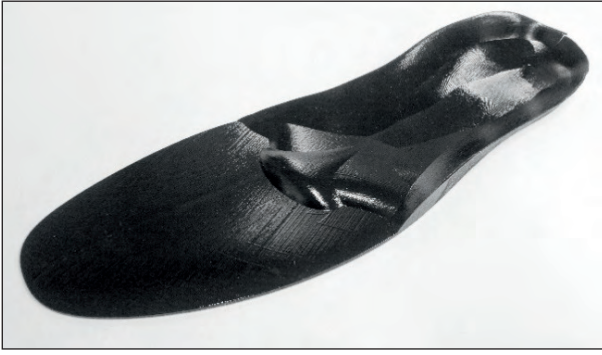


**KUVA 2.** Pohjallisten valmistusprosessi

### **Materiaalin ruiskutus**

Kymenlaakson ammattikorkeakoululla on käytössä materiaalin ruiskutukseen perustuva Objet Eden 260V -tulostin, joka perustuu UV-kovetteisten muovimateriaalien tulostukseen. Tulostimella on mahdollista tulostaa myös elastisia materiaaleja. Pohjallisten materiaaliksi valittiin Stratasysin Polyjet Tango Black -materiaali, jonka shore-arvo on A60–62. Tulostusala on 260x260x200. Kuvassa 3 on valmistettuja pohjallisia.





KUVA 3. Tulostamalla valmistettuja tukipohjallisia (kuvat Markus Bruun)

Pohjallisten pinnanlaatu on hyvä; jopa pohjallisten pohjissa olevat 2 mm korkeat kirjaimet erottuvat selvästi. Materiaali on kumimainen ja pinta on kiiltävä. Materiaali on tarkoitettu prototyyppeihin, ja sen käyttö toiminnallisissa tuotteissa vaatii lisää selvityksiä. Pohjallisen paino on 98 g.

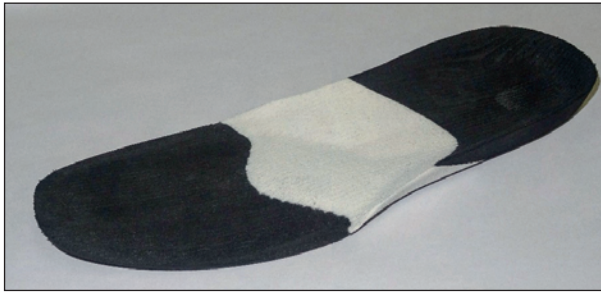
### Jauhepetiteknikka

Jauhepetimenetelmällä valmistetut pohjalliset tilattiin Shapewaysin nettikaupasta. Shapeways on suuri tulostuspalveluita Internetissä tarjoava yritys. Yrityksen tarjoama tulostusmateriaalivalikoima on laaja ja valikoimasta löytyy myös elastinen muovimateriaali. Kuvassa 3 esiintyvä oikeanpuoleinen pohjallinen on Shapewaysin tulostama.

Jauhepetimenetelmällä valmistettu pohjallinen on selvästi kovempi kuin materiaalin ruiskutuksella valmistettu. Pohjallinen on taipuisa päkiän kohdalta, jossa materiaalin paksuus on 3 mm; muualta pohjallinen on huomattavasti jäykempi. Pohjallisella ei siis ole vaimentavia ominaisuuksia. Vaimennusta voidaan lisätä liimaamalla pohjallisen pintaan joustavaa materiaalia. Tulostuskerrokset erottuvat selvästi kappaleen pinnasta, mutta tulostustarkkuus on kuitenkin riittävä tähän tarkoitukseen. Pohjallisen paino on 84 g.

## Pohjallisten vertailu

Molempien tulostusmenetelmien tulostustarkkuus riittää tähän käyttötarkoitukseen. Tulostettujen pohjallisten pinnanlaatu on tarkempi kuin kuvassa 4 olevan CAD-CAM-menetelmällä valmistetun pohjallisen. Tulostusmateriaalien testaaminen vaatii jatkoselvityksiä. Tulostusmateriaalien tiheys on huomattavasti suurempi kuin CAD-CAM-menetelmässä käytettävän EVA-muovin. Tulostetut pohjalliset ovat jopa kolme kertaa painavampia kuin EVA:sta valmistetut. Tulostettavien pohjallisten rakenne tulisi optimoida tarkemmin käyttötarkoitukseen, jotta menetelmästä saataisi enemmän irti ja samalla materiaalikustannus pienenesi. Optimoinnilla pystytään vaikuttamaan esimerkiksi pohjallisen jäykkyyteen ja kovuuteen sen eri osissa. Optimointi voidaan tehdä esimerkiksi topologisella optimoinnilla.



KUVA 4. CAD-CAM-menetelmällä valmistettu pohjallinen (kuva Markus Bruun)

## Johtopäätökset

Materiaalia lisäävän valmistuksen etuna on tuotteiden hyvä räätälöitävyys. Pelkkä yksilöllinen tuote ei aina riitä, vaan koko tuotantoketjun tulee olla kustannustehokas, jotta se olisi perinteisiä menetelmiä kannattavampi. Materiaalia lisäävästä valmistuksesta saadaan kaikki hyöty irti, kun valmistettavan tuotteen kaikki ominaisuudet on suunniteltu asiakaskohtaisesti. Tämä tarkoittaa sekä muodon että mekaanisten ominaisuuksien suunnittelua jokaiselle tuotteelle erikseen. Yksilöllinen suunnittelu johtaa helposti tilanteeseen, jossa suunnittelukustannukset nousevat liian korkeiksi.

Suunnittelua voidaan nopeuttaa parametrisella suunnittelulla, jossa tuotteen ominaisuudet määritellään ennalta määritettyjen parametrien perusteella. Parametrinen suunnittelu vaatii monessa tapauksessa räätälöidyn ohjelmiston. Parametrinen suunnittelu hyödynnetään nykyisissä CAD-CAM-menetelmään perustuvissa tukipohjallisten mallinnusohjelmissa pohjallisen pintamallinnukseen. Samaa periaatetta voidaan hyödyntää myös tulostettujen pohjallisten muotoilussa. Rakenteen optimoinnin parametrisointi vaatii räätälöidyn

ohjelmiston ja tarkkaa tietoa materiaalien ominaisuuksista. Tukipohjallisten valmistuksen kannalta räätälöidyn tuotteen kustannustehokas tuotantoketju vaatii siis räätälöidyn ohjelmiston, jossa pintamallinnus ja mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen ja itse tulostus on tehty käyttäjän kannalta mahdollisimman yksinkertaiseksi.

Tukipohjallisten valmistus on vain yksi osa koko prosessia. Asiakkaan hoidon kannalta on aina tärkeämpää, että pohjallistarpeen kartoitus ja siihen liittyvät tutkimukset on tehty ammattitaidolla.

## LÄHTEET

Custompartnet. <http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>.

Gibson, I., Rosen, D. W. & Stucker, B. 2010. Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. New York, Springer Science+Business Media.

Jalkaterapiakeskus Orthopodo 2015. Orthopodo-tukipohjallisten valmistusprosessi. <http://mail.jalkaterapiakeskus.fi/material/pohjallisprosessi.pdf>.

Kennedy, Séamus 2004. Casting for Foot Orthotics—What Works Best? [http://www.oandp.com/articles/2004-08\\_08.asp](http://www.oandp.com/articles/2004-08_08.asp).

Kennedy, Séamus 2011. The Effectiveness of Foot Orthotics. [http://www.oandp.com/articles/2011-07\\_06.asp](http://www.oandp.com/articles/2011-07_06.asp).

Liukkonen, Irmeli & Saarikoski, Riitta 2010. Jalat ja terveys. Vantaa: Hansaprint Oy.

Saarikoski, Riitta, Stolt, Minna, Liukkonen Irmeli 2010. Terveet jalat. Tampere: Tammerprint Oy.

Tollafeld, David R. & Merriman, Linda M. 1997. Clinical Skills in Treating the Foot. Pearson Professional Limited.

# SÄRÖNKASVUN SEURANNAN AUTOMATISOINTI KONENÄÖN AVULLA

*Kari Dufva & Tero Karttunen*

Materiaalissa etenevän särön ominaisuuksien tunteminen ja hallitseminen on yksi merkittävimmistä tekijöistä murtumismekaniikan tutkimuksessa. Materiaalin repivää kuormitusta voidaan tutkia särönkasvutestillä vaihtuvassa kuormituksessa. Tällöin väsyttävällä kuormituksella voidaan määrittää särönkasvunopeus kuormituksen suhteen tai etsiä raja-arvoa, jolla materiaalin särönkasvunopeus pysähtyy. Tätä raja-arvoa voidaan käyttää hyödyksi arvioitaessa tutkittavan materiaalin pitkäaikaiskestävyyttä.

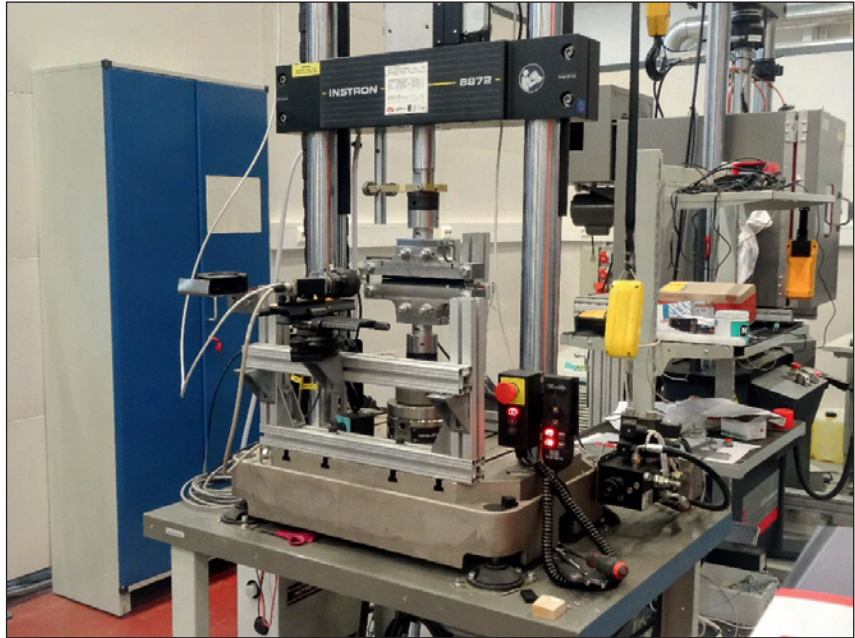
Väsytystestejä voidaan tehdä eri lämpötiloissa, mutta tässä tutkimuksessa testaus aloitettiin huoneenlämpötilassa, jolloin testimenetelmän kehitys on suoraivaisempaa. Testituloksena saatavaa materiaalitietoa voidaan hyödyntää materiaalin FEM-mallinnuksen apuna ja suunnitteluparametrien vertailuun. Visuaalinen särönkasvun seuranta kameralla varsinkin korotetussa lämpötilassa asettaa rajoituksia testijärjestelmälle, jolloin kamera ei esimerkiksi voi olla lämpökaapin sisällä. Testimenetelmä on kehitetty erityisesti kumimateriaalien tutkimukseen.

## **Testiympäristö**

Särönkärjen tutkimuksessa käytetään väsyttävää kuormitusta, joka voidaan toteuttaa hydraulisella kuormituskeuhällä. Tässä tutkimuksessa käytettiin Instron 8872 -kuormituskeuhää (kuva 1). Kuormituskeuhän kapasiteetti on 25 kN ja voima-anturina käytettiin koneen 25 kN anturia, minkä todettiin olevan riittävän tarkka käytettävällä voima-alueella. Anturin tarkkuus todennettiin kalibroitodistuksen lisäksi erillisellä sarjaan asennetulla, kalibroidulla 5 kN voima-anturilla ja testimittauksin. Varsinaisissa testeissä käytettiin siirtymäohjausta, joka toteutettiin käyttäen koneen omaa siirtymäanturia. Siirtymää mitattiin rinnan myös MTS 634.31F-24 (SN: 10290977) -ekstensiometrillä, jonka lukemia käytettiin laskennoissa. Ekstensiometrin mitta-alue on +4/-2 mm, ja se kiinnitettiin suoraan koekappaleen kiinnitysleukojen sivuun.

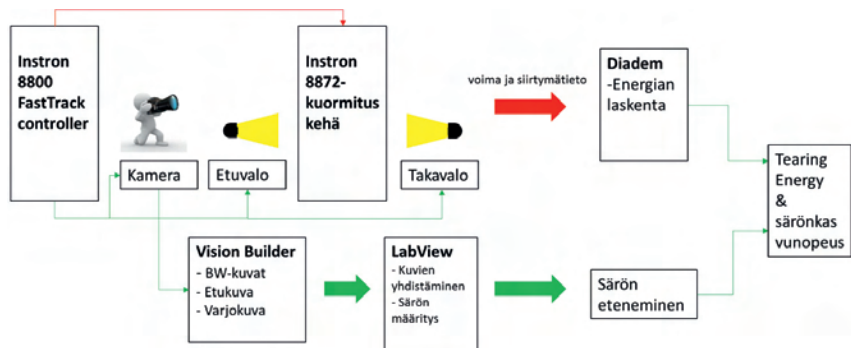
Kuormituskeuhää ohjataan omalla ohjaimella, josta käytetään tässä myöhemmin nimitystä ”controller”. Controllerissa on liityntämahdollisuus analogisille

ja digitaalisille tuloille ja lähdöille. Analogisten kanavien välityksellä controlleeriin voidaan kytkeä ulkopuolisia antureita, kuten esimerkiksi ekstensiometri, LVDT- tai voima-anturi. Digitaalisilla kanavilla voidaan antaa tai ottaa vastaan ns. triggera signaaleja.



KUVA 1. Instron 8872 -kuormituskehä (kuva Markus Bruun)

Testijärjestelmän kokoonpanoa on havainnollistettu kuvassa 2, jonka mukaisesti standardin repimisenergia sekä särönkasvunopeus määritetään. Järjestelmän ylimmän tason ohjaimena toimii Instron-kuormituskehän controller, joka seuraa kuormituskertojen lukumäärää ja ohjaa kuormituskehää, valoja sekä kameraa kuormituskertojen perusteella.



KUVA 2. Konenäköjärjestelmän toimintakaavio (kuva Kari Dufva)

Kuvat otetaan tuhansien tai kymmenien tuhansien kuormituskertojen välein, jolloin testatussa materiaalissa on ehtinyt tapahtua havainnoitavaa muutosta särön etenemässä. Kuvauksen ajoitus on hyvin riippuvainen testattavan materiaalin ominaisuuksista, ja oikean kuvauksen taajuus tulee aina määrittää testattavan materiaalin mukaisesti.

## LabVIEW-ohjelmointiympäristö

Työssä käytettävä National Instrumentsin LabVIEW-ohjelmointiympäristö on pitkään ollut tutkimuksen ja teollisuuden käyttämä ympäristö kone- ja laitejärjestelmien mittaus- ja automatisointikohteissa. Monilla eri toimialoilla toimiva National Instruments on kehittänyt moniulotteisen lähestymistavan tekniikan ja tieteen sovelluksia ajatellen. Keskeistä tässä lähestymistavassa on LabVIEW-kehitysympäristö, joka on suunniteltu nopeuttamaan työskentelyä graafisen ohjelmoinnin avulla. Tällöin on helppo visualisoida ja luoda koodia teknisiin järjestelmiin. Kehitysympäristöä on jo vuosien ajan sovellettu esineiden Internetin lukuisissa sovelluksissa, ja sen avulla voidaan kehittää liiketoimintaa data-analyysien, seurannan ja mittauksen avulla. Kehitysympäristön tukena on tiedonkeruuseen, sulautettuihin laitteistoihin, tiedonsiirtoon sekä mittauslaitteiden ohjaukseen tarkoitettuja laitteistoja, eri laitteistoalustoja sekä useita sovellusohjelmistoja. ([www.ni.com/labview/](http://www.ni.com/labview/)).

Tässä työssä käytettiin National Instrumentsin NI DIAdem -jalkianalysohjelmaa, johon ohjelmoidulla laskentaohjelmalla laskettiin voima- ja siirtymätiedosta energiataso ilman särön pituuden vaikutusta. DIAdem on mittausdatan hallinnointiin, analysointiin, käsittelyyn ja raportointiin tarkoitettu ohjelma, jonka avulla suurien mittaustietokantojen käsittely on nopeaa. Koneaköjärjestelmän kuvat analysoitiin puolestaan LabVIEW-ohjelmaympäristöön ohjelmoidulla särön pituuden analysointiohjelmalla. Näiden tietojen perusteella voidaan määrittää lopuksi säröön vaikuttava repimisenergia särön kasvunopeuden suhteen.

Kuvien analysoinnissa hyödynnetään mustavalkokuvien kontrastia. Särön sijainti lasketaan taustavalkokuvan kuvapikseleiden intensiteettiarvoista muodostettavan matriisin ja etukuvauksella saadun asematiedon perusteella. Särön pituuden määrittäminen tehdään jälkianalyysinä testinaikaisista kuvista. Testinaikainen kuvaus ja kuvien tallennus suoritetaan erillisellä tietokoneella irrallaan controllerin tietokoneesta, jotta eri ohjelmistot eivät aiheuta häiriöitä keskenään.

Standardin ISO 27727 -mukaisessa testissä ajetaan kutakin venymätasoa vasten sekä alkusäröllinen koekappale että ehjä (alkusärötön) koekappale. Ehjällä koekappaleella määritetään repeämisenergia  $T$  alla olevan kaavan mukaisesti

$$T = W \cdot h_0 \quad (1)$$

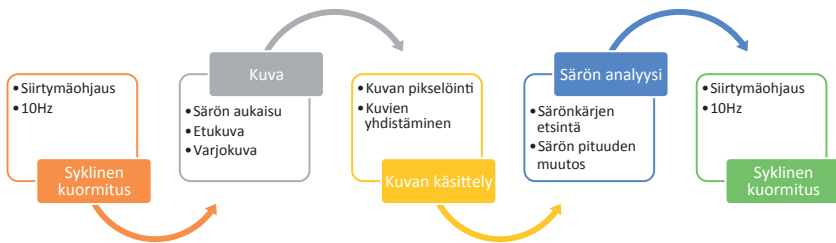
missä  $W$  on venymä-energiatiheys määritettynä ehyen (alkusäröttömän) koekappaleen jännitys-venymäpaluukäyrän integraalista, ja  $h_0$  on koekappaleen testialueen korkeus.

Kirjallisuudessa on kuitenkin yleisesti käytetty yhden koekappaleen menetelmää, jossa ajetaan vain säröllistä koekappaletta ja repimisenergia määritetään samasta koekappaleesta särönpituus huomioon ottaen.

### Järjestelmän toimintaperiaate

Testikokoonpano sisältää konenäkökameran, jolla kuvataan särön etenemistä sekä etuvalaistuksella että takavalaistuksella, eli niin kutsutulla varjokuvauksella. Etuvalaistuksella otetut kuvat antava lisäinformaatiota särön etenemisestä, jota ei saada pelkästä varjokuvasta. Etuvalaistuksella otetulla kuvalla kalibroidaan kuvan sijaint, testikappaleeseen asetetun mitta-asteikon avulla ja lasketaan varjokuvasta särönpituus. Testijärjestelyn puutteena voidaan todeta särön kuvauksen toteutuminen vain kappaleen etupuolelta, jolloin särön vino eteneminen voi tuoda poikkeamaa tuloksiin.

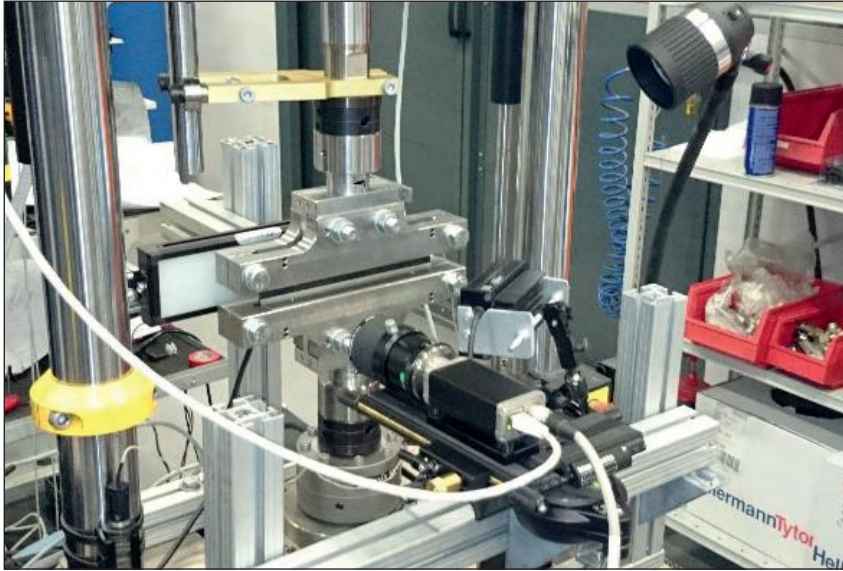
Testin aikana otetut kuvat analysoidaan erikseen ohjelmoidulla särönkärjen ja -pituuden analysointiohjelmalla. Ohjelma tunnistaa varjokuvasta automaattisesti selvästi kasvavan särön kärjen, kalibroi kuvan etuvalolla otetusta kuvasta ja laskee särönpituuden. Selvästi kasvavalla säröllä tarkoitetaan esimerkiksi kuvassa 5 esitettyä säröä, jolla on selvä kontrasti ja yksiselitteinen kärki. Jälkianalyyysina lasketaan automaattisesti myös repeämisenergia testin aikaisista mittauksista Diadem-ohjelmalla ohjelmoidulla laskentaohjelmalla. Kuvassa 3 on esitetty kuvankäsittelyn periaatteellinen kulku.



KUVA 3. Kuvan käsittelyprosessi (kuva Kari Dufva)



Kuvassa 4 on esitetty kamera, valaistus ja kiinnitysjärjestelmä. Järjestelmässä käytetään laitteen edessä olevaa Basler Pilot -kameraa ja etuvalaisinta sekä koekappaleen takana valaisinta, jolloin koekappaleesta saadaan mahdollisimman terävä mustavalkoinen varjokuva. Suuri kontrasti on eduksi kuvankäsittelyssä, jossa särönkärki määritellään pikseleiden väriarvojen perusteella.

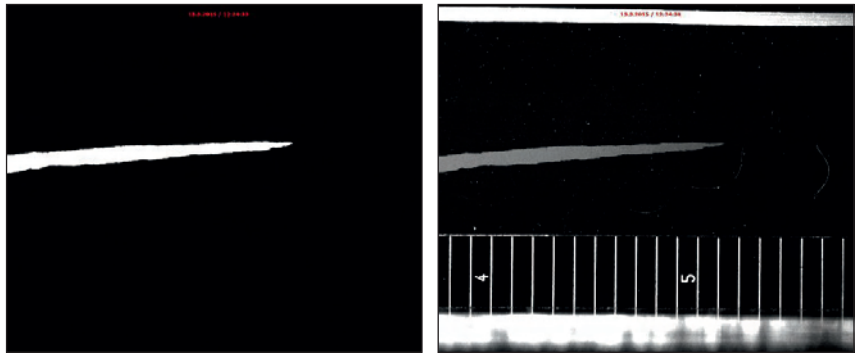


KUVA 4. Kamerajärjestelmä ja valaisimet (kuva Tero Karttunen)

### Särönkärjen seuranta

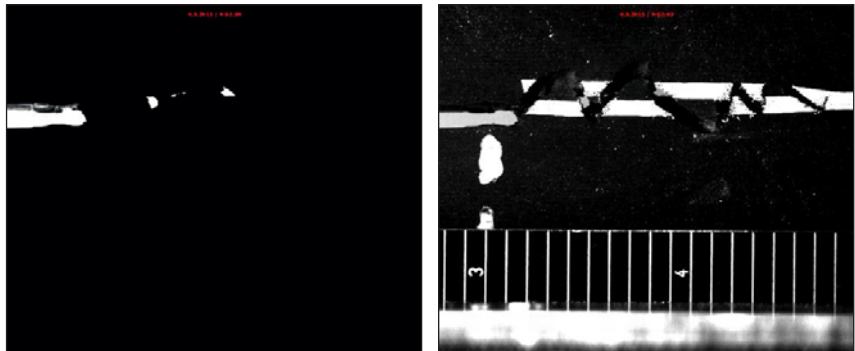
Automaattinen kuvankäsittely asettaa joitakin rajoituksia käsiteltävän kuvan laatuun. Särön tulee jossakin määrin noudattaa ennalta odotettua muotoa ja kontrastin tulee olla riittävä suuri, jotta kärjen paikka voidaan luotettavasti todentaa. Toteutettujen testien avulla todettiin särön muodon ja etenemän suunnan olevan riippuvainen testattavasta materiaalista. Kuvantamisen kannalta erilaiset särönmuodot ovat ongelmallisia. Tärkeimpänä tekijänä toteutuksessa järjestelyssä on varjokuvan onnistuminen siten, että valo läpäisee avautuneen särön kokonaisuutena. Tällöin avautuneeseen kohtaan saadaan selvästi valkoinen alue, josta särön kärki on paikallistettavissa. Toisin sanoen särön etenemän tulee olla poikkileikkauksessa symmetrinen ja ulottua läpi materiaalin.

Särön käyttäytymistä testattiin kahdella eri materiaalilla, jolloin särön kasvumekanismissa huomattiin selkeä ero materiaalien välillä. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty kuvat eri materiaalien koekappaleista. Kuvissa vasemman puoleinen kuva on otettu taustavalaistuksella ja oikeanpuoleinen etuvalaistuksella. Kuvassa 6 valkoinen viiva visualisoi paremmin pinnan säröä. Kuvasta 5 huomataan, että särö etenee kohtuullisen suoraviivaisesti ja etu- ja takavalolla otettujen kuvien välillä ei ole mainittavaa eroa särön pituuden suhteen. Kuvassa 6 olevalla materiaalilla särö etenee ylös ja alas koekappaleen pinnalla särön menemättä kuitenkaan täysin koekappaleen läpi. Taustavalokuvassa on vain pari läpi menevää aukkoa, vaikka pinnalla särö on edennyt huomattavasti. Tästä johtuen kuvan 6 mukaisista kuvista ei saada määriteltyä särön etenemää automaattisesti. Särön eteneminen pinnassa menemättä materiaalin läpi vaikuttaa luonnollisesti särönkasvuun, koska energia ei mene kokonaan särönkärkeen. Kannakkeet ottavat vastaan osan energiasta ja särönkasvu on epämääräistä.



KUVA 5. Esimerkki hyväkontrastisesta kuvasta (kuvat Tero Karttunen)

Kuvien 5 ja 6 oikeanpuoleisissa kuvissa erottuu mitta-asteikko, jolla koekappale sijoitetaan koordinaatistoon. Etu- ja takavalolla otettujen kuvien välillä kappale ei saa liikahda, sillä tällöin etuvalon avulla määritelty positio ei ole enää pätevä. Tästä johtuen kuvat on syytä ottaa peräkkäin.



KUVA 6. Esimerkki särön hajoamisesta (kuvat Tero Karttunen)

## Johtopäätökset

Materiaalissa etenevän särön ominaisuuksien tutkimiseksi kehitettiin konenäköä hyödyntävä menetelmä, jolla särön etenemää voidaan seurata automaattisesti väsyttävässä kuormituksessa, sekä määrittää säröä repivä voima. Testijärjestelyn kehittämisessä on käytetty ISO 27727 -standardia, mutta käytännön kokemuksen kautta on nähty erittäin hyödylliseksi seurata kirjallisuudessa mainittuja asioita. Esitellyssä menetelmässä hyödynnetään kahta valonlähdetä sekä yhtä kameraa, jolloin särön muoto ja etenemä määritellään vain toiselta puolelta testikappaletta. Tämä asettaa rajoituksia tarkasteltavan särön muodolle, jota tulee valvoa testauksen aikana myös silmämääräisesti. Materiaaleissa, joissa särön etenemä on kohtuullisen symmetrinen materiaalin paksuuden yli ja etenemä suoraviivainen, voidaan testattujen materiaalien osalta todeta järjestelmän soveltuvan hyvin särönkasvun tutkimukseen.

## LÄHTEET

ISO 27727:2008(E), International standard: Rubber, vulcanized – Measurement of fatigue crack growth rate.

[www.ni.com/labview/](http://www.ni.com/labview/). Luettu 01.11.2015.

# TUOTEPROTOTYYPIN VALMISTUS RUISKUVALUTEKNIIKALLA HYÖDYNTÄEN MATERIAALIA LISÄÄVÄÄ VALMISTUSMENETELMÄÄ

*Kari Dufva & Markus Bruun*

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ainetta lisäävän valmistusmenetelmän käytettävyyttä ruiskuvalutekniikassa. Muovien ruiskuvalutekniikassa käytettävät muotit muodostavat huomattavan osan tuotteen kustannuksista aiheuttaen joskus rajoituksia tuotesuunnittelulle. Tuoteprototyypin valmistuksessa tarvittavien muottien muutoskustannukset ovat suuria, ja muutoksia eri tuotevariaatioihin ei tuotelanseerauksen lähestyessä välttämättä ole enää mahdollista toteuttaa. Tällöin edullisemmalla, pienille sarjoille soveltuvalla muotilla saadaan tuotesuunnittelun kustannuksia alennettua merkittävästi. Menetelmän tavoitteena on merkittävästi pienentää tuotekehityksen kustannuksia ja nopeuttaa tuotekehityksen aikaa.

Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti alkuvaiheen tuoteprototyypin valmistukseen, jolloin tuotantomittakaavan ruiskuvalukoneella voitiin valmistaa toiminnallinen prototyyppi materiaalista, josta tuote oli ajateltu valmistettavan lopullisessa tuotannossa. Tutkimuksessa valmistettiin ruiskuvalukoneeseen soveltuva muotti 3D-tulostamalla, sekä valmistettiin pieni sarja toiminnallisia sähkömailan prototyyppisiä.

## **Muovien ruiskuvalu**

Muovien ruiskuvalutekniikassa kiinteä muovimateriaali sulatetaan kitalämmön avulla sulatilaan ja johdetaan paineen alaisena muottiin. Muottitila täyttyy sulalla materiaalilla, minkä jälkeen muovi kovettuu kiinteäksi. Kovettumisen jälkeen muotti avataan ja kappale otetaan pois muottipesästä. Prosessille tyypillisiä ja tuotteen valmistusprosessin kannalta kriittisiä parametreja ovat käytettävä ruiskutusnopeus, sulan ja muotin lämpötila sekä jäähdytysaika. Muotin materiaalilla ja muotin toiminnollisuudella, kuten muottipesän muotoilulla ja kappaleen irrotustoiminnoilla, on merkittävä rooli kokonaisprosessin toimivuudessa.

Muottipesän toiminta, kulumiskestävyys ja pinnanlaatu vaikuttavat kaikki merkittävästi sen käyttöikään ja tuotteen laatuun. Tästä syystä on tärkeitä suunnitella muotti mahdollisimman hyvin. Muottisuunnittelun apuvälineenä voidaan käyttää simulointimalleja, joiden avulla virtauskanaviston muotoa ja syöttöportin sijaintia voidaan optimoida mahdollisimman hyväksi. Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin SolidWorks-ohjelmistoa ja ruiskuvaluprosessin simulointiin tarkoitettua Solidworks Plastics -moduulia. Ruiskuvalukoneena käytettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun Battenfeld HM 65/130 -ruiskuvalukonetta, joka on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Battenfeld HM 65/130 -ruiskuvalukone (kuva Markus Bruun)

Käytettävällä laitteella voidaan annostella maksimissaan 88,4 cm<sup>3</sup> sulaa muovia muottiin teoreettisen ruiskutuspaineen ollessa 1540 bar. Laitteessa on myös 140 °C:n temperointilaitte. Muottipöydän koko on 550 mm x 530 mm ja johteiden väli 370 mm x 320 mm. Laitteen sulkuvoima on 650 kN.

### 3D-tulostus

Ainetta lisäävien valmistusmenetelmien käyttö ja laitteet ovat lisääntyneet viime vuosina huomattavasti niin teollisuus- kuin kuluttajatuotteissa. Valmistavalle teollisuudelle on tarjolla useita erilaisia teknologioita niin metallien kuin muovien valmistukseen kuluttajille tarjottavien tuotteiden rajoittuessa vielä pääasiassa muovimateriaaleihin. Termit ”3D-tulostus” ja ”ainetta lisäävä valmistus” tarkoittavat yleiskielessä ja viestinnässä usein samaa asiaa. Materiaalia lisäävä valmistus on suorempi käännon englanninkielisestä termistä ”Additive manufacturing”, kun taas 3D-tulostaminen viittaa enemmän kaksitulostamisesta johdettuun termiin, jolla puhkielessä usein tarkoitetaan juuri ainetta lisääviä valmistusmenetelmiä yleisesti (Firpa).

Tässä tutkimuksessa käytettiin Stratasys Objet Eden 260 V –tulostinlaitetta, joka hyödyntää materiaalin ruiskutukseen perustuvaa Polyjet-tekniikkaa. Laitteen materiaalivalikoima on kohtuullisen monipuolinen ja sen materiaalivalikoimaan kuuluu epoksipohjainen materiaali, jonka lämpötilan ja paineen kesto ovat riittäviä, jotta sitä voidaan soveltaa muovien ruiskuvaluun. Laitteella voidaan tulostaa myös joustavaa materiaalia, joka tuo lisää monipuolisuutta tulostettavien sovellusten valikoimaan.

### **Tuotteen tilavuusmallin luominen**

Tutkimuksessa valmistettavaksi tuotteeksi valittiin sählymailan lapa, joka valmistettaisiin suuren tiheyden polyeteenistä. 3D-tulostusmenetelmien hyödyntämisketjuun liitetään usein olemassa olevien tuotteiden jonkinasteinen kopiointi ja tuotteiden personoitavuus, jolloin skannaustoiminnot ovat merkittävä osa suunnitteluprosessia. Tutkimuksessa hyödynnettiin olemassa olevaa mailan lapa, josta luotiin 3D-malli Solidworks-ohjelmistolla. Täysikokoista tuotetta skaalattiin hiukan pienemmäksi johtuen käytettävissä olevasta laitekapasiteetista tulostusalueen sekä ruiskuvalukoneen ruuvitilavuuden osalta. Tuotteen tilavuusmalli on esitetty kuvassa 2.



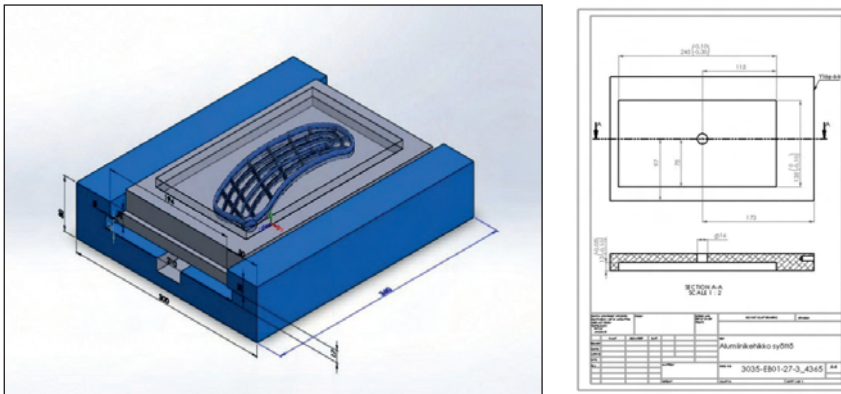
KUVA 2. Mailan lavan tilavuusmalli visualisoituna (kuva Markus Bruun)

### **Muotin asettelu ruiskuvalukoneeseen ja muottikehys**

Muotti valmistettiin 3D-tulostamalla UV-kovettuvasta epoksipohjaisesta materiaalista, josta laitevalmistaja käyttää nimeä RGD525. Tulostusmateriaalin säästämiseksi muotti haluttiin tulostaa mahdollisimman pienellä tilavuudella, ja tästä johtuen päädyttiin käyttämään alumiinista tukirakennetta. Muotti koostuu siten tulostetusta muottiosasta sekä alumiinisesta kehyksestä, johon 3D-tulostettu muotti asetetaan. Alumiinisen rungon tehtävänä on johtaa

lämpöä sekä toimia tukena epoksipohjaiselle ja heikommalle muottimateriaalille. Muotin konstruktio on esitetty kuvassa 3.

Tulostemateriaali on riittävän kestävä toimimaan ilman tukirakennettakin, mutta tällöin tarvitaan huomattavasti suurempi seinämävahvuus ja tulostinmateriaalia kuluu enemmän. Tulostin rakentaa RGD525-materiaalia käytettäessä kennomaisen rakenteen jättäen kappaleen sisäosan kennomaiseksi. Pintakerros on yhtenäinen ja muutaman millimetrin paksuinen kerros hujajakennoa muistuttavan sisärakenteen päällä. Tästä johtuen kaikki reiät on syytä suunnitella jo ennen kappaleen tulostusta, sillä tällöin myös reikien sisäpintaan muodostuu yhtenäinen materiaalikerros ja pinnan kuoriutumisen reiän epäjatkuvuuskohdista on epätodennäköisempää.



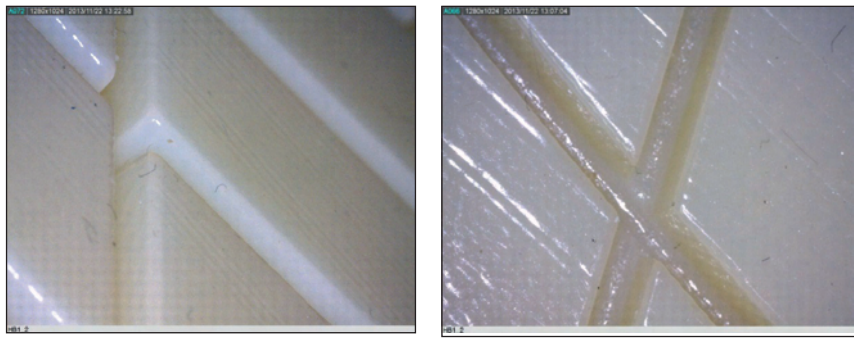
KUVA 3. Tulostettava muottiosa ja alumiininen tukirakenne (kuvat Kari Dufva)

Käytetyn polyteenin sulan lämpötila ruiskutusylinterissä on noin 220 °C astetta. Tämä yhdessä ruiskutuspaineen aiheuttaman sulan leikkautumisen ja siitä johtuvan lämpenemisen muodostaman mekaanisen rasituksen kanssa muodostaa rajoitteita mahdollisille muottimateriaaleille. Taulukkoon 1 on koottu joitakin fysikaalisia materiaaliominaisuuksia Stratasys PolyJet RGD525 -materiaalista (Stratasys).

TAULUKKO 1. PolyJet RGD525 -materiaalin fysikaalisia ominaisuuksia

	ASTM	Yksikkö	Arvo
Vetolujuus	D-638-03	MPa	70 - 80
Murtovenymä	D-638-05	%	10 - 15
Kimmokerroin	D-638-04	MPa	3200 - 3500
T <sub>g</sub>	DMA, E	C	62 - 65

Tulostettu muotti oli hiukan kaareva tulostuksen jälkeen, minkä johdosta se jälkikovetettiin kevyen painon alla. Jälkikovetuksen jälkeen muotissa oli havaittavissa suoristumista sekä pieniä mittamuutoksia siten, että muotin ulkomitat olivat systemaattisesti kasvaneet. Mittamuutokset olivat sadasosamillimetrejä, mutta vaikka mittamuutokset olivat pieniä, oli niillä kuitenkin vaikutusta muotin asetteluun alumiiniseen tukikehikkoon, sillä muottipesä on kiinni alumiinisessa kehyksessä ainoastaan ahdistussovitteella. Liian suuri muottipesä on hankala saada paikoilleen ja siihen kohdistuu tällöin tarpeettoman suuri puristusvoima. Tulostettu muottipinta on silmämääräisesti katsottuna hieman aaltoileva, ja muotin jakotasoon jää tällöin pieniä kanavia, jotka ovat mahdollisia vuotokohtia. Kuvassa 4 muottipinta on kuvattu pienen suurennoksen avulla.

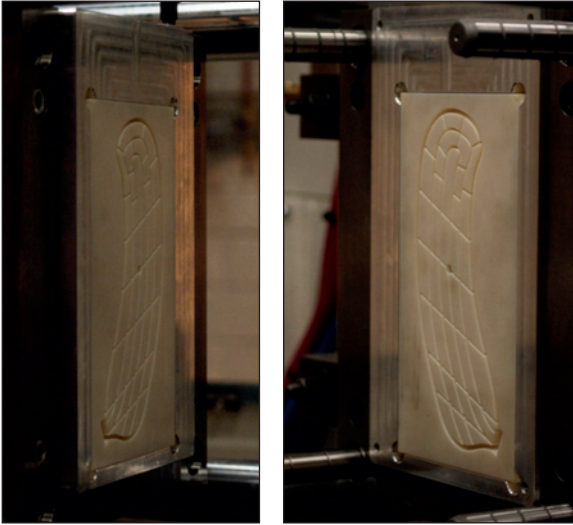


KUVA 4. 3D-tulostettu muottipinta (kuvat Kari Dufva)

### Mailan lavan ruiskupaluprosessi

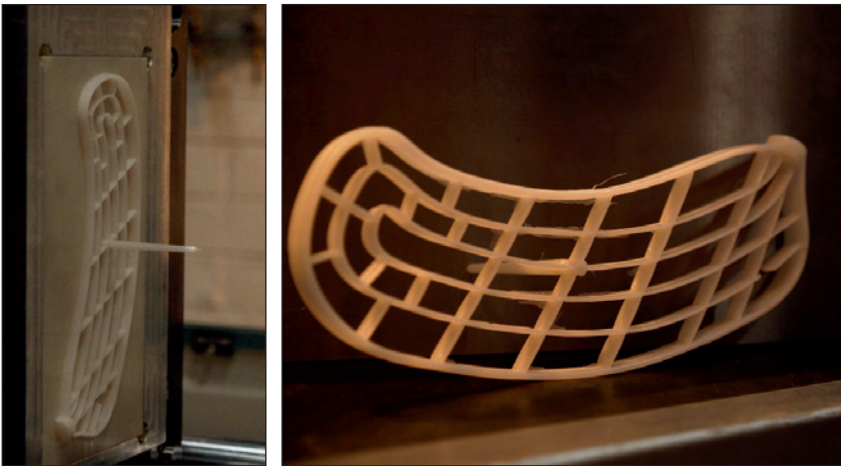
Käytetty muotti on kaksiosainen, ja muotin jakotaso on kappaleen keskilinjalla. Muottiin ei rakennettu erillisiä ulostyöntäjiä eikä jäähdytyskanavia, sillä tavoitteena oli pitäytyä mahdollisimman yksinkertaisessa konstruktiossa. Tällöin myös prototyypin kustannukset saatiin pidettyä mahdollisimman alhaisina. Yksittäiskappaleita tehtäessä muottiin ei oletettavasti varastoidu sarjatuotannossa muodostuvaa lämpöenergiaa, eikä muotin jäähdyttämällä saavuteta merkittävää etua. Prototyypin valmistuksessa lämpötilan hallinnalla voitaisiin kuitenkin todennäköisesti vaikuttaa myönteisesti muotin kestoikään. Tällöin prototyypin valmistukseen tarkoitettua muottia voitaisiin hyödyntää monipuolisemmin varsinaista tuotantoa ajatellen. Kuvassa 5 on muottipuoliskot asetettuina ruiskupalukoneeseen yhdessä alumiinisen tukilevyn kanssa.





KUVA 5. Muottipuoliskot ruiskuvalukoneessa (kuvat Kari Dufva)

Kuvassa 6 on valmis kappale välittömästi valun jälkeen muotissa ja muotista poistettuna. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on myös havaittavissa muotin syöttökanavan sijainti.



KUVA 6. Valettu lapa muotissa sekä muotista poistettuna (kuvat Kari Dufva)

Koeajon aikana pidettiin tauko, jonka aikana muotti päästettiin jäähtymään kauttaaltaan. Uudelleen käynnistettäessä muotissa oli havaittavissa välittömiä repeämiä, ja yhtenäinen pintakerros murtui kennomaisen ytimen päältä aivan syöttöpisteen läheisyydestä. Koeajon aikana tapahtunut lämpötilojen muutos todennäköisesti aiheutti muotin murtumisen muotia uudelleen paineis-

tettaessa. Tämä voi johtua osittain kennomaisen ydinaineen aiheuttamasta erilaisesta lämpölaajenemisesta verrattuna yhtenäiseen pintakerrokseen sekä korkeasta ruiskutus- ja jälkipaineesta.

### **Johtopäätökset**

Työssä valmistettiin muovien ruiskuvalukoneeseen sopiva muotti ainetta lisäävällä valmistusmenetelmällä sekä ruiskuvalettiin 10 kappaletta sähkömailan lapoja. Tämän koesarjan jälkeen muotissa alkoi tapahtua repeytymistä ja koeajot jouduttiin keskeyttämään. Tulostettua muottipesää käytettiin yhdessä alumiinisen tukirakenteen kanssa, jolloin modulaarinen muottirakenne mahdollistaa uuden muotin tulostamisen samaan tukirakenteeseen ja kiinnittämisen ruiskuvalukoneeseen ilman tukirakenteen irrottamista ja uudelleen asennusta. Tällöin erimuotoisten lapojen valmistaminen lopullisesta tuotantomateriaalista nopeutuu huomattavasti.

## **LÄHTEET**

Firpa 2015. [http://www.firpa.fi/html/sanasto\\_html.html](http://www.firpa.fi/html/sanasto_html.html). Luettu 22.09.2015.

Stratasys 2015. <http://www.stratasys.com>. Luettu 22.09.2015.

# TEOLLINEN INTERNET

*Mikko Hokkanen*

Perinteiset teollisuusmaat, kuten USA, Japani, Saksa, Italia, Englanti ja Ranska, ovat merkittävästi menettäneet osuuksiaan tarkasteltaessa teollisuuden tuottamaa arvoa ja teollisuustyöpaikkojen lukumääriä 1990-luvun alusta alkaen. Samaan aikaan kehittyvät teollisuusmaat ovat kasvattaneet osuuksiaan tasaisesti. Esineiden ja asioiden Internet (Internet of Things, IoT) ja teollinen Internet mielletään osaksi kehitystä, jonka myötä teollisuuden globaali kehityssuunta on mahdollista kääntää. (Blanchet et al. 2014)

Digitalisaatio on merkittävä muutoksen aiheuttaja teollisuuden toimintavoimissa. Yrityksillä on digitalisaation myötä mahdollisuus kehittää uusia toimintatapoja, mutta samalla ne ovat myös pakotettuja etsimään niitä. IoT on maailmanlaajuisesti kasvava digitalisaatioon liittyvä trendi, jolla tarkoitetaan kaiken (esim. koneiden, laitteiden, järjestelmien, ihmisten ja palvelujen) kytkemistä toisiinsa tietoverkkojen välityksellä. Tämän kytkennän tarkoituksena on mm. synnyttää uusia liiketoimintamalleja, tuotteita, palveluita ja tuotantotapoja sekä kasvattaa olemassa olevien tuotteiden ja palveluiden arvoa, tuotavuutta ja tehokkuutta kehittämällä ja tehostamalla toimintaa reaaliaikaista tiedonkeräystä, analysointia ja ohjausta hyödyntäen.

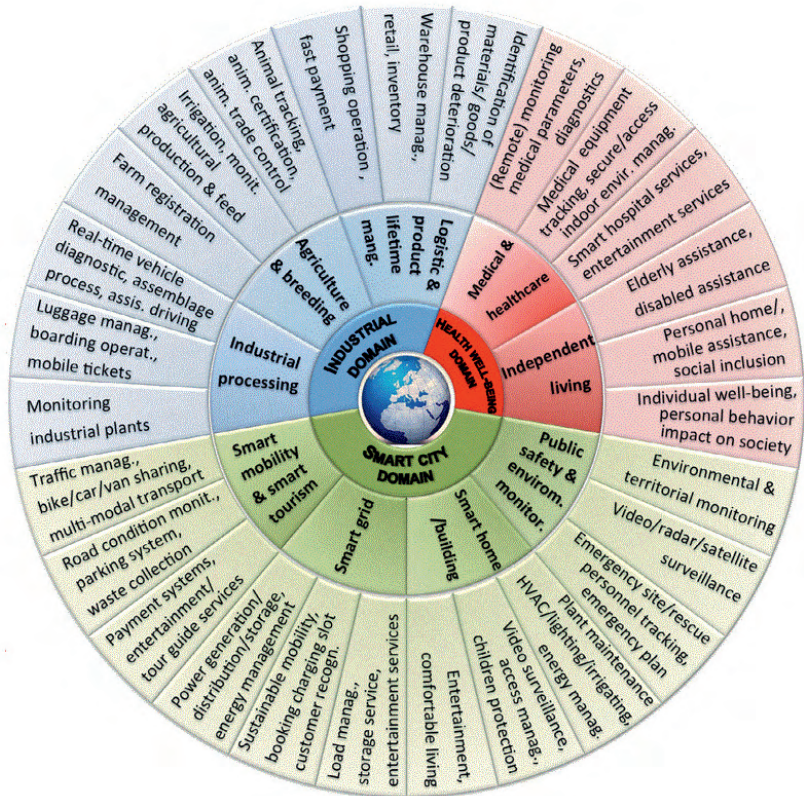
## **Internet of Things – asioiden ja esineiden Internet**

Teollisuuden tuottama arvo ja teollisuuden työpaikkojen lukumäärä on laskenut perinteisissä teollisuusmaissa, kuten USA, Japani, Saksa, Italia, Englanti ja Ranska, 1990-luvun alusta alkaen. Samaan aikaan kehittyvien teollisuusmaiden teollisen arvonlisäyksen kehitys on vuoden 1991 21 % tasosta noussut vuoteen 2012 mennessä 40 %:iin. Eurooppa tarvitsee teollisuutta talouden vakauttajana. ICT:n ja digitalisaation kehityksen vaikutuksesta syntyneet paradigmat, kuten asioiden ja esineiden Internet, teollinen Internet ja kyberfysikaaliset järjestelmät, nähdään mahdollisuudeksi kääntää teollisuuden maantieteellinen kehityssuunta kohti Eurooppaa. (Blanchet et al. 2014)

## **Määritelmiä**

Asioiden ja esineiden Internet (Internet of Things, IoT) voidaan määritellä esimerkiksi eri toimialoihin liittyvien sovelluskohteiden avulla (kuva 1). Ter-

veys ja hyvinvointi -toimialaan liittyy palveluita, kuten ihmisen elintoimintojen monitorointia ja analysointia (esim. syke, lämpötila ja verensokeri), sekä ikääntyvien ihmisten itsenäisen asumisen avustamiseen tähtäviä palveluita. Älykkäät kaupungit -toimialaan kuuluvat älykkäät energiaverkot, julkiset rakennukset ja kodit sekä ympäristön monitorointi ja yleinen turvallisuus. Teollisuustoimialaan kuuluvat teolliset prosessit, logistiikka- ja tuotteiden elinkaari-palvelut sekä maatalous.



KUVA 1. Esineiden ja asioiden Internetin määritelmä toimialoittain ja sovelluskoh-teittain (Borgia 2014)

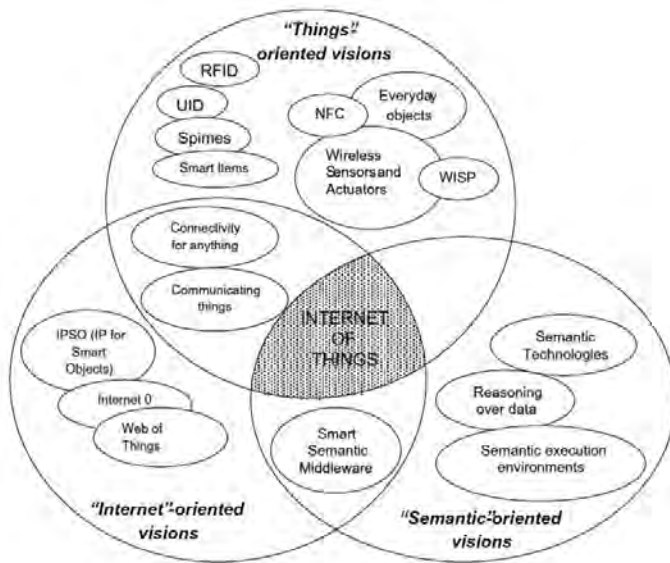
IoT:n peruseriaatteena on tarkasteltavana olevan kohteen todellisen tilan ja toiminnan saattaminen läpinäkyväksi keräämällä tietoa siitä sekä siihen liittyvistä kohteista ja ympäristön ilmiöiden vuorovaikutuksesta soveltamalla edistyksestä analytiikkaa sekä tiedon jakaminen ja hyödyntäminen. Merkittävin uusi näkökulma on autonomisesti osana objektien (asiat, esineet, ”things”) normaalia toimintaa tapahtuva datankeräys ja analysointi. IoT on terminä jo vanha (Kevin Ashton 1999), mutta se on kehittynyt viime vuosina kiihtyvällä vauhdilla (Google Trends). Sovelluksien lukumäärä kasvaa nopeasti, mutta edelleen keskustelua IoT:n ympärillä käydään erilaisten visioiden ja

skenaarioiden kautta ennemmin kuin toteutettujen sovelluksien toimintaa ja merkitystä analysoiden. IoT:n tutkimuksellisenä ongelmana pidetään selkeiden määritelmien, rajoitusten ja standardisoidun terminologian puuttumista sekä pragmaattisten ja teoreettisten määritelmien muodostamisen vaikeutta (Atzori et al. 2010). Määritelmien ja standardien puuttumista selittää osaltaan myös soveltvien toimialojen laaja kirjo ja erilaisuus. Lähteen (Li Da Xu 2014) mukaan yleisesti hyväksytty IoT:n määritelmä on:

*”Dynaaminen globaali verkkoinfrastruktuuri, jolla on standardeihin ja yhteentoimiviin kommunikaatioprotokolliin perustuva kyky itse-konfiguroitua ja jossa saumattomasti tietoverkkoon integroidut fyysiset ja virtuaaliset identiteeteillä, fyysisillä attribuuteilla ja virtuaalisilla persoonallisuuksilla varustetut objektit käytävät älykkäitä rajapintoja.” (Li Da Xu 2014.)*

### IoT:n teknologiset mahdollistajat

IoT:a voidaan käsitellä kokoavana teemana tai paradigmana, joka määrittynyt teknisten mahdollistajien ja niitä hyödyntävien sovelluksien mukaan. Tekniset mahdollistajat voidaan jaotella erilaisten visioiden mukaan (kuva 2).



KUVA 2. IoT eri visioiden yhdistelmä (Atzori et al. 2010)

IoT:n alkuperäinen ajatus pienten ja yksinkertaisten laitteiden yhdistämisestä toisiinsa tietoverkkojen välityksellä luo tarpeen identifoida yksittäisiä objekteja yksilöllisellä tunnisteella ja osoitteella. Objektin jäljitettävyyden mahdollistuu antamalla sille tietoisuus esimerkiksi omasta tilastaan ja sijainnistaan sekä kyky viestiä niistä verkon välityksellä. Tässä yhteydessä avainteknologioita ovat esim. radiotaajuudella tapahtuva etätunnistus (Radio-Frequency IDen-

tification, RFID), sähköinen tuotekoodi (Electronic Product Code, EPC) ja erilaiset yksilölliset tunnistustekniikat (Unique Identifier (UID), Wireless Identification and Sensing Platform (WISP), ja lähikenttäviestintä (Near Field Communication (NFC)). (Atzori et al. 2010.)

IoT:n semanttinen visio perustuu semanttisen webin tutkimuksessa kehitettyjen menetelmien, kuten ontologioiden, metatiedon, linkitetyn datan ja semanttisten verkkopalveluiden, mahdollisuuksiin toimia IoT:n keskeisinä elementteinä. Tavoitteena on saattaa heterogeeniset tietosisällöt yhteisen käsitteistön avulla muotoon, jossa kuvataan tietoaineiston sisältöä ja merkitystä pelkän rakenteen sijaan. Tämän avulla pyritään monipuoliseen ohjelmien väliseen yhteistyöhön ja mm. ohjelmallisesti tapahtuvaan päättelyyn sekä tiedon synnyttämiseen datasta ja informaatiosta. (Dataversity 2013.)

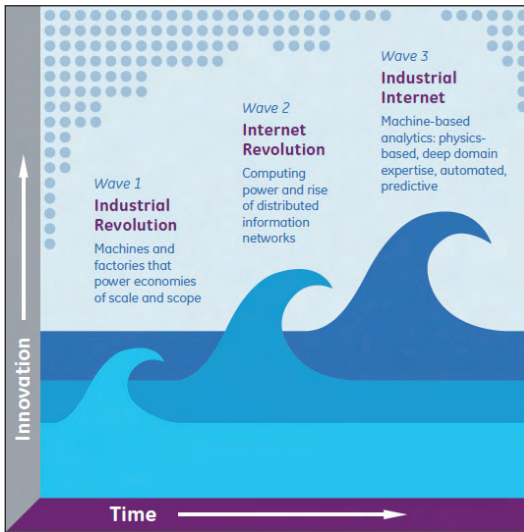
IoT:n yksittäisten objektien valtava määrä synnyttää suuren määrän tallennettavaa ja siirreltävää dataa pervasiivisen datan digitoinnin myötä. Tämän lisäksi myös jo olemassa olevia tietoaineistoja digitoidaan ja erityyppisten tietolähteiden fuusio (esim. reaaliaikainen ja historiadata) synnyttäne osaltaan uutta liiketoimintaa. Arvioiden mukaan vuoteen 2020 mennessä yhdistettyjä laitteita on 50 miljardia (6,58 laitetta ihmistä kohti) ja kerätyn datan määrä kaksinkertaistuu kahden vuoden välein. NetApp-yrityksen tekemän selvityksen mukaan tallennetun tiedon määrä saavuttaa kahdeksan zettatavua (1 zettavu = 1 000 000 000 teratavua) vuonna 2015 (Deutscher 2012). Kasvavaan informaation määrään liittyy haasteita mm. tiedonsiirtoteknologioiden sekä varastointi-, tallennus- ja analyysimenetelmien kehitykselle. (Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011). Big Data -termi on syntynyt ja yleistynyt IoT:n myötä tarkoittamaan uuden monimuotoisen tiedon hyödyntämistä uudella tavalla. Big Dataa käytetään esimerkiksi tutkittaessa erilaisten ilmiöiden vaikutusta asiakkaiden käyttäytymiseen ja myynnin kehittymiseen (kysynnän vaihtelu) sekä kohdennetun mainonnan tarjontaan potentiaalisille asiakkaille heidän käyttäytymisestään kerätyn datan perusteella.

### **Teollisen Internetin perusta on IoT:ssa**

IoT ja teollinen Internet sekoitetaan usein toisiinsa. Teollinen Internet on osa IoT:a, ja teollisen Internetin sovellukset ja toiminnot keskittyvät mm. teollisuuden tuotteisiin ja palveluihin erottuen esimerkiksi suoraan kuluttajille suunnatuista tuotteista ja palveluista (Borgia 2014). Teollinen Internet voidaan nähdä IoT:n sovelluksena, ja IoT on teollisen Internetin mahdollistaja. (Atzori et al. 2010). Teollinen Internet nähdään kokonaisuudeksi, jonka avulla mahdollistetaan teollisten resurssien käytön digitaalinen optimointi (asiakkaiden) todellisten tarpeiden mukaan ekologisesti ja kustannustehokkaasti. Teollisen toiminnan kattava datankeräys, kerätyn datan analysointi, visualisointi, jalostaminen tiedoksi sekä tiedon jakaminen, rikastaminen ja linkittyminen ovat keskeisessä asemassa, kun tuotteita, tuotantoprosesseja, -resursseja

ja palveluita kehitetään yhä tehokkaammin ja tarkoituksenmukaisemmin toimivimmiksi kokonaisuuksiksi. (Juhanko et al. 2015.)

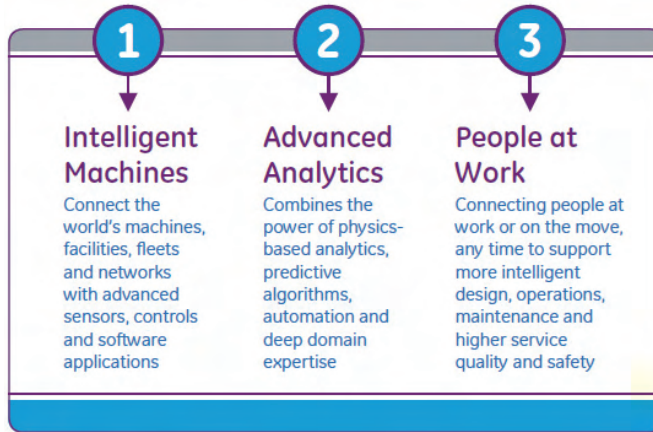
General Electric (GE) on yksi teollisen Internetin merkittävistä pioneereista, ja se on myötävaikuttanut koko paradigman syntyyn (Rainer & Alexander 2014). Teollisen Internetin katsotaan olevan seuraava kehitysaskel teollisen vallankumouksen ja Internetin vallankumouksen jälkeen (kuva 3).



KUVA 3. Kehitys kohti teollista Internetiä (Evans & Marco 2012)

Kustannustehokas monitorointi, edistynyt tietojen käsittely, analytiikka ja tietoverkkojen tarjoama yhdistettävyyden nopeuttavat ja tehostavat tuotteiden ja palveluiden tuotantoa mahdollistaen talouden, työpaikkojen lukumäärän ja elintason kasvun maailmanlaajuisesti. Tämä on mahdollista teollisen vallankumouksen myötä tapahtuneen koneellistumisen ja verkottumisen sekä viimeaikoina Internetin vallankumouksen myötä tapahtuneen ICT-alan voimakkaan kehittymisen johdosta. Nämä kehityspolut muodostavat teollisen Internetin kolme peruspilaria (kuva 4), joita ovat:

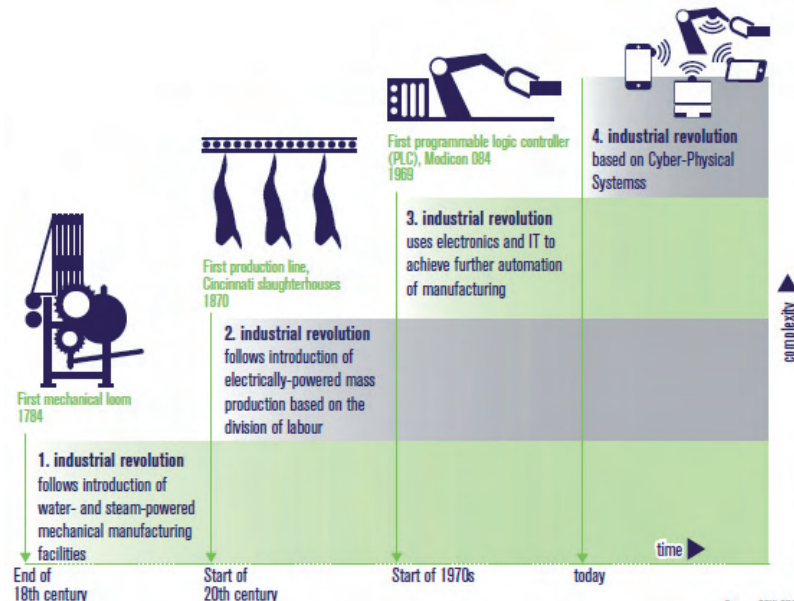
- **Älykkäät koneet** – Uusia tapoja verkottaa suuri määrä koneita, laitteita ja järjestelmiä edistyneen anturoinnin, ohjauksen ja ohjelmistoratkaisujen avulla.
- **Edistynyt analytiikka** – Fysikaalisiin suureisiin ja ilmiöihin perustuva analytiikka yhdistettynä ennustaviin algoritmeihin, automaatioon ja toimialakohtaiseen syväosaamiseen. Koneiden, laitteiden ja verkostojen muodostamien monimutkaisten systeemien toiminnan ymmärtäminen.
- **Ihmiset työssä** – Ihmisten yhdistäminen työhön uusilla tavoilla älykkään suunnittelun, käytön, kunnossapidon, parempilaatuisten tuotteiden ja palveluiden sekä turvallisuuden tukemiseksi. (Evans & Marco 2012.)



KUVA 4. Teollisen Internetin kolme peruspilaria (Evans & Marco 2012)

### Industrie 4.0 – Saksan teollisuuden kärkihanke

Saksassa käynnistetty kansallinen Industrie 4.0 -ohjelma tähtää valmistavan teollisuuden aseman säilyttämiseen Saksan talouden selkärankana. Tämän katsotaan edellyttävän valmistavan teollisuuden kilpailukykyyn merkittävää parantamista. Ohjelman nimi viittaa neljanteen teolliseen vallankumoukseen, jonka katsotaan tapahtuvan kyber-fysikaalisten järjestelmien (cyber-physical systems, CPS) syntyminen myötä (kuva 5). (Acatech 2013.)



KUVA 5. Neljä teollista vallankumousta (Acatech 2013)



Neljännän teollisen vallankumouksen potentiaalisten vaikutusten Saksan bkt:lle lasketaan olevan 78 Mrd. € vuoteen 2025 mennessä. Industrie 4.0 onkin Saksassa teollisuuden kärkihanke, johon liittovaltiotasolla panostetaan merkittävästi TKI-toiminnan tukina. Tavoitteisiin pyritään vastaamaan toiminnan tehostamisen sekä uusien liiketoimintamallien, tuotteiden ja palveluiden avulla. (Acatech 2013.)

Älykkäät koneet, laitteet, tehtaat sekä varasto- ja datan tallennusjärjestelmät ovat osa CPS:a. Tuotantoresursseilta edellytetään kykyä autonomiseen ja älykkääseen kommunikointiin sekä päätösten tekoon ja toimeenpanoon. CPS viittaa reaalisesta ja virtuaalisesta maailman konvergenssiin, joka mahdollistaa mm. koneiden ja koneverkostojen yhdistämisen toisiinsa sekä erilaisten skenaarioiden simuloinnin esimerkiksi tuotantojärjestelmän digitaalisen mallin avulla ja suotuisten tapausten toteuttamisen reaali-aikaisella järjestelmällä. Nykyisistä eriytyneistä simulaatiomalleista poiketen CPS:n virtuaalisia malleja voidaan käyttää myös järjestelmien reaaliaikaiseen ohjaukseen. Näillä CPS:n erityispiirteillä pyritään lisäämään tuotteiden asiakasohjautuvaa konfiguroitavuutta sekä tuotannon kykyä mukautua räätälöinnin aiheuttamiin muutoksiin kustannustehokkaasti. (Posada et al. 2015.)

### **Paradigmojen väliset erot**

Merkittävin teollisen Internetin toiminnan koordinaattoreista on Industrial Internet Consortium (IIC), jonka AT&T, Cisco, General Electric, IBM ja Intel perustivat vuonna 2014. Voittoa tavoittelemattoman, avoimeen jäsenyyteen perustuvan konsortion toiminta-ajatuksena on saattaa yhteen monikansalliset yritykset, akateemiset toimijat ja hallinnot edistämään teollisen Internetin kehitystä ja kasvua. (Industrial Internet Consortium 2015) Teollisen Internetin sovellukset kohdennetaan yhteiskunnan teollisessa toiminnassa kaikkialle. Lisäksi kohteena on myös julkisen sektorin toimialoja, kuten kaupunkien infrastruktuureihin, terveydenhoitoon ja hyvinvointiin liittyviä toimialoja. Teknologiset ratkaisut keskittyvät erilaisten koneiden ja laitteiden väliseen kommunikointiin, ohjaukseen ja integrointiin, datan siirtämiseen, ennakoivaan analytiikkaan ja teollisuusautomaatioon tavoitteenaan tuotantovälineiden käytön ja toiminnan proaktiivinen optimointi talouskasvun mahdollistamiseksi. Ratkaisuisissa painotetaan ohjelmistojen sekä koneiden ja laitteiden integraatiota. (Bledowski 2015.)

Industrie 4.0 on Saksan hallituksen koordinoima ohjelma, jonka tavoitteena on Saksan valmistavan teollisuuden kilpailukyvyyn vahvistaminen. Tähän pyritään kannustamalla yritykset, yliopistot ja tutkimuslaitokset yhteistyöhön ja lisäämällä TKI-toimintaan panostusta liittovaltiotasolla. Pienet ja keskiuuret teollisuusyritykset ovat toimenpiteiden kohteena, ja ratkaisut keskittyvät toimitusketjujen koordinointiin, sulautettuihin järjestelmiin, automaatioon ja robotiikkaan tavoitteenaan tuotannon reaktiivinen optimointi talouden tasapainottamiseksi. (Bledowski 2015.)

## **Johtopäätökset**

ICT-alan voimakas kehittyminen ja digitalisaatio ovat synnyttäneet maailmanlaajuisesti IoT:n, teollisen Internetin ja Industrie 4.0 kaltaisia teknologiaohjelmia, joiden tavoitteena on talouden palauttaminen kasvu-uralle vuonna 2008 alkaneen taantumien jälkeen. Taustalla tapahtuvan muutoksen odotetaan huipentuvan seuraavaan teolliseen vallankumoukseen, jonka myötä tarjoutuu mahdollisuuksia uudelle liiketoiminnalle ja kasvulle. Kilpailu on jo käynnissä erilaisia teknologioita ratkaisuja, tukijärjestelmiä ja palveluita tarjoavien yritysten kesken. Varhaiset toimijat ovat jatkossa vahvoilla, jos kehityksen suunta on odotetun kaltainen. Skenaariot ovat osittain jo toteutuneet esimerkiksi älykkäitä koneita ja laitteita hyödyntävien tuotantojärjestelmien sekä ainetta lisäävän valmistuksen osalta (Blanchet et al. 2014).

Nykyisen ja tulevan kehityksen huomioiminen opetuksessa ja tutkimuksessa on haastavaa. Fysikaalisten perusilmiöiden ja niiden välisten vuorovaikutusten ymmärtäminen sekä toimialakohtaisen syväosaaminen merkitys säilyy jatkossakin, mutta lisäksi niihin yhdistyvät tuotteiden, tuotantoresurssien ja ihmisten verkottumisen myötä syntyneet kompleksiset verkostot ja systeemit, joiden toimintaa ja vuorovaikutusta tulisi myös ymmärtää. Perustutkimuksen lisäksi yrityksille tulisi tuottaa riippumatonta tietoa erilaisten järjestelmien mahdollisuuksista ja soveltuvuudesta yritysten toimintaan. Keskeisenä tutkimus- ja sovelluskohteena tulisi olla kuvatus muutoksen potentiaalisen lisäarvon jalkauttaminen nykyisiin ja uusiin yrityksiin.

## LÄHTEET

Acatech. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Acatech - National Academy of Science and Engineering.

Atzori, L., Iera, L., Morabito, G. (2010). The internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 2787–2805.

Blanchet, M., et al., (2014). *Industry 4.0: The New Industrial Revolution. How Europe Will Succeed*. Roland Berger Strategy Consultants.

Bledowski, K. (2015, 23.7.). *Industrie 4.0 vs. Industrial Internet*. Retrieved from <https://www.mapi.net/forecasts-data/internet-things-industrie-40-vs-industrial-internet>.

Borgia, E. (2014). The Internet of Things Vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications* (54), 1–31.

Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). (2011, 4). *IoT Solutions World Congress Barcelona 2015*. Retrieved from <http://www.iotworldcongress.com/documents/4643185/3e968a44-2d12-4b73-9691-17ec508ff67b>.

Dataversity. (2013, 1). *Dataversity*. Retrieved from <http://www.dataversity.net/34702/>

Deutscher, M. (2012, 21.5.). *siliconANGLE*. Retrieved from <http://siliconangle.com/blog/2012/05/21/when-will-the-world-reach-8-zetabytes-of-stored-data-infographic/>.

Evans, P. C., & Marco, A. (2012). *Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines*. General Electric.

Industrial Internet Consortium. (2015, 25.10.). *Industrial Internet Consortium*. Retrieved from <http://www.iiconsortium.org/>.

Juhanko, J., Jurvansuu, M., Ahlqvist, T., Ailisto, H., P. A., Collin, J., Tuominen, A. (2015). *Suomalainen teollinen internet - haasteesta mahdollisuudeksi*. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos.

Li Da Xu, W. H. (2014). Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(4), 2233–2243.

Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., & Oyarzun, D. e. (2015). *Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet*. IEEE Computer Society, 26–40.

Rainer, D., & Alexander, H. (2014). *Industrie 4.0: Hit or Hype?* IEEE Industrial Electronics Magazine, 56–58.



KUITULABORATORIO JA  
ELEKTRONIIKAN 3K-TEHDAS

# KUITULABORATORIOSSA SYVENNYTÄÄN SUURTEN TEOLLISTEN PROSESSIEN NOPEIDEN SEKOITUSILMIÖIDEN TUTKIMUKSEEN

*Jari Käyhkö & Marko Rasi*

Savonlinnassa on tutkittu paperi- ja massaprosessien sekoitusprosesseja ja niihin liittyviä fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä jo 15 vuoden ajan. Ko. tutkimustoiminta on tämän myötä kehittynyt Kuitulaboratorion toiminnan keihäänkärjeksi ja on nyt myös laajenemassa muihin teollisiin sovelluksiin. Kuitulaboratoriota perustettaessa mittavia hankintoja olivat mm. MC-massan kierrätysputkisto, jossa sekoitusilmiöitä voidaan tutkia teollisessa mittakaavassa. Lisäksi kuitulaboratoriossa on kehitetty erilaisia sekoittumiseen liittyviä spesifisiä mittalaitteita, kuten MC-massan on-line-kaasudispersioon kuplakokomitusta. Kuitulaboratoriossa ollaan juuri ottamassa käyttöön laajaan Tekesin rahoittamaan FLASH-tutkimushankkeeseen liittyen uusi in-line putkisekoituksen koelaitteisto uusine mittausteknologioineen. Olennaista laitteistossa on sen muunneltavuus ja sopiva mittakaava, jolloin sillä voidaan monipuolisesti tutkia teollisten prosessien fysikaalisia sekä kemiallisia ilmiöitä, mikä aiemmin olemassa olevilla laitteistoilla oli suuren mittakaavan vuoksi hankalaa tai mahdotonta. Tämä antaa aivan uusia kokeellisia resursseja palvelutoimintaan sekä tutkimushankkeiden toteutukseen Kuitulaboratoriossa.

## **Kuitulaboratorion sekoitustutkimukset**

Kuitulaboratorion pilotointiympäristöä perustettaessa lähtökohtana oli, että tämä palvelisi mahdollisimman kattavasti paperi- ja massateollisuuden laitetoimittajien tarpeita. Tärkeimmät Kuitulaboratorion yritys yhteistyökumppanit tällä alueella ovat Andritz Oy ja Wetend Technologies Oy, joilla molemmilla on omat mittavat intressinsä paperi- ja massaprosessien sekoitusprosesseihin. Wetend Technologies Oy:n intresseissä on paperikoneen märkäosalle syötettävien kemikaalien ja materiaalien sekoitus ja tähän liittyvät kemialliset ja fysikaaliset ilmiöt (Käyhkö 2014; Paananen 2013, 2012). Andritzin kiinnostuksen kohteena on pääasiassa sellun valmistuksessa käytettävien sekoittimien

kehitys. Kuitulaboratoriolla on toteutettu useita paperikemikaalien syöttöön liittyviä Tekes-hankkeita. Lisäksi laajassa PulpVision-hankkeessa kehitettiin ja sovellettiin sekoittumiseen liittyviä mittaussovelluksia. Nyt meneillään olevassa FLASH Tekes -hankkeessa tutkitaan ja luodaan edellytyksiä suurten prosessien nopeiden putkisekoitusprosessien kehittämiseksi. Ko. hanke laajentaa myös kuitulaboratorion sekoitustutkimuksia P&P-prosesseista vesien käsitteilyyn ja kaivosprosesseihin.

### **Kuitulaboratorion sekoitustutkimuksen laitteistoresurssit**

Oleellinen osa kuitulaboratorion sekoitustutkimukseen liittyviä laitteistoja on erilaiset massan kierrätyksen mahdollistavat putkistot eli ”luupit”, joihin voidaan liittää erilaisia prosessi- ja mittalaitteita. Mittavin näistä kierroista on MC-luuppi (kuva 1), jossa voidaan ajaa suurempia massamääriä kuin missään olemassa olevassa sellutehtaassa. Luuppiin voidaan asentaa koeajettavaksi erilaisia massankäsittelylaitteita, ja pääasiassa luuppia on käytetty teollisen mittakaavan sekoittimien kehitystyöhön. Toinen suuremman luokan laitteisto on sekoitusluuppi (kuva 2), jossa päästään 400 l/s tilavuusvirtaan saakka ja havainnoidaan sekoitusilmiöitä mm. luupissa olevan läpinäkyvän putkiosuuden avulla.

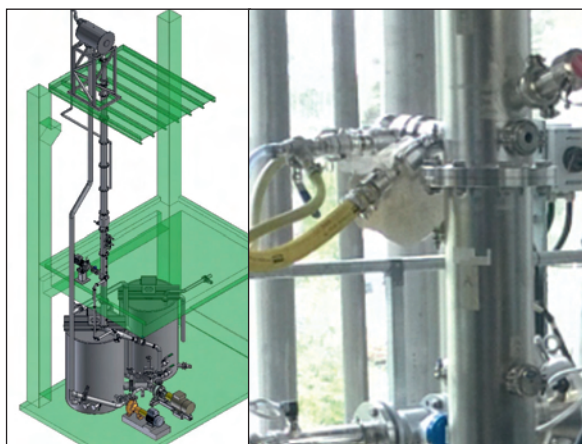


KUVA 1. Osa MC-luupin laitteistosta. Operaattori havainnollistaa laitteiston mittasuhteita (kuva Mamk Oy)



**KUVA 2.** Sekoitusluoppi. Putkiston läpinäkyvä osa alhaalla vasemmalla (kuva Mamk Oy)

Keväällä 2015 otettiin Kuitulaboratoriossa käyttöön uusin sekoittumisen tutkimuslaitteisto (kuva 3). Laitteiston suunnittelussa oli lähtökohtana monipuolisuus ja helppo muokattavuus. Laitteiston kierrätysputkistosta tehtiin pystysuuntainen, jotta myös kaasujen sekoittumisen tutkiminen onnistuu ilman kaasun separoitumista. Laitteistoon tehtiin myös kaasunpoistin eli dekulaattori, jotta pitkäkestoiset koeajot kaasunsyötöllä onnistuvat. Pystyluopin varustukseen kuuluvat nykyaikaiset injektorisekoittimet (kuva 3), jotka syöttävät sekoitettavan aineen virtaukseen voimakkaana suihkuna. Injektori saa aikaan tehokkaan sekoittumisen ilman virtauskanavaan sijoitettavia mekaanisia sekoitinrakenteita. Injektoreille on useita kiinnityspisteitä pystyputkessa, jotta sekoittumisen aikakehitystä pystytään mittaamaan injektorin ja mittalaitteiden välistä etäisyyttä muuttamalla. Pystyputki koostuu vakiomittaisista modulaarisista osista, jotta uusien mittaus- tai prosessilaitteiden liittäminen luoppiin onnistuisi mahdollisimman helposti. Virtaamaltaan ja putkikooltaan uusi pystyluoppi on lähellä teollista suuruusluokkaa. Laitteistoa on jo kuluneen kesän aikana ehditty käyttää hyvin erilaisiin tutkimushankkeisiin: viskoottisen kemikaalin sekoittamiseen massaan, vaahdonmuodostuksen kokeiluun sekä savukaasujen hiilidioksidin talteenottoon.



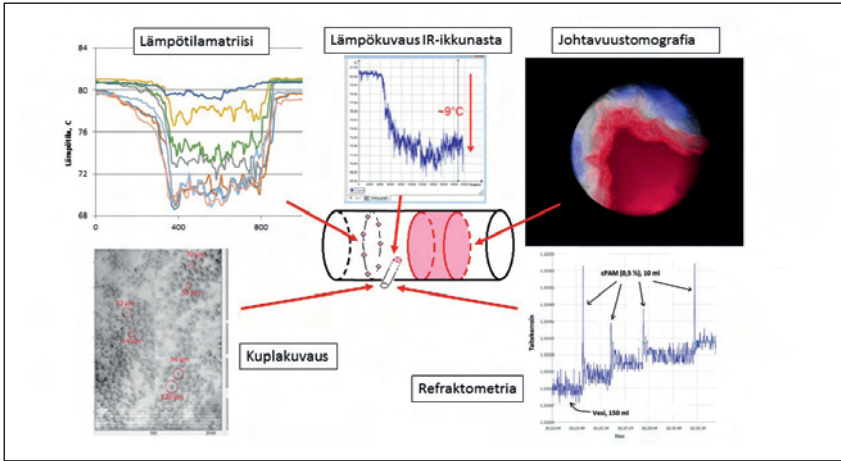
**KUVA 3.** Uusi sekoitusasema. Alhaalla pumput ja säiliöt. Keskellä putkiston modulaarinen osa, jossa injektorisekoittimet (oikealla) ja mittalaitteet. Ylhäällä kaasunpoistin (kuva Mamk Oy)

### **Sekoittumisen mittaaminen**

Sekoittuminen ei ole yksittäinen suure eikä ilmiönä yksikäsitteinen. Tavallisesti sekoittumisella tarkoitetaan prosessia, jossa kahta tai useampaa aluksi erillään ollutta ainetta syötetään yhteiseen tilaan, jolloin tavoitteena on kaikkien aineiden esiintyminen koko tilavuudessa (aineensiirto) sekä kaikkien aineiden hajaantuminen mahdollisimman hienojakoiseksi (dispersio). Aineensiirto ja dispersio ovat periaatteiltaan varsin erilaiset ilmiöt, ja niihin vaikuttavat eri fysikaaliset tekijät. Kuitenkin molemmat ovat tarpeen hyvän sekoittumisen aikaansaamiseksi. Sekoittumista mitattaessa tarkastellaan yleensä sekoitettavien aineiden pitoisuuden vaihtelua ajan ja/tai paikan suhteen.

Useimmiten pitoisuuden mittaus korvataan jollakin sekoitettavien aineiden luontaisella tai keinotekoisella fysikaalisella erolla, joka on mitattavissa nopeilla reaaliaikaisilla menetelmillä ilman näytteenottoa. Kuitulaboratorion lupeissa on tätä varten valmiina erilaisia mittalaitteita ja mittaussyhteitä. Tällaisia ovat mm. sekoittimien sähkötehon mittaus, IR-läpäisevät ikkunat lämpökuvaukseen, monipistelämpötilamittaus putken pinnalta, optinen taitekertoimen mittalaite l. refraktometri sekä EIT-tomografia. Viimeksi mainittu menetelmä muodostaa 3D-kuvan putken sisällöstä virtaavan ja syötettävän aineen erilaiseen sähköjohtavuuteen perustuen (Kourunen 2011, 2008). Kaasumaisen aineen sekoittumista nesteeseen voidaan luonnehtia määrittämällä kaasun kuplakoko mikroskooppisella valokuvauksella (kuva 3) (Liukkonen 2015; Mutikainen 2014, 2013; Ilonen 2014).





KUVA 4. Esimerkkejä sekoittamisen mittaamisesta lämpötilaa, sähkönjohtavuutta, taitekerrointa ja kaasun kuplakokoa hyödyntäen (kuvat Mamk Oy)

Kuitulaboratoriossa on myös erilaisia laboratoriokokoluokan laitteita, joilla voidaan tutkia sekoitusprosesseihin liittyviä kemiallisia ilmiöitä (kuva 4). Paperikemikaalien syöttöön sovellettavia laitteita ovat mm. Moving Belt Former (MBF), dynaaminen arkkimuotti, jolla voidaan valmistaa paperia lähes teollisuutta vastaavissa olosuhteissa, sekä Retention Process Analyser (RPA), jolla voidaan tutkia retentioaineiden flokkauodynamiikkaa. RP-luupilla voidaan tutkia kemikaalien syöttöilmiöitä tehtaalla paperikoneen syöttömassalla ohivirtauksena. Laboratorioreaktorilla voidaan tehdä panostyyppisesti kokeita, joissa materiaalina on kiinteää, nestettä ja kaasua, ja sekoitusolosuhteita voidaan vaihdella hyvin laajasti.

### Tulevaisuuden tutkimustoiminta

Tulevaisuudessa kuitulaboratorion tavoitteena on selkeästi laajentaa sekoitustekniikkaan liittyvää tutkimusta ja palveluliiketoimintaa sekä vahvistaa toimintaa vedenkäsittelyprosesseihin, uusiin biotuoteprosesseihin sekä kaivosprosesseihin liittyen. Esimerkkeinä tästä on Kuitulaboratorion yhteistyö Geologian Tutkimuskeskuksen (GTK) kanssa; paperiprosessin kemikaalin-syöttötekniikkaa on sovellettu hyvällä menestyksellä kaivosvesien käsittelyyn. Kuitulaboratorio on myös osallisena uusien hi-tech-mittaustekniikoiden kehityksessä yhteistyössä 3k-tehtaan kanssa. Esim. lämpövuomittauksen soveltuvuutta sekoittumisen karakteroinnissa on selvitetty jo pitkään yhteistyössä venäläisen osapuolen kanssa (Andrey Mitiakow).



**KUVA 5.** Kuitulaboratorion sekoituksen kemiallisten ilmiöiden tutkimiseen soveltuvia laitteita. Ylhäältä vasemmalta lukien Moving Belt Former (MBF), Retention Process Analyser (RPA), Retention Process Loop (RP-luoppi) ja laboratorioreaktori (kuvat Mamk Oy)

Lämpövuomittauksella olisi mahdollista tunnistaa eri lämpötilan tai lämmönjohtavuuden omaavia aineita hyvin nopealla aikaskaalalla jopa nanosekuntien mittausvälillä. Ko. mittaus antaisi paljon mahdollisuuksia nopeiden sekä pienen mittakaavan ilmiöiden karakterointiin, mutta toimivaa mittaussovellusta ei ole vielä saatu toteutettua. Lääketieteestä tuttua NMR-spektroskopiaa on myös Yrjö Hiltusen johtamana sovellettu teollisiin tarpeisiin kehittämällä mittalaite, joka mittaa kiintoaineen vesipitoisuuden ja lisäksi veden sitoutuneisuuden kiintoaineeseen. Seuraavana kehityspolkuna voisi olla kuvantavan NMR-tekniikan soveltaminen prosesseissa ja sekoitukseen liittyvissä tutkimuksissa. Lisäksi tavoitteena on kehittää on-line-mittausmenetelmä selluprosessin kaasudispersioiden havainnointiin sekä soveltaa tätä alan laboratorio- ja tehdassovelluksissa.

## LÄHTEET

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

Heikki Mutikainen, Nataliya Strokina Tuomas Eerola, Lasse Lensu, Heikki Kälviäinen, Jari Käyhkö, On-line Measurement of the Bubble Size Distribution in Medium-Consistency Oxygen Delignification, Appita 2014.

Heikki Mutikainen, Kari Peltonen, Olavi Pikka, Jari Käyhkö, Characterization of Oxygen Dispersion in Delignification Process. International Pulp Bleaching conference, Grenoble, France 2014.

Ilonen Jarmo, Eerola Tuomas, Mutikainen Heikki, Lensu Lasse, Käyhkö Jari, Kälviäinen Heikki, Estimation of bubble size distribution based on power spectrum, submitted to 19th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, CIARP 2014.

Jari Käyhkö, Petteri Paananen, Overview of the Feeding of Paper Chemicals. PaperCon2014 Nashville, Tennessee, 23–27.5.2014.

Petteri Paananen and Jari Käyhkö, Simultaneous feeding of filler and retention aid chemicals close to the headbox. NPPRJ 28(2013):4, 514–520.

Heikki Mutikainen, Kari Peltonen, Tapio Tirri, Jari Käyhkö, Characterization of Oxygen Dispersion in Medium-Consistency Pulp Mixing. Appita 66(2013):4, 1–6.

Emmi Kallio, Petteri Paananen and Jari Käyhkö, The effect of dispersing agent and feed strategy on filler retention and agglomeration. NPPRJ 28(2013):3, 458–463.

Petteri Paananen and Jari Käyhkö, Simultaneous feeding of filler and retention aid chemicals close to the headbox. 8th International Paper and Coating Chemistry Symposium. June 10-14, 2012, Stockholm, Sweden.

Jari Kourunen, Lasse M. Heikkinen, Petteri Paananen, Kari Peltonen, Jari Käyhkö, M. Vauhkonen. Electrical resistance tomography for evaluating a medium consistency mixer. Nordic Pulp and Paper Research Journal 26(2011):2, 179–185.

Jari Kourunen, Ritva Käyhkö, Jouni Matula, Jari Käyhkö, Marko Vauhkonen and Lasse M. Heikkinen. Imaging of mixing of two miscible liquids using electrical impedance tomography and linear impedance sensor. Flow Measurement and Instrumentation 19 (2008):6, 391–396.

# UUSI MIKROKITEISEN SELLULOOSAN VALMISTUSTEKNIikka

*Petteri Paananen & Juhani Turunen & Kari Vanhatalo*

Mikkelin ammattikorkeakoulun Savonlinnan Kuitulaboratorioon rakennetaan mikrokiteisen selluloosan (MCC:n) lähes tuotantomittakaavainen tutkimusympäristö. Laitteisto mahdollistaa mm. uuden Aalto-yliopiston AaltoCell™-menetelmän kehittämisen. Tässä menetelmässä selluloosaa hapotetaan esimerkiksi laimean rikkihapon avulla ja käsitellään bioreaktorissa korkeassa lämpötilassa ja paineessa, jolloin selluloosa pilkkoutuu pienempiin osiin. Laitteistossa voidaan säätää höyryn määrää, annostelua ja massan viiveaikaa. Rakennettavalla bioreaktorilla voidaan selvittää jatkuvatoimisen laitoksen ajoparametreja ja toimittaa koe-eriä MCC:tä teollisuuden tarpeisiin. Uudessa MCC:n valmistustekniikassa voidaan kyseistä tuotetta tuottaa aiempaa edullisemmin, mikä puolestaan laajentaa aineen käyttöä ja luo uusia mahdollisuuksia. Tällä hetkellä MCC:tä käytetään mm. kosmetiikka- ja lääketieteellisyydessä sekä elintarvikkeissa.

## **Johdanto**

Selluloosa koostuu  $\beta$ -D-glukoosimolekyyleistä ja on yleisin luonnonpolymeeri. Se toimii useimpien kasvien rakenneaineena soluseinissä. Puussa selluloosakuidut ovat ligniinin sitomina, mutta ne voidaan erotellaan toisistaan kemiallisesti, mekaanisesti tai näiden yhdistelmillä. Puu sisältää yleensä 33–50 % selluloosaa. Kasviksissa oleva selluloosa ei imeydy ihmisen ruoansulatuksessa, mutta se kuuluu ravintokuituihin, joilla on terveystieteellisesti edullisia vaikutuksia. Kasvinsyöjäeläimet, kuten märehtijät, pystyvät hajottamaan sen sijaan selluloosaa mikro-organismien avulla.

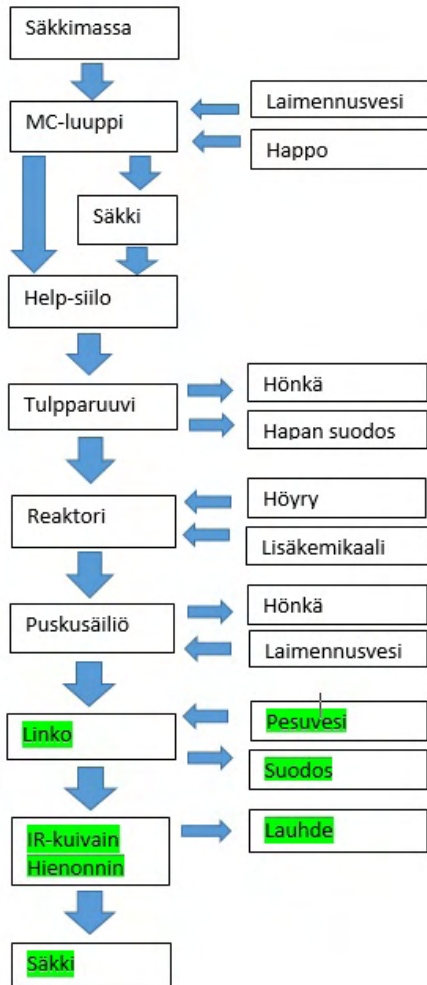
Mikrokiteinen selluloosa, eli englanniksi ”microcrystalline cellulose” (MCC), voidaan valmistaa erilaisista bioraaka-aineista, jotka sisältävät selluloosaa. Yleisimmin MCC:n valmistuksessa käytetään puuta. Puun kuiduista valmistettava MCC on valkoista, biohajoavaa jauhetta, jota käytetään tänä päivänä maailmanlaajuisesti mm. kosmetiikka- ja lääketieteellisyydessä sekä elintarvikkeissa (E460). Lisäksi MCC:tä voidaan käyttää mikroselluloosajohdannaisien tuotannossa, kuten nanoselluloosan ja erilaisten komposiittituotteiden valmistuksessa. Uusiutuvalle aineelle on paljon hyviä ominaisuuksia, ja sen käyt-

tötarkoitusten odotetaan kasvavan tulevaisuudessa huomattavasti myös esimerkiksi rehuteollisuudessa ja jopa vaateteollisuudessa puuvillan korvaajana.

Mikrokiteisen selluloosan keskimääräinen hiukkaskokojakauma (D50) on noin 50–100 µm ilman mekaanista käsittelyä. Pestyn mikroselluloosan puhkaus voi olla jopa 97 %. Kiinnostus biomassan hyödyntämiseksi uusiutuvana ei-fossiilisena raaka-aineena on kasvussa.

### Uuden pilot-mittaisen MCC:n valmistuslaitteiston toteuttaminen

Uusi jatkuvatoiminen MCC-keittolaitteisto on mitoitettu siten, että työpäivän aikana voidaan tuottaa noin 150–300 kg massaa. Yksinkertaistettu lohkokaavio valmistusprosessista on esitetty kuvassa 1.



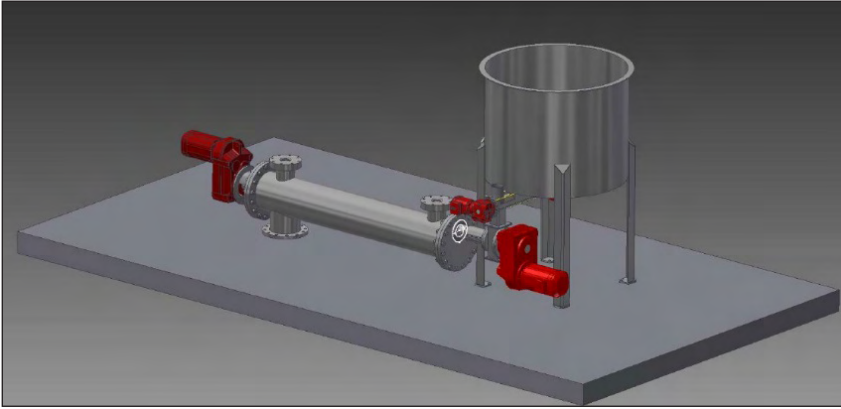
KUVA 1. Kuitulaboratorion MCC:n valmistusprosessi. Vihreällä merkityt osat toteutetaan vuoden 2016 aikana

Uuden keittolaitteiston ja eri liitännät Kuitulaboratorion vanhaan laitteistoon on suunniteltu ja toteuttanut alihankintaa hyväksikäyttäen savonlinalainen Mekateam Oy. Laitteisto on tarkoitettu MCC-massan tuotantoon erityisesti AaltoCell™-menetelmällä, mutta sitä voidaan käyttää myös kaikenlaisen muun biomassan kemialliseen prosessointiin. Laitteisto sijoitetaan Kuitulaboratorion ylätasanteelle, josta sen tieltä jouduttiin purkamaan vanhaa koe-laitteistoa. Laitteistoa ohjataan ja valvotaan paikan päällä, eikä tässä vaiheessa rakenneta etäohjausmahdollisuutta keskusvalvomoon. Lattiapinta-alaa tarvitaan keittolaitteistoa varten noin 10 m<sup>2</sup>. Ylätasanteella on saatavissa helposti tarvittava paineilma, höyry, sähkö, viemärointi ja ilmastointi.

Sellutehtaalla säkitetään sopivaa 10–14 % sakeudessa olevaa valkaistua tai valkaisuamatonta massaa, joka toimitetaan Kuitulaboratoriolle. Massaerä (noin 3 m<sup>3</sup>) laitetaan vanhaan MC-luuppiin ja laimennetaan tarvittaessa. Massaa kierrätetään luupissa pumpun avulla, ja samalla pumpataan hitaasti sekaan haluttu määrä väkevää happoa (tyypillisesti 5–20 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ts). Riittävä (noin 3–5 min) kierrätysaika luupissa takaa hapon tasaisen sekoittumisen. Lopullinen pH asettuu tasolle 1,5–2,5. Korroosiovaara on huomioitu sekä vanhan että uuden putkiston ja laitteiston materiaalivalinnoissa.

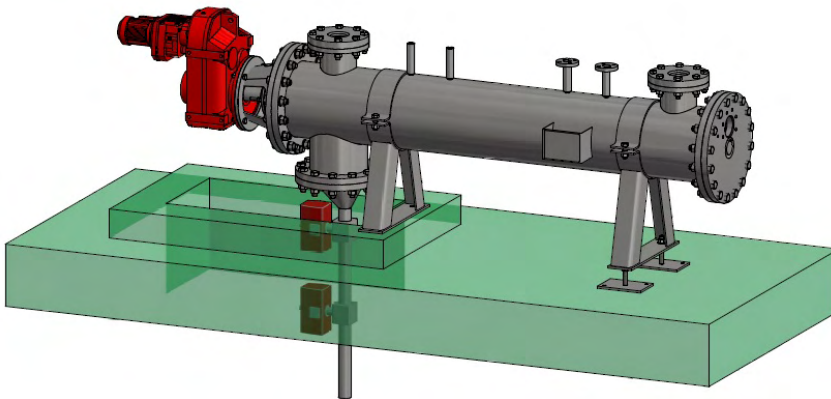
MC-luupista massa pumpataan uuteen help-siiloon (noin 1,2 m<sup>3</sup>) hyödyntäen vanhaa putkistoa. Uutta putkistoa tarvitaan noin 20 m. Hapotettua ja sekoitettua massaa voidaan pumpata MC-luupista vaihtoehtoisesti myös säkkeihin. Mikäli MC-luuppi ei ole käytettävissä, voidaan help-siilo siten täyttää massalla aikaisemmin täytetyistä säkeistä. Help-siilon pohjassa pyörii purkain/sekoitin, joka estää massan holvauksen. Massa ohjataan siilon pohjasta annosteluruuvien (ϕ100x800 mm) avulla tulpparuuville (ϕ100x500 mm). Tuotantomäärää ohjataan annosteluruuvien kierrosnopeuden avulla. Tulpparuuvissa massasta irtoaa sihdin läpi hapanta suodosta, jota otetaan systeemistä ulos tarpeellinen määrä. Tämä jätehappo joko käytetään uudelleen tai hävitetään. Massan sakeus nousee tulpparuuvien ansiosta jopa 20 %:n tasolle. Tulpparuuvien vaippa on avattavissa kahteen osaan, jotta mahdolliset tukokset voidaan poistaa. Tulpparuuvilta vastavirtaan pakeneva pieni hönkämäärä johdetaan nykyiseen ilmastointijärjestelmään.

Tulpparuuvi puskee massaa varsinaiseen ruuvireaktoriin (ϕ350x2000 mm), jonka lämpötila pidetään höyrynpaineen (5–10 bar) avulla halutulla tasolla (130–190 °C). Höyry tuotetaan Kuitulaboratorion vanhalla höyrykontilla. Uutta höyrylinjaa joudutaan rakentamaan muutamia metrejä. Reaktorissa massan viipymää voidaan säädellä ruuvien kierrosnopeuden avulla alueella 10–60 minuuttia. Reaktorilaitteisto (kuva 2) on suunniteltu ja toteutettu paineastialainsäädännön mukaisesti ja turvallisuusnäkökohdat (esimerkiksi kuumien pintojen eristys) huomioiden. Reaktoriin on mahdollista tarpeen mukaan pumpata pienen yhteen kautta lisäkemikaalia.



KUVA 2. Help-siilo, annosteluruuvi, tulpparuuvi ja ruuvireaktori (Mekateam Oy 2015).

Massa pudotetaan reaktorista alla olevaan vanhaan puskusäiliöön (10 m<sup>3</sup>) kahden aikaohjatun on-off-venttiilin avulla (kuva 3). Massan mukana tuleva pieni määrä kuumaa hönkää johdetaan puskusäiliöstä nykyiseen ilmastointijärjestelmään. Puskusäiliössä massa voidaan laimentaa vedellä haluttuun sakeuteen (4–6 %) ennen jatkokäsittelyä. Säiliön jälkeen sijaitsevaa vanhaa MC-pumppua voidaan hyödyntää massan jatkokäsittelyssä.



KUVA 3. Ruuvireaktori ja puskuventtiilit (Mekateam Oy 2015).

Vuoden 2016 aikana prosessia täydennetään uudella pesulaitteistolla (kuva 1). Massaa pestään ja sakeutetaan sopivan pesulaitteen, esimerkiksi lingon, avulla. Tyypillisesti lingon jälkeinen kuiva-aine on suuruusluokkaa 20–30 %. Jotkin loppukäyttäjät saattavat tarvita korkeampaa sakeutta, mitä varten hankitaan jatkuvatoiminen terminen kuivauslaite, esimerkiksi IR-kuivain. Tällaisella laitteella päästään erittäin korkeaan kuiva-aineeseen (60–90 %) massan laa-

dun vaarantumatta. Asiakkaalle toimitettava kuivattu MCC-massa hienonnetaan tarvittaessa uuden laitteen (esimerkiksi lapasuihkuhajotin) avulla ennen säkitystä. Projektin yhteydessä pyritään hankkimaan ja ottamaan käyttöön MCC:n laatua karakterisoivia ja prosessinohjausta parantavia analyysilaitteita (esimerkiksi partikkelikokomittari).

Alkuvuonna 2016 selvitetään, kuinka keskeiset prosessimuuttajat (happoanos, keittoaika ja lämpötila) vaikuttavat pesemättömän ja kuivaamattoman MCC:n laatuun. Tämä tehdään yhteistyössä Aalto-yliopiston tutkijoiden kanssa. Myöhemmin vuonna 2016 laitteiston täydentämisen jälkeen tutkitaan pesun ja kuivauksen tehokkuutta ja vaikutusta varsinaisen lopputuotteen laatuun.

### **MCC:n tulevaisuuden näkymät**

Nykyisiä MCC:n markkinoita hallitsevat ainoastaan muutamat yritykset: amerikkalainen FMC Biopolymers, eurooppalainen JRS Pharma ja aasialaiset MingTai sekä Asahi Kasei. Markkinoilla vallitsee erittäin pitkät ja tiiviit applikaatio-omistaja/MCC-valmistajakumppanuussuhteet. Jotkut tuotelaadut ovat vuosikymmeniä vanhoja. Esimerkiksi Avicel®-tuoteperhe (<http://www.fmcbiopolymer.com/Food/Home/News/FiftyYearsofAvicel.aspx> (Lokakuu 13, 2015)) on ollut olemassa jo 1960-luvulta lähtien. Näistä asioista johtuen MCC:n markkinat ovat saturoituneet ja niiden sisään on vaikea päästä. Olemassa olevat tuotantotekniikat nostavat tuotteen hinnan korkealle (alkaen 2000 €/t) ja mahdollistavat vain pienten tuotantolaitosten tekemisen.

Edellisistä asioista johtuen MCC:n globaali tuotantokapasiteetti on vain n. 130 000 t/a (Ciechanska 2010), kun taas perinteisiä sellu- ja paperituotteita tuotetaan tuhatkertainen määrä (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2011). Ilman merkittävää muutosta kyseisen teollisuuden applikaatiokentässä ja tuotantoteknologiassa on vaikea nähdä, että näköpiirissä olisi jotain, mikä laskisi tuotantokustannuksia ja lisäisi MCC:n tuotantokapasiteettia huomattavasti.

Nykyään MCC:n suurimpia käyttökohteita ovat elintarviketeollisuus ja lääketeollisuus, mitkä aikoinaan muodostuivat ensimmäisiksi teollisuuden applikaatioalueiksi, kun tuote 1960-luvulla keksittiin (Battista & Smith 1962). Näissä applikaatioissa MCC toimii tuki-/rakennusaineena, jonka ympärille formuloinnilla rakennetaan varsinainen lopputuote.

Lääketeollisuuden pillereiden koostumuksesta suurin osa on MCC:tä johtuen selluloosasta, joka on inerttiä ihmiselle. Tuotelaatuja on lukuisilla erilaisilla ominaisuuksilla (partikkelikoko, huokoisuus, pituus-leveysuhde, jauhetut/ei jauhetut), ja näillä voidaan säädellä mm. lääkeaineiden liukenemistä ja tablettimatriisin hajoamista.



Elintarviketeollisuudessa MCC:hen liitetään erilaisia selluloosapohjaisia hydrokolloideja. Näillä biopolymeeriyhdistelmillä säädetään tuotteen rakennetta, suutuntumaa, vedenimukykyä, rasvaisuuden tunnetta, jäätymistä, jäätyneen aineen rakennetta, estetään kiinteiden tuotteiden laskeutumista ja vaikutetaan kaikenlaisiin lopputuotteen reologisiin ominaisuuksiin.

Mainittavaa on, että yksi suurimmista MCC:n valmistajista, FMC Biopolymers, alkoi vuonna 2012 rakentaa Thaimaahan pelkästään kolloidaalista MCC:tä (MCC+CMC-yhdistelmätuote) valmistavaa tehdasta. Tehdas oli 100 miljoonan dollarin investointi, ja tuotanto on suunnattu Aasian ruokamarkkinoille ([http://www.ift.org/food-technology/daily-news/2013/march/26/fmc-corp-to-open-\\$100-m-manufacturing-facility-in-thailand.aspx](http://www.ift.org/food-technology/daily-news/2013/march/26/fmc-corp-to-open-$100-m-manufacturing-facility-in-thailand.aspx) (Lokakuu 13, 2015).

Tutkimuksissaan Aalto-yliopisto on tunnistanut AaltoCell™:n olevan erittäin reaktiivinen, suuren pinta-alan omaava, helposti prosessoitava tuote, joka toimii erinomaisesti eläinrehun lisäaineena (mm. vähentää kuolleisuutta ja lisää kasvua siipikarjalla), selluloosaderivaattojen lähtöraaka-aineena kuin myös lisäainekomponenttina komposiiteissa.

Uusi AaltoCell™-tuotantomenetelmä voidaan toteuttaa Stand-Alone-laitoksessa, mutta se mahdollistaa myös tuotantoprosessin integroimisen selutehtaan yhteyteen. Integrointi tuo etuja kemikaalien regeneroinnin ja energiantuotannon suhteen, ja lisäksi se mahdollistaa MCC:n todellisen massatuotannon kääntämällä kokonaisen paperisellutehtaan tuottamaan tätä korkeamman jalostusarvon kuitutuotetta. Uudella menetelmällä valmistetulla MCC:llä ja sen tuomilla teknistaloudellisilla eduilla tähdätään erityisesti suurivolyymisiin tuoteapplikaatioihin (eläinruoka, komposiitit). Valittujen applikaatioalueiden avulla pyritään ratkaisemaan globaaleja ihmiskunnan ongelmia (mm. ruoantuotanto, öljypohjaisten tuotteiden hiilijalanjälki), jotka lisääntyvät tulevaisuudessa entisestään väestön kasvusta johtuen, ja keskittymään vähähiilisiin/kestäviin ratkaisuihin.

Esim. FAO:n tilastojen (FAO 2011) mukaan viljakasvien tuotanto oli vuonna 2012 2325,1 miljoonaa tonnia, josta 779,8 miljoonaa – eli kolmasosan – kulutti eläinruokasektori. Kun nämä faktat yhdistetään väestönkasvuun ja maapallolla tapahtuvaan viljelysmaan eroosioon, voi eteemme pian tulla tilanne, jossa joudumme tekemään vakavia päätöksiä ja etsimään uusia keinoja lisätä viljelysmaan pinta-alaa ja eläinten ravintoa. Metsä ja sieltä saatavat tuotteet voivat olla yksi ratkaisu asiaan. Tuottamalla kestäviä ratkaisuja voi AaltoCell™:llä olla merkittävä rooli tulevaisuuden kuitutuotteena. Mamkin Kuitulaboratorio ja MCC pilot luovat hyvän tuotantoympäristöpohjan valmistaa teollisuuden testaustarpeisiin erilaisia MCC-laatuja.

Suomi on Euroopan metsäisin maa, jossa on hyvä infrastruktuuri ja perustietämys biomassan muokkauksesta. Suomen valtio julkisti vuoden 2014 toukokuussa virallisen Biotalousstrategian ([https://www.tem.fi/files/39784/Suomen\\_biotalousstrategia.pdf](https://www.tem.fi/files/39784/Suomen_biotalousstrategia.pdf)) (Lokakuu 13, 2015). Se toi julki valtion strategiset biotalouspäämäärät, joihin Suomi tähtää ja joita se toteuttaa. Jos lähitulevaisuudessa saavutetaan tutkimuksellisia läpimurtoja, voi ensimmäinen AaltoCell™-menetelmään pohjautuva tehdas löytyä Suomesta. Talouselämä-lehti (Kankare, 2015) julkisti viime helmikuussa meneillään olevia tai julkisuudessa esiintyneitä biojalostamohankkeita. Näitä löytyi Kuopiosta, Äänekoskelta, Kemijärveltä ja Myllykoskelta. Ehkä jostain näistä paikkakunnista löytyy tulevaisuudessa tuotantolaitos, joka tuottaa eläimille hyvinvointia, ravintoa sekä suomalaista selluloosaa Lego-palikoihin.

Tulevaisuutta luomassa, AaltoCell™ ja Kuitulaboratorio Mamk.

## LÄHTEET

Battista, O. A., and Smith, P. A. (1962). "Microcrystalline cellulose -The oldest polymer finds new industrial uses," *Ind. Eng. Chem.* 54(9), 20–29

Ciechanska, D., Urbanowski, A., Wesolowska, E., Jeropulos, M., Wawro, D., Kucharska, M., and Kazimierczak, J. (2010). "Market study on main polysaccharides - Final report," European polysaccharide network of excellence (EPNOE, [www.epnoe.eu](http://www.epnoe.eu)). Institute of Biopolymers and Chemical Fibres. ul. Skłodowskiej-Curie 19/27, 90–570 Lodz, Poland.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2011). "Pulp and paper capacities 2010–2015,"

Kankare, Matti, Kolmen miljardin tehtaat, *Talouselämä* 8, 6–7, 2015.

Mekateam Oy, 3D-kuvia pilot-mittaisesta MCC-laitteistosta, 2015.

<http://www.fao.org/docrep/014/i2285t/i2285t00.pdf> (accessed lokakuu 13, 2015).

<http://www.fmcbiopolymer.com/Food/Home/News/FiftyYearsofAvicel.aspx> (Lokakuu 13, 2015)

[http://www.ift.org/food-technology/daily-news/2013/march/26/fmc-corp-to-open-\\$100-m-manufacturing-facility-in-thailand.aspx](http://www.ift.org/food-technology/daily-news/2013/march/26/fmc-corp-to-open-$100-m-manufacturing-facility-in-thailand.aspx) (Lokakuu 13, 2015)

FAO. (2011): Food outlook.

<http://www.fao.org/docrep/014/al981e/al981e00.pdf>. (Lokakuu 13, 2015)

[https://www.tem.fi/files/39784/Suomen\\_biotalousstrategia.pdf](https://www.tem.fi/files/39784/Suomen_biotalousstrategia.pdf) (Lokakuu 13, 2015)

# METSÄTEOLLISUUSLIETTEIDEN HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET

*Jukka Selin & Riku Kopra*

Metsäteollisuuden jätevesien lietteenkäsittelyssä suurimmat haasteet aiheutuvat biolietteiden suhteellisen osuuden kasvusta käsiteltävässä lietevirrassa. Vastaavasti kuitujakeiden paremman talteenoton myötä primäärilietteen osuus on pienentynyt ja koostumus on huonontunut. Muutoksiin voidaan vastata valitsemalla oikeantyyppinen lietteenkäsittely ja erityisesti esikäsitteily optimoimalla partikkelien flokkautumista, käyttämällä lietteen joukossa apuainetta tai vähentämällä puhdistamolle tulevasta jätevedestä eri jakeita. Kuitulaboratoriossa on tehty näihin liittyen erilaisia selvityksiä erityisesti vedenpoiston parantamiseksi.

## **Lietteenkäsittelyn haasteet**

Metsäteollisuuden kustannustehokkuusvaatimusten ja uusien ympäristösääntösten myötä metsäteollisuuden lietteidenkäsittely on uusien haasteiden edessä. Tällä hetkellä metsäteollisuudessa muodostuu lietteitä arviolta 400 000 tonnia vuodessa. Lietemäärä on kuitenkin ollut laskusuunnassa sekä raaka-aineiden paremman talteenoton että paperikoneiden sulkemisen myötä. Käytännössä tämä on tarkoittanut hyvälaatuisen kuitujakeen vähenemistä jätevedessä, ja määrän pudotessa myös puristetun lietteen kuiva-aine on laskenut. Tämä puolestaan on johtanut lietteen polttoarvon pienenemiseen ja uusien lietteenkäsittelyratkaisujen hakemiseen.

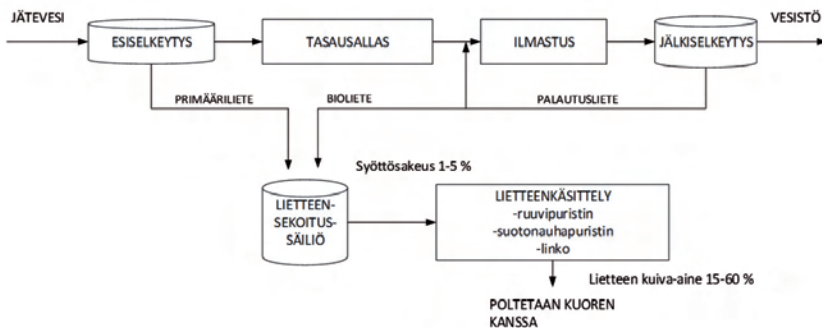
Kuidun talteenoton parantamiseksi eri prosessivaiheisiin on rakennettu lajitelu- ja erotuskäsittelyjä. Näissä käsittelyissä jakeet jaetaan aksepti- ja rejektijakeeseen. Akseptijae muodostuu hyvälaatuisesta kuidusta, hienoaineesta, pigmenteistä tai täyteaineista, joita käytetään paperin- tai kartonginvalmistuksessa. Rejektijae on puolestaan jäteveden mukana puhdistamolle johdettavaa jaetta, esimerkiksi tikkuja, jotka eivät sellaisenaan kelpaa lopputuotteeseen. Viime vuosina on kuitenkin kiinnitetty enemmän huomiota myös rejektijakeiden hyödyntämismahdollisuuksiin. Tämän seurauksena myös niitä jakeita on aloitettu lajitella ja muokata käytettäväksi paperin- tai kartonginvalmistuksessa.

## Lietteiden muodostuminen

Tehtaalta puhdistamolle tulevat jätevedet johdetaan ensin esiselkeytykseen, josta laskeutunut jae eli primääriliete pumpataan edelleen lietteenkäsittelyyn (kuva 1). Primäärilietteestä voi paperikoneympäristössä olla tuhkaa jopa yli puolet. Tuhka koostuu pääosin täyteaineista ja päällystyspigmenteistä. Tehtaalta tulevien jätevesien joukkoon johdetaan myös kuorimon vesiä, tuorevesien käsittelyssä syntyvää lietettä sekä erilaisia suodoksia. Joissakin tapauksissa puhdistamolle johdetaan myös tehtaan tai kaupungin saniteettivedet. Jäähdytysvedet pyritään pitämään ominaan ja ajamaan eri reittejä ulos, sillä ne kuormittavat turhaan puhdistamaa.

Metsäteollisuudessa valmistettavien lopputuotteiden yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on lopputuotteen vaaleus. Korkean vaaleuden saavuttamiseksi kuidut valkaistaan useimmin hapettavilla valkaisuilla. Esimerkiksi paperitehtailla käytetään massojen valkaisuun hapettavaa peroksidivalkaisua, jonka onnistumisen edellytyksenä on korkea pH. Korkea pH taas edesauttaa orgaanisten jakeiden (ligniini, hiilihydraatit ja uuteaineet) liukenemista kuidusta veteen eli lisää vedessä kemiallisesti happea kuluttavien (COD) yhdisteiden määrää. Jakeista huomattava osa pysyy vedessä liuenneena tai kolloidisessa muodossa ja kulkeutuu edelleen jätevesien mukana puhdistamolle esiselkeytykseen. Esiselkeyttimen ylitteen mukana jae kulkeutuu biologiselle puhdistamolle, jossa ilmastusaltaan bakteerit käyttävät jakeen ja muun COD-kuorman mahdollisimman hyvin hyödykseen. Lopputuloksena bakteerimassa eli lietteen kiintoainepitoisuus kasvaa.

Ilmastuksen jälkeen jälkiselkeyttimessä lietteen annetaan laskeutua ja tietty määrä tästä lietteestä poistetaan sekä osa johdetaan uudelleen ilmastukseen. Ilmastukseen johdetaan se määrä lietettä, jonka avulla saavutetaan haluttu COD-reduktio. Ilmastuksesta poistettavaa lietettä kutsutaan biolietteeksi. Biolietteen sakeutta nostetaan yleensä ennen lietteenpuristusta tiivistimessä lietteenkäsittelyn helpottamiseksi. Ilmastukseen palautettavaa lietettä kutsutaan puolestaan palautuslietteeksi.



KUVA 1. Lietteiden muodostuminen jätevesipuhdistamolla (kuva Jukka Selin)

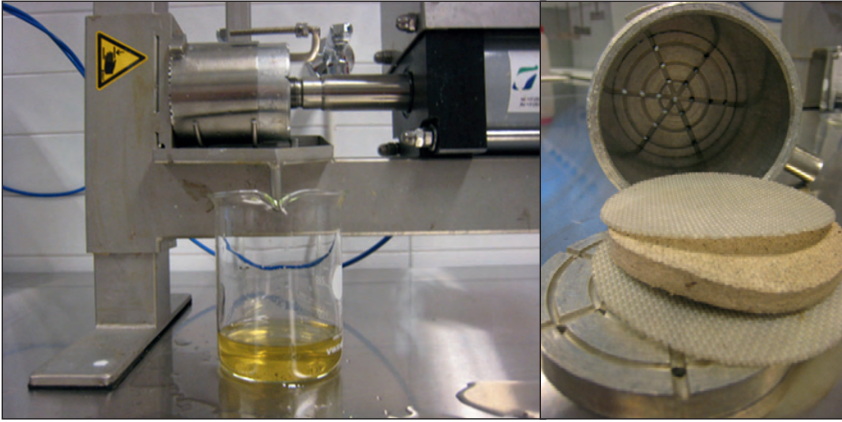
Kaikki puhdistamalla käsiteltävät lietteet johdetaan yleensä lietteensekoitus-säiliöön, jossa ne sekoitetaan mahdollisimman hyvin ennen lietteenkäsittelyyn annostelua. Sekoitettun lietteen sakeus määräytyy eri jakeiden sakeuksien perusteella. Yleensä sakeus vaihtelee välillä 1–5 %. Lietteeseen lisätään tavallisesti erilaisia vedenpoistokemikaaleja, polymeerejä, ennen sen varsinaista käsittelyä. Yleisimmin käytössä olevat lietteenkäsittelylaitteet ovat ruuvi- ja suotonauhapuristin sekä linko. Käytettävä laite riippuu täysin lietteen koostumuksesta. Puristettu liete sekoitetaan tyyppillisesti kuoren joukkoon ja poltetaan kuorikattilassa.

### **Lietteenkäsittelyn haasteet**

Suurimmat haasteet metsäteollisuuden lietteenkäsittelyssä koostuvat muutuneesta lieteostumuksesta. Viimeisen kymmenen vuoden kuluessa ovat erityisesti eri raaka-ainejakeiden paremman ja tehokkaamman talteenoton myötä primäärilietteen määrä ja sen laatu heikentyneet. Esimerkiksi keskimääräinen kuitupituus on laskenut. Vastaavasti valkaisuissa ei ole tapahtunut suuria muutoksia, eli muodostunut biolietemäärä on pysynyt samana. Käytännössä nämä muutokset ovat tarkoittaneet biolietemäärän suhteellisen osuuden kasvua lietteessä. Lisäksi laitekanta on usein 15–30 vuotta vanhaa ja laitteet ovat suunniteltu sen hetkisille lietteille. Näiden muutosten myötä lietteenkäsittely on tullut erittäin haasteelliseksi; erityisesti tämä näkyy puristettujen lietteiden kuiva-aineissa, jotka tyyppillisesti ovat muutosten myötä laskeneet jopa 20 prosenttiyksikköä. Oman haasteensa joukkoon ovat lisänneet myös hankalasti käsiteltävät flotaatiolietteet ja joissakin tapauksissa myös muut erikoislietteet.

### **Lietetutkimuksen mahdollisuudet kuitulaboratoriossa**

Kuitulaboratoriossa on tutkittu hyvin erilaisia lietteitä, niiden käsittelyä sekä puristuvuutta eri olosuhteissa. Käytettävä laitekanta on hyvin laaja aina yksinkertaisista laboratoriomittakaavan pilot-laitteista tehdasmittakaavan laitteisiin. Laboratoriossa yleisimmin käytetty laitteisto on Amfitechin puristin (kuva 2), jossa lietenäyte puristetaan kahden viiran välissä puristumännän avulla. Puristimessa voidaan säätää mm. puristuspainetta ja aikaa sekä viirojen tyyppiä voidaan vaihtaa. Vedenpoisto tapahtuu kahteen suuntaan, mikä vastaa käytäntöä tehdasprosessien kanssa. Yleensä näyte suodatetaan ennen puristusta vapaalla vedenpoistolla, jolla simuloidaan esivedenerotusta. Tämän jälkeen liete vasta puristetaan varsinaisella puristimella. Laitteistoa on käytetty hyvin monissa erityyppisissä lietetesteissä. Yksi yleisimmistä tutkimusalueista on ollut vedenpoisto ja siihen vaikuttavien tekijöiden määräytyminen. Tämän lisäksi käytössä on tehdasmittakaavaan soveltuva Pomiltekin suotonauhapuristin, jolla voidaan sakeudesta riippuen käsitellä lietettä 4–20 m<sup>3</sup>/h.

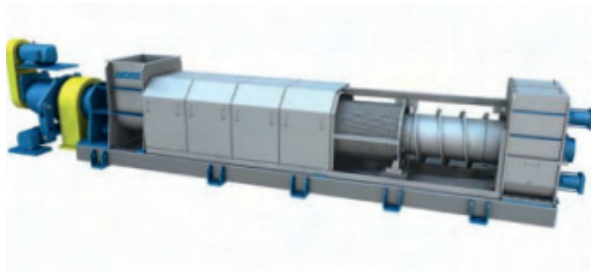


KUVA 2. Amfitechin lietepuristin, jossa männän avulla puristetaan kahden viiran välissä olevaa lietenäytettä halutulla paineella ja ajalla (kuvat Jukka Selin)

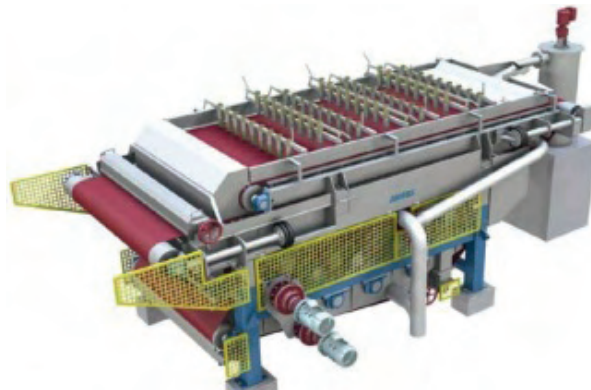
### Lietteenkäsittelyn hallintaan vaikuttavat tekijät

Hyvän lietteenkäsittelyn lähtökohtana on syöttövirtauksen ja sen sisältämien jakeiden mahdollisimman vähäinen vaihtelu. Reaalimaailmassa tämän toteutuminen ei yleensä ole mahdollista, vaan liete koostumus vaihtelee pitkälti tehdasprosessin stabiilisuuden kanssa. Tehtaiden seisokkien yhteydessä säiliöitä tyhjennetään, jolloin primäärin määrä puhdistamalla kasvaa. Tämä taas tarkoittaa sitä, että lietteitä on helppo puristaa ja saavutetaan korkea kuiva-aine. Vastaavasti tehtaiden käydessä tasaisesti kiintoainepitoisuudet jätevesissä ovat hyvin alhaisia ja primäärilietteen määrä laskee, mutta biolietemäärä pysyy kuitenkin tasaisena. Tällöin lietteenkäsittely käy haasteelliseksi.

Yksi tärkeimmistä tekijöistä lietteenpuristuksessa on laitteistojen soveltuvuus kullekin lietteelle. Tyypillisesti korkeimman kuiva-aineen saa käyttäessä ruuvipuristinta (kuva 3). Tässä kohdataan kuitenkin hyvin nopeasti haasteita, jos biolietteen osuus kasvaa suureksi. Usein 50 %:n biolieteosuus on ratkaiseva tekijä. Määrän ylittyessä vaihtoehdoksi muodostuu suotonauhapuristin (kuva 4). Käytännössä tämä kuitenkin tarkoittaa tinkimistä lietteen puristuksessa ja näin ollen saavutettavassa kuiva-aineessa. Lietekoostumusten ja rakenteiden, esimerkiksi kuitupituuden, vaihtelujen mukaan puristimen rakennetta voidaan muuttaa. Biolieteosuuden kasvaessa käytetään nykyään varsin yleisesti esivedenerotinta ennen varsinaista puristinta. Esivedenerotin voi olla viira- tai rumpu-tyyppinen.



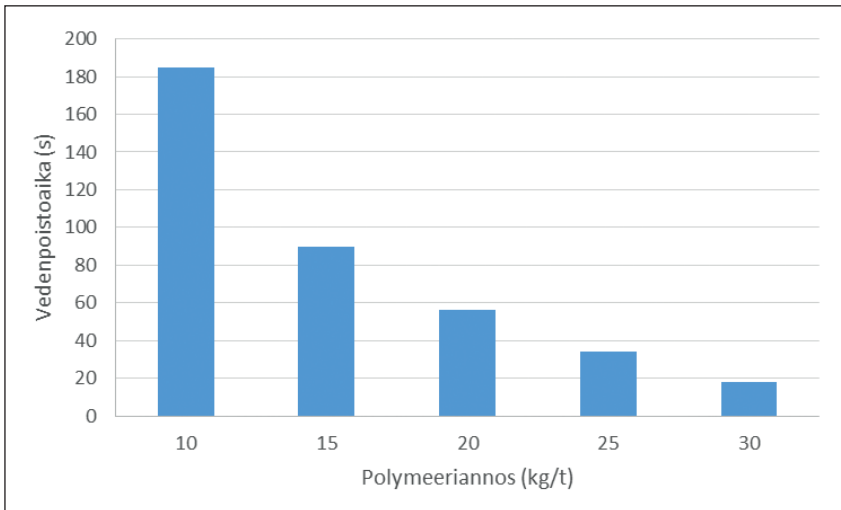
KUVA 3. Andritzin SCS-sarjan ruuvipuristin (kuva Andritz Pulp&Paper)



KUVA 4. Nykyaikainen Andritzin CPF-sarjan suotonauhapuristin, jossa varsinainen puristusosan päälle on rakennettu esivedenerotus (kuva Andritz Pulp&Paper)

Ratkaisevin tekijä lietteen vedenpoistossa on kuitenkin sen flokkautuminen. Käytännössä tämä tarkoittaa polymeerien käyttöä partikkelien yhdistämisessä. Tavoitteena on pitkäketjuisten polymeerien avulla yhdistää pienempiä partikkeleja yhteen (silloitus), jolloin vedenpoisto paranee ja suodosten kiintoainepitoisuus laskee. Kuvassa viisi on esitetty tietyn vesimäärän poistumista lietteestä eri polymeeriannoksilla. Kyseisessä tapauksessa näyttää optimipolymeerimäärä olevan 20–25 kg/t, joka on poikkeuksellisen korkea lietteidenkäsittelyssä. Yleisimmin käytettävät polymeerit ovat kationisia polyakryylamideja (CPAM). Se, minkä tyyppistä polymeeriä ja kuinka paljon kulloinkin käytetään, riippuu käsiteltävistä lietteistä. Polymeerin annostuksessa on tärkeintä annostusmäärä, joka vaihtelee eri lietekoostumuksilla. Ylimääräannostus johtaa taas laitteiden toimimattomuuteen.

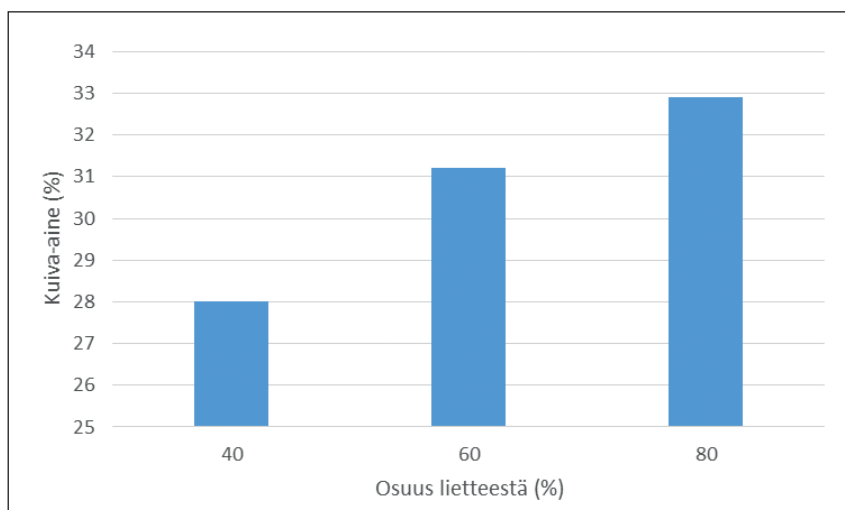




KUVA 5. Eri polymeeriannosten vaikutus vedenpoisto-aikaan sekalietteessä

Sellutehdasympäristössä lietteidenkäsittely on usein ratkaistu siten, että molemmat lietteet käsitellään erikseen. Bioliete käsitellään tyypillisesti lingolla ja primääriliete suotonauha- tai ruuvipuristimella. Lingottu bioliete johdetaan haihduttamolle käsiteltäväksi, ja primääriliete sekoitetaan puolestaan kuoren kanssa ennen polttoa kuorikattilassa. Näissä tapauksissa biolietteellä saavutetaan 10–15 %:n kuiva-aine. Primääriliete taas on yleensä suhteellisen helppo käsitellä yksinään, ja sillä saavutetaan yleensä korkea kuiva-aine jopa ilman polymeeriä.

Kuitulaboratoriossa on tutkittu myös paljon erilaisten sivujakeiden käyttöä apuaineena lietteenkäsittelyssä. Käsittelyssä on omat rajoitteensa, mutta tulokset ovat olleet erittäin lupaavia. Kuvassa kuusi on testattu purun vaikutusta lietteenpuristukseen. Tulos on esitetty purun osuutena kuivasta lietteestä. 40 %:n osuus nostaa kuiva-aineen jo lähelle 30 %:n tasoa. Ennen kaikkea merkittävää tässä on lietteen puristamisen onnistuminen, sillä ilman purua puristaminen ei onnistuisi tässä tapauksessa ollenkaan. Kokeessa käytettiin 4 kg/t polymeeriannostusta. Kuiva-aine nousee edelleen kasvatettaessa purun osuutta. Vastaava parantava vaikutus näkyy myös vedenpoistossa.



**KUVA 6.** Purun vaikutus lietteen puristuvuuteen eri puruosuuksilla

Tehokkain keino koko jätevesipuhdistamon prosessimuutokseen ja lietteenmuodostuksen vähenemiseen olisi eri jakeiden hyödyntäminen jätevesistä. Jos jätevesien orgaanisia jakeita pystyttäisiin ottamaan talteen ja hyödyntämään ennen puhdistamoa, tarkoittaisi tämä puhdistamolle menevän kuormituksen laskua. Tämän myötä ilmastuksen ja pumppausten tarve pienenesi, eli energiaa säästyisi huomattava määrä. Lisäksi ennen kaikkea muodostuva biolietteen määrä pienenesi, mikä taas helpottaisi oleellisesti lietteenkäsittelyä. Tähän suuntaan ollaan menossa, vaikka erityisesti kustannustehokkaan erotustekniikan kehittäminen vain vie aikaa. Tavoitteena on, että koko puhdistamoluoppi jää turhaksi.

# IN-LINE-PCC-MIKROKUITUKOMPOSIITTI PAINETTAVAN ELEKTRONIIKAN ALUSTAKSI

*Tuomas Pesonen & Jari Käyhkö*

Kuitulaboratoriolla toteutettiin vuonna 2014 Maakuntaliiton EAKR-rahoitteinen esiselvitysprojekti, jossa selvitettiin In-line-PCC-mikrofiibriloidun selluloosakomposiitin valmistusta ja ominaisuuksia sekä arvioitiin tämän soveltuvuutta painettavan elektroniikan painoalustaksi. Selvitystyön yhtenä pitkäjänteisenä alueellisenä tavoitteena oli luoda pohjaa ensimmäisen pilottehtaan rakentamiselle Savonlinnaan. Yhtenä osa-alueena hankkeessa oli selvittää pääosin laboratoriotutkimuksin In-line-PCC-komposiitin valmistusta ja kriittisiä ominaisuuksia ko. sovelluskohteen näkökulmasta. Lämpötilan kesto komposiitilla on erinomainen. Mittapysyvyyttä ei erikseen mitattu, mutta aiempien tutkimusten perusteella sen tiedetään korkean täyteainepitoisuuden komposiittiarkilla olevan hyvä. Pinnan sileyys on hyvä (Ra 0,48  $\mu\text{m}$ ), vaikkakaan muovikalvon tasolle (0,2  $\mu\text{m}$ ) ei päästy.

Nesteadsorptio-ominaisuuksia voidaan säätää kemikaalikäsittelyllä, eikä tuotteen havaittu pölyävän silmämääräisesti tehdyissä kokeissa. Lujuudet jäävät reilusti esimerkiksi kopiopaperin lujuuksista, mutta tämän ei arvioitu olevan ratkaiseva ongelma painatussovelluksen kannalta. In-line-PCC-komposiitissa ei havaittu merkittäviä eroja verrattuna kaupallisesta PCC:stä valmistettuun komposiittiin, mutta vedenpoisto oli In-line-PCC-komposiiteilla hieman nopeampaa ja vetolujuus noin kaksinkertainen verrattuna kaupallisesta PCC:stä valmistettuihin komposiitteihin. Tämä puoltaa in-line-PCC-tekniikan käyttöä ja kehittämistä ko. komposiitin valmistuksessa. Laboratoriotutkimuksen perusteella mikroselluloosa-PCC-komposiitista valmistettu tuote voisi soveltua elektronisen painatuksen painoalustaksi. Aihealueena painettava elektroniikka on hyvin laaja ja painoalustalta vaadittavat ominaisuudet hyvin erilaisia eri tapauksissa. Jatkossa tulisi keskittyä spesifisemmin määriteltyjen käyttökohteiden tutkimiseen ja innovointiin.

## **Taustaa**

Mikro- ja nanoselluloosatutkimusta on tehty jo kymmeniä vuosia, mutta aivan viime vuosina tutkimus- ja patentointiaktiiviteetti on lisääntynyt alueella eksponentiaalisesti. Ko. tutkimuksissa keskitytään pääasiassa mikroselluloosan valmistusprosessiin sekä potentiaaliin käyttökohteisiin. Lisäksi maailmalla

on menossa eteenpäin useita eri hankkeita tutkimuslaitosten ja metsäteollisuuden toimesta pilot-mittakaavan mikroselluloosaprosessien rakentamiseksi. Kaupallisten tuotteiden volyymi on tällä hetkellä vielä melko vaatimaton, mutta metsäteollisuudella ja tutkimuslaitoksilla on vahva usko, että kaupallinen aktiviteetti kasvaa lähiaikoina merkittävästi.

VTT:n ym. toimijoiden johdosta on lähiaikoina selvitetty täyteaine-mikroselluloosakomposiitin käyttöä painetun elektroniikan alustana (Torvinen 2010; Maijala 2012). Tutkimuksissa on alustavasti todettu materiaalin soveltuvuus ko. tarkoitukseen, jolloin se toimisi lähinnä muoviperusteisten alustojen korvaajana. Valmistetun tuotteen hinta olisi luokkaa 30 €/kg, ja markkinat ovat vahvasti kasvussa. Ko. komposiitin valmistamista teollisuusmittakaavassa ei kuitenkaan ole tutkittu, eikä tällaisia tutkimuksia myöskään ole tietävästi tällä hetkellä muiden toimesta suunnitteilla. Savonlinnassa on vahva osaamispotentiaali luoda konsortio aihealueen alustavaan selvittämiseen.

Mahdollisuus valmistaa rainattava ja rullattava tuote mikroselluloosasta toisi merkittävän edistysaskeleen mikroselluloosapohjaisten tuotteiden valmistuksen ja potentiaalisten uusien käyttökohteiden tutkimuksessa Suomessa ja kansainvälisesti. Pilot-laitoksen olemassaolo toisi siten esimerkiksi Savonlinnaan teollisen aktiviteetin lisäksi erittäin merkittävän jalansijan olla mukana mikroselluloosan ja siitä valmistettavien rainattavien tuotteiden tutkimus- ja kehitystyössä. Mahdollinen vaihtoehto pilot-tehtaan sijoittumiselle alueelle olisi Nordkalkin Louhen tuotantolaitosten yhteyteen, koska täältä saataisiin suoraan tarvittava kalkkimaito ja hiilidioksidi.

Laboratoriotutkimuksen ja koko projektin lähtökohtana oli käyttää PCC:n valmistukseen In-line-PCC-teknologiaa, eli saostaa PCC suoraan kuitususpensiossa kiinni mikroselluloosafibrilleihin. Entuudestaan tiedetään, että kiteytymisreaktion tapahtuessa kuitususpensiossa PCC kiteytyy pääasiassa selluloosafibrilleihin. Jopa 98 % syntyvästä PCC:stä on todettu kiinnittyvän nimenomaan fibrilleihin (Silenius 2002). Luja mekaaninen kiinnittyminen fibrilleihin mahdollistaa komposiittirakenteen, jolla korkeat täyteainepitoisuudetkin ovat toteutettavissa (Subramanian 2008). Menetelmän hyötyjä selvitettiin vertaamalla kaupallista, skalenoodristä PCC:tä laboratorioreaktorissa valmistettuun In-line-PCC:hen painoalustan ominaisuuksien ja vedenpoiston osalta.

Laboratoriotutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia ominaisuuksia mikroselluloosa/PCC-komposiitilla on ja kuinka hyvin sen arvioidaan soveltuvan painetun elektroniikan alustaksi. Laboratorioarkkien tärkeimmät mitatut ominaisuudet olivat sileys, lujuudet ja vedenpoisto. Tämän lisäksi arviointiin lämpötilan sietoa. Tähän julkaisuun on koostettu tutkimuksissa saadut olennaisimmat tulokset.

## **Materiaalit ja menetelmät**

Laboratoriokokeissa käytettiin pääasiassa VTT:n jauhamaa mikroselluloosaa. VTT valmistaa mikroselluloosan jauhamalla sitä valkaistusta koivusulfaattisellusta Masuko- jauhimella. Kokeissa käytetty jauhamaton koivusulfaattisellu märkähajotettiin kuitulaboratoriossa kuivasta selluarkista. Jauhettu sellu valmistettiin jauhamalla valkaistua ja kuivattua koivusulfaattisellua laboratoriojauhimella (IKA Magic Lab). Massan SR-luku jauhatuksen jälkeen oli 95. Kalsiumhydroksidi toimitettiin valmiiksi sammutettuna ja nestemäisenä kalkkimaitona.

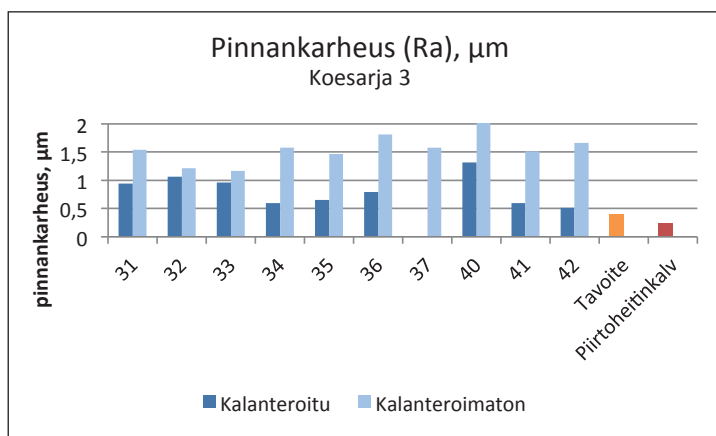
Laboratorioarkkien valmistuksen ensimmäinen vaihe oli täyteaineen valmistus mikroselluloosan joukkoon. Karbonointi toteutettiin Kuitulaboratorion laborioreaktorissa. Reaktoriin lisättiin mikroselluloosasuspensio, kalkkimaito ja hiilidioksidi. Lopputuloksena syntyy saostettua kalsiumkarbonaattia pääasiassa suoraan kiinni mikroselluloosakuituihin.

Komposiitti valmistettiin imusuppilossa suodatinpaperille, jonka jälkeen arkit märkämpuristettiin. Puristimesta arkit nostettiin pikakuivuriin, jonka lämpötila oli noin 160 astetta. Kuivauksen jälkeen suodatinpaperi irrotettiin arkista. Arkit kalanteroititiin laboriokalanterilla. Nipin paine oli noin 30 bar, telojen lämpötila noin 100 astetta ja arkki läpäisi nipin kaksi kertaa puoleltaan.

Selluloosan jauhatustaste määritettiin Kuitulaboratorion Shopper&Riegler-laitteella. Arkkien sileys määritettiin mittaamalla pinnankarheus ( $R_a$ ), joka mitattiin mekaanisella pinnankarheusmittarilla. Laitteen merkki ja malli on Mitutoyo SJ-201. Vetolujuus /vetoindeksi määritettiin Lorentzen & Wettre Atwetron TH1 -mittalaitteella. Repäisyjuuudet mitattiin Lorentzen & Wettre Tearing Testerillä. Optiset arvot määritettiin Lorentzen & Wettre Elrepholla. Lämpötilan sietoa tutkittiin Kuitulaboratorion tuhkausuunilla. Uunin lämpötilaa nostettiin 10 minuutin välein haluttuun arvoon ja näytteet pidettiin uunissa koko lämmityksen ajan.

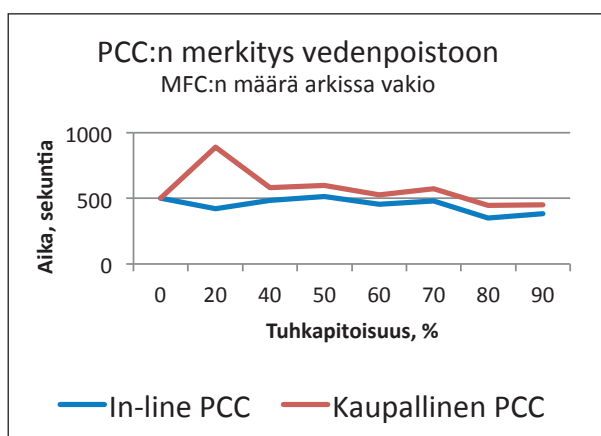
## **Tulokset ja johtopäätökset**

Painoalustan sileys on tärkeä ominaisuus elektronisessa painamisessa. Muovipohjaisilla tuotteilla pinnankarheus on luokkaa 0,25  $\mu\text{m}$ . Parhaimmillaan näissä kokeissa päästiin melko hyvään 0,5  $\mu\text{m}$  sileysarvoon (kuva 1). Kalanteroinnilla voidaan vaikuttaa merkittävästi sileyteen, joten kalanterointiolosuhteiden erillisellä optimoinnilla sileyttä olisi todennäköisesti mahdollista vielä parantaa.



KUVA 1. Sileydet arkeista koesarjassa 2. Koepisteissä 31–37 täyteainepitoisuus kasvaa arvosta 0 % arvoon 90 %. Koepisteessä 40 on käytetty Louhen kalkkia, ja koepisteessä 41 karbonointi on tehty puhtaaseen veteen. Koepisteessä 42 kalanterointi on tehty korotetussa paineessa.

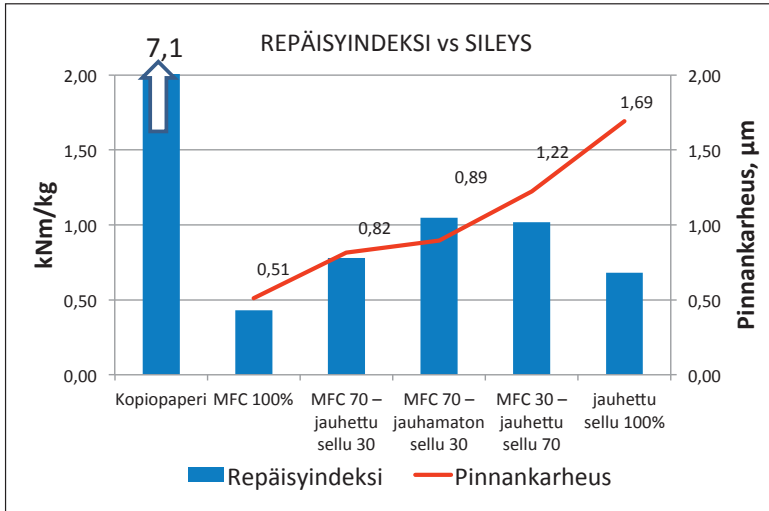
Vedenpoisto on olennainen ominaisuus komposiitin valmistuksen kannalta. Vedenpoistoa tutkittiin mittaamalla bühner-imusuppilossa suotautumiseen kuluva aika. In-line-PCC:llä saavutettiin perinteistä PCC:tä nopeampi vedenpoisto - paikoin noin 20 % nopeampi (kuva 2). Eron arvellaan syntyvän PCC:n mekaanisesta kiinnittymisestä fibrilleihin In-line-PCC:ssä, jolloin irrallista PCC-kidettä on vähemmän. Irrallinen PCC voi kulkeutua kanaviin ja huokosiin, josta vesi poistuu, hidastaen näin vedenpoistoa.



KUVA 2. Täyteaineen vaikutus vedenpoistoon

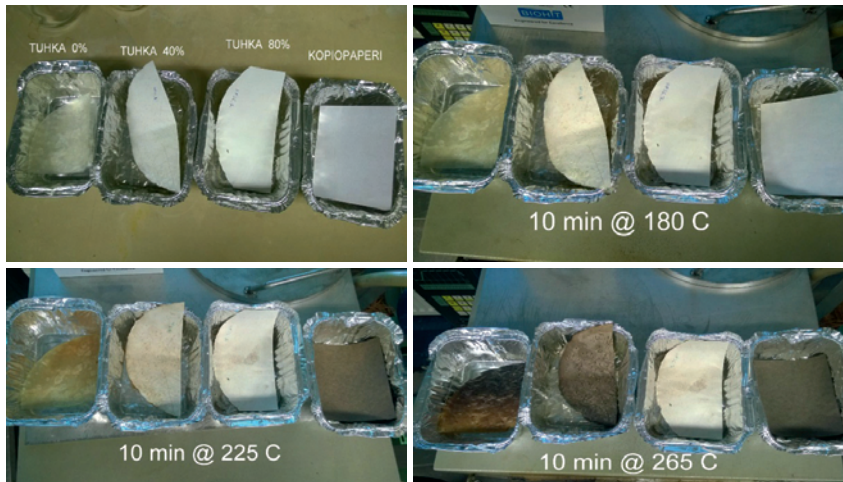
In-line-PCC:llä saavutettiin noin kaksinkertainen vetolujuus verrattuna kaupalliseen PCC:hen. Käytetyllä 80 % PCC-pitoisuudella lujuus jää alhaiseksi verrattuna esimerkiksi normaalin kopiopaperin vetolujuuteen. Riittävien lu-

juusominaisuuksien saavuttaminen alustalle voi muodostua kriittiseksi tekijäksi. Lujutta voidaan lisätä esimerkiksi käyttämällä komposiitin valmistuksessa osin pitkäkuituisempaa materiaalia, kuten pitkälle jauhettua selluloosaa, mutta tällöin myös komposiitin sileys huononee (kuva 3).



KUVA 3. Repäisyindeksin ja pinnankarheuden yhteys

Arkien lämmönkestoa testattiin lämmittämällä neljä eri näytettä tuhkaosuuksissa, ks. kuva 4. Arkit sisälsivät 0, 40 ja 80 % täyteainetta. Vertailun vuoksi mukana oli kopiopaperia. 80 % täyteainetta sisältävä arki kesti yli 260 asteen lämpötilaa erinomaisesti. Arkissa ei ollut havaittavissa selkeää haurastumista. Ruskea tahra arkissa on palanut sormenjälki.



KUVA 4. Lähtötilanne ja tilanne lämpökäsittelyn jälkeen (kuva Tuomas Pesonen)

Elektroniikan painoalusta ei saa pölytä, koska pöly voi haitata merkittävästi painetun elektroniikan toimivuutta ja painatusprosessia. Painoalustojen pölyämättömyyttä selvitettiin pyyhkimällä kalanteroidun laboratorioarkin pintaa mustalla kankaalla (kuva 5). Kankaaseen ei näyttäisi tarttuvan valkoista kalsiumkarbonaattia pienellä hankauksellakaan.



KUVA 5. Painoalustaa (KP42) hangattiin mustalla kankaalla. Kankaaseen ei tarttunut valkoista pölyä (kuva Tuomas Pesonen)

## Johtopäätökset

Laboratoriokokeiden perusteella voidaan arvioida, että ominaisuuksiltaan valmistetut komposiitit ovat painettavan elektroniikan sovellusten osalta mahdollisesti riittävällä tasolla tai vaadittava taso on saavutettavissa (taulukko 6). Lopullinen soveltuvuus painoalustaksi selviää vasta painatuskokeessa. Alustavia testejä ko. materiaalilla on juuri meneillään Oulun AMK:n PrintLabissa. Lisäksi voidaan todeta, että komposiitin valmistukseen kaavailtu In-line-PCC-tekniikka tuo etuja kaupallisen PCC:n käyttöön nähden. Laboratoriokokeiden perusteella In-line-PCC:llä saavutetaan ainakin parempi vetolujuus ja vedenpoisto verrattuna kaupalliseen PCC:hen.

Lämmönkesto oli selkeästi erinomaisella tasolla, ja tämä voi olla merkittävä etu mietittäessä potentiaalisia käyttökohteita muovipohjaisten alustojen korvaajana. Komposiitin valmistustekniikan osalta hidas vedenpoisto saattaa aiheuttaa teknisiä ongelmia varsinkin suurempien tuotemäärien valmistuksessa.



## TAULUKKO 6. Yhteenveto ominaisuuksista.

Ominaisuus	Tilanne	Voidaanko vaikuttaa?
Sileys	OK (0,48 µm)	Todennäköisesti
Vedenpoisto	OK -	Kyllä
Vetolujuus	OK	Ei tarvetta
Repäisylujuus	OK	Kyllä
Lämmönkesto	OK +	Tarvittaessa
Mittapysyvyys	OK	
Hydrofobisuus	OK	Kyllä
Pölyävyys	OK	

## LÄHTEET

Torvinen, Katriina 2010. Substral-loppuraportti, VTT Jyväskylä, 33 s.

Maijala, Juha 2012. Substrate for Printed Electronics, saatavissa: <http://fibic.fi/wp-content/uploads/2012/11/3-Effnet-SE-NFC-substrate-20112012-Final.pdf>, viitattu 1.9.2014.

Silenius, Petri 2002. Improving the combinations of critical properties and process parameters of printing and writing papers and paperboards by new paper-filling methods, Doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Espoo.

Subramanian, R. 2008. Engineering fine paper by utilising the structural elements of the raw materials, Doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Espoo.

# NEW REACTOR TECHNIQUE FOR THE FEEDING OF CHEMICALS IN THE PAPER MACHINE WETEND

*Emmi Kallio & Tiina Saario & Jari Käyhkö*

With the new reactor technique, different paper chemicals can be mixed to process simultaneously and very close to the headbox. This provides the possibilities to simplify the process, decrease the consumption of chemicals, improve retention and dewatering and improve and adjust the paper properties. Due to the large size of the paper making processes, even a small advantage obtained in these issues may have a huge economic impact on the paper producer. In this paper, a description of this new technology and research work carried out in the FiberLaboratory related to this technology will be given. E.g. with the simultaneous addition of filler and cationic starch, the retention and paper strength properties can be improved.

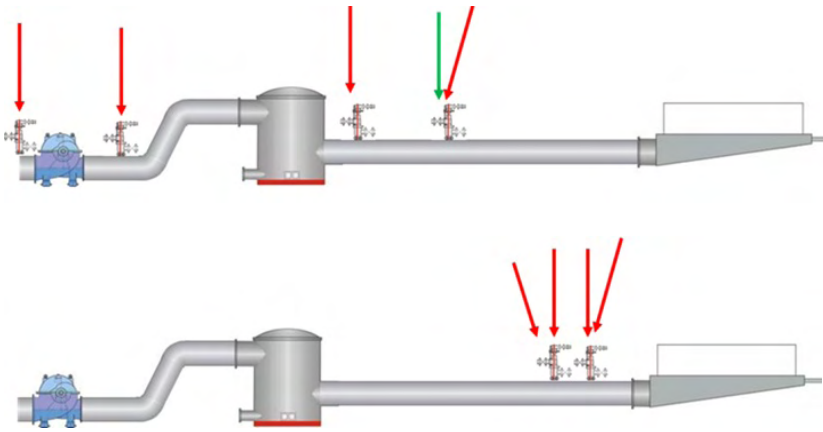
## **Introduction**

Traditionally, paper making chemicals have been fed at the early stage of the short circulation. Thus the proper mixing of chemicals into the pulp suspension is assured. When the chemicals are fed far from the head box, a large amount of harmful particles are attached on the chemical surface and chemicals lose their efficiency. They also face high shear forces, which destroys the formed flocs. (Paananen & Käyhkö 2010, Hubbe & Wang 2002, Ryösö 2001, Blanco et al. 2005.)

With new types of chemical feeding devices (da Silva Santos 2007, Lamminen et al. 2005, Matula et al. 2006, Matula & Matula 2012), eg. TrumpJet™, chemicals are mixed better and it is possible to feed chemicals closer to the paper machine headbox.

The trend, nowadays, is to feed chemicals even closer to the headbox, closer to each other and even feed chemicals simultaneously. This trend and technique which makes this job is called reactor technique. With this new reactor technique several chemicals can be mixed into the process simultaneously (figure 1). Technique opens possibilities to improve processes, products and

even to produce new type of products. The technique and concept has been developed by Wetend Technologies Ltd with close co-operation to customers. Because of the extremely rapid process, phenomena and results have not been able to prove with traditional laboratory tests. Therefore, it has required risk investments of customers to confirm the functionality and benefits of this system. Savings and product improvements have already been achieved in several paper mills using this technique. (Matula & Matula 2012, 2015.)



**FIGURE 1. Feeding chemicals closer to the headbox. a) Chemicals moved closer to the headbox, before and after screen b) Reactor technique, feeding chemicals simultaneously and very close to each other (picture Wetend Technologies Ltd, Finland)**

FiberLaboratory, the research unit of the Mikkeli University of Applied Sciences, has studied the chemistry of the paper machine's wetend for many years, specially focusing on the feeding and mixing of the paper chemicals (Kallio et al. 2013, Paananen & Käyhkö 2013, Paananen et al. 2012). The subject is remarkably extensive and the new reactor technique has a potential to develop the area further. Laboratory results indicate the possibility of the technique, but face some problems related to test conditions. When chemicals are fed close to each other it is extremely important to know what the hydrodynamical and mixing conditions are in the laboratory test and in the mill conditions. In that way, it is possible to understand phenomena around the technique and take the advantage from laboratory results. In this moment, it seems that the adjustability of the mixing and the hydrodynamical conditions in the laboratory tests has to be improved to be able to reach similar conditions as in the mill. The focus in our research work is to scale up some cases from the laboratory via a pilot scale to a full-scale and see the correspondence of laboratory results and mill trials. The final target is to be able to predict through laboratory tests how changes in the feeding strategy in the mill have an effect on the process performance and product quality.

## Methods

Special devices used in the laboratory to study chemical feeding are the Moving Belt Former (MBF), Retention Process Analyzer (RPA) and laboratory reactor. Pictures from these devices can be found in the paper of Rasi and Käyhkö (2015).

MBF is a dynamic sheet for simulating the drainage stage in four drainer wire machines and shear forces present in the paper machine short circulation. The rotating speed of the mixer, chemical feeding locations and the vacuum at the dewatering stage are controlled with the help of the computer. After sheet forming, sheets are dealt with according to the standards (ISO 5269-1, ISO 5270, ISO 187, ISO 536, ISO 534, ISO 1924-2, ISO 2470, ISO 2471, ISO 9416, ISO 638, ISO 1762, TAPPI T 569).

Shear forces and feeding delays concerning chemical feeding are also studied with the help of RPA-device. The behaviour of the formed flocs and relative retention can be observed by measuring the turbidity of the filtrate (PDA). The laboratory reactor consists of a reactor chamber with an adjustable rotor. A chemical can be fed into the reactor by a semi-automated chemical feeder. The reactor chamber is also equipped with a gas inlet.

## Test equipment and their correlation to the practice

When using TrumpJet™ in chemical feeding, the mixing is very rapid because the use of a stock flow as an injection liquid (Matula 2002, Matula & Matula 2012, KnowPap). The conventional feeding method uses dilution water in the feeding and mixing is worse (Krochak et al. 2015, Matula 2002). When thinking of the laboratory tests, the problem is usually that with the laboratory devices it is hard to achieve similar hydrodynamical forces and mixedness as with TrumpJet™ feeding. We have been calculating the mixing energy targeted on the chemical with different kinds of feeding systems (figure 2). It seems that with conventional devices used widely in studies like these (MBF and DDJ), it is impossible to achieve as strong shear forces as in the TrumpJet™ feeding. So, especially when studying the simultaneous feeding of chemicals, there should be some caution to assume that similar results would be obtained in mill conditions. With a laboratory reactor, it seems to be possible to obtain similar shear forces as in the TrumpJet™ feeding, but there exists some difficulties in the usage of this device. The time interval, where the shear forces exist in the feeding is extremely short, about 0.2s. It is difficult to produce these kinds of shear force pulses accurately during the chemical feeding when the batch device is used. Also, there exists some time delay between making a pulp/chemical suspension and a web forming when tests are made with a laboratory reactor. During that delay, it is possible that some changes in the suspension take place.

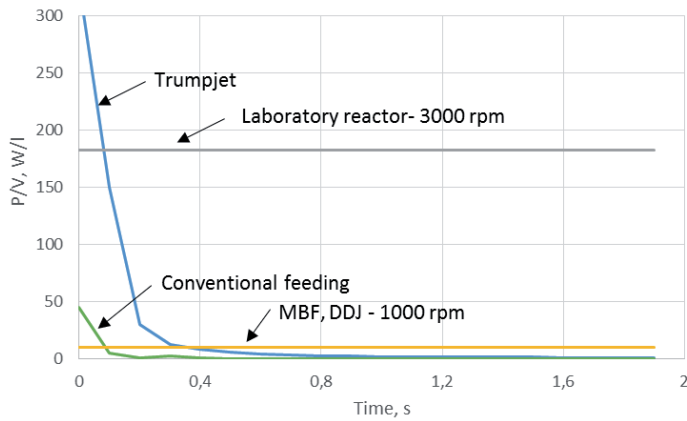


FIGURE 2. The power targeted per volume in the chemical feeding devices and laboratory equipment.

### Reactor technique and laboratory results

Two component retention aid systems, silica and cationic polyacrylamide (C-PAM) were tested at the laboratory with the RPA-device. The time delay between the silica and C-PAM addition was varied. Simultaneous feeding was also tested. C-PAM fed alone was taken as the reference.

According to the maximum relative retention achieved, it seemed that silica should be added after the C-PAM addition, see figure 3. Simultaneous addition gave the worst result of the whole test series. A retention level that was better than with the reference was only achieved at two test points, the feeding of silica 5 or 10 seconds after C-PAM.

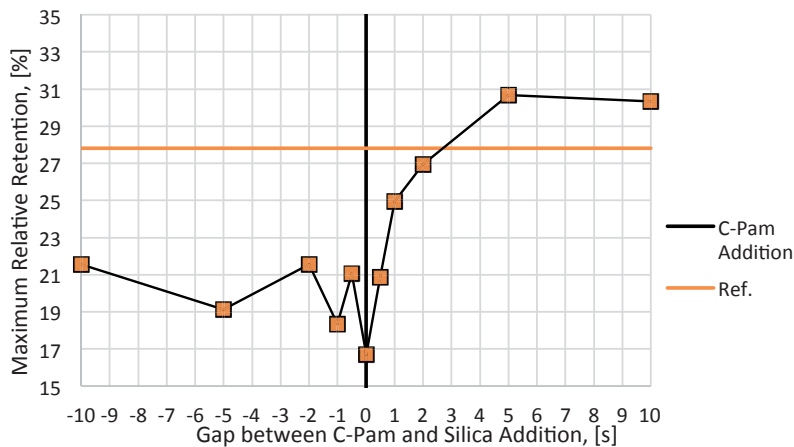


FIGURE 3. Effect of the time delay between C-PAM and silica addition on relative retention

The feeding strategy of the filler and retention aid (C-PAM) was tested with MBF. When feeding chemicals in a conventional way, the filler is fed at an early stage of the short circulation, at this test, 30 seconds before drainage, and C-PAM close to the headbox (-4 seconds). Simultaneous feeding of chemicals was done 4 seconds before the headbox. In addition, a dispersant amount (sodium polyacrylate) and therefore the anionic charge of the filler was increased.

When a retention aid and filler were fed simultaneously, the total and filler retention was improved, compared to the conventional feeding (figure 4). An increased dispersant amount reduced the retention. However, paper properties were also changed among the feeding system, see figure 5. If the chemicals were fed simultaneously, the optical properties were decreased and the strength properties increased compared to conventional feeding. This is mainly because of the more severe agglomeration of the filler material.

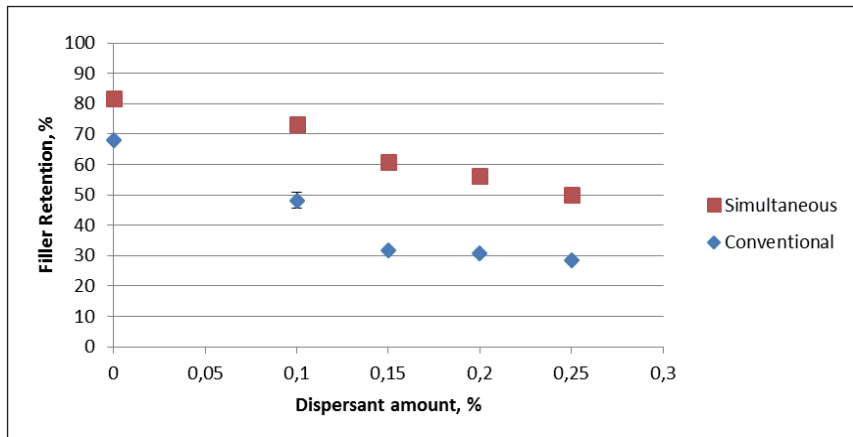


FIGURE 4. The effect of the feeding strategy and dispersant amount to the filler retention

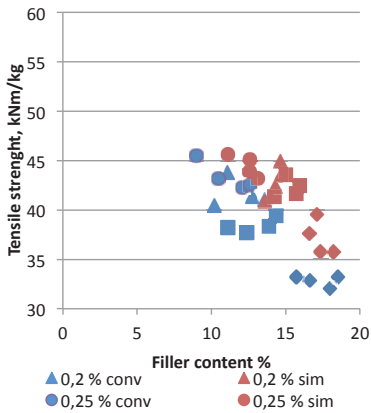
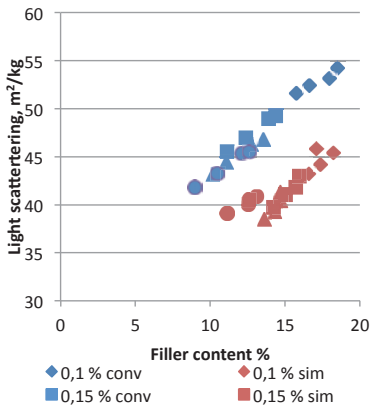


FIGURE 5. Paper properties of the MBF sheets when filler is fed conventionally or simultaneously

Starch used as a dry strength agent has traditionally been fed to the thick stock. The trend is to move starch to a short circulation and, moreover, add it simultaneously with other chemicals. Different feeding strategies of starch and filler were tested with MBF. The feeding of the starch was made in thick stock, short circulation or together with a filler at same point of the short circulation. Two types of potato starch were used, dry and wet cationised. However the delay to the headbox at short circulation feeding was about 30 seconds.

The filler retention was improved when moving starch from thick stock to short circulation, as seen in figure 6. The simultaneous feeding of starch and filler improved the filler retention further. As seen from figure 7, paper properties were changed when switching the feeding strategy. Some flocculation occurred, causing a decrease in the paper optical properties and an improvement in the strength properties when feeding simultaneously. However, when comparing simultaneous feeding to thick stock feeding, the strength properties were maintained and the optical properties improved at the same time as the filler content was also improved.

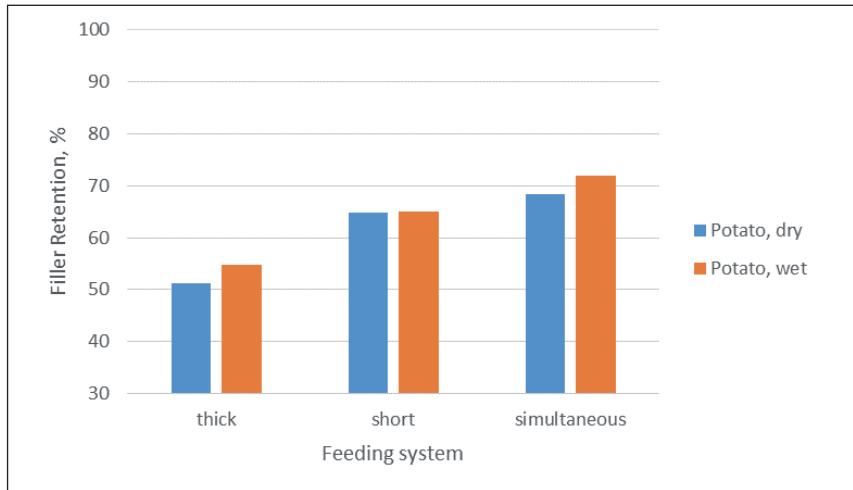


FIGURE 6. Different feeding strategies of the starch and filler and their effect to the filler retention

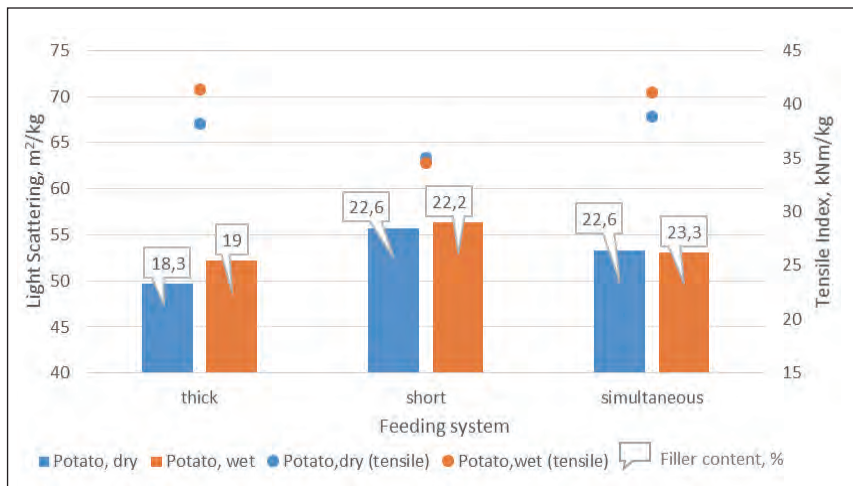


FIGURE 7. Effect of the feeding strategy to the paper properties



## **Conclusion and discussion**

As seen from the laboratory test results, there is potential to improve the efficiency of papermaking chemicals with the help of feeding strategies. In many cases, when feeding several chemicals simultaneously, improvements in chemical efficiency are observed, but some negative effects occur on paper. However, some of these systems are in use at paper mills, so there are still some differences between laboratory tests and mill scale. Differences are related to different hydrodynamics occurred in the laboratory. In addition, laboratory results show the ability to affect the paper properties and flocculation of the chemicals through feeding strategies.

When thinking of laboratory tests, the following step is to develop test methods and equipments so that their correspondence is better to the mill scale. We must have the ability to make laboratory experiments in similar hydrodynamical conditions as in the mill to optimise the feeding variables and predict the functionality of the technology in different cases. The power of mixing and how to control mixedness are the key parameters. Also tests related to existing laboratory results will be carried out in a pilot scale, using a Fiber-Laboratory mixing station, where the test can be done in very similar hydrodynamical conditions as in the mill conditions.

## **Acknowledgements**

The author wishes to thank TEKES (Finnish Funding Agency for Technology and Innovation) as well as UPM-Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj, Kemira Oyj, Chemigate Ltd, Imerys Minerals Ltd and Wetend Technologies Ltd for participating and funding the research project related to this article.

## REFERENCES

da Silva Santos , C. 2007. New Mixing Technology for Wet End Improves Environmental Performance, *Pulp & Paper* 81(7), 46-49.

Blanco, A., Negro, C., Fiente, E., Tijero, J. 2005. Effect of Shearing Forces and flocculant overdose on filler flocculation mechanism and floc properties, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 9105-9112.

Hubbe, M.A., Wang, F 2002. Where to add retention aid: issues of time and shear, *Tappi Journal* 1(1), 28-33.

Kallio, E., Paananen, P., Käyhkö, J. 2013. The effect of dispersing agent and feed strategy on filler retention and agglomeration. *NPPRJ* 28(3), 458-463.

Krochak, P., Fasci, G.C., Norman, B., Wittberg, L.P 2015. Bridging chemical dosage, mixing quality, and variability in paper sheets, *TAPPI Journal* 14(5), 311-320.

Lamminen, P., Koponen, A., Houni, J., Leino, T., Laakkonen, K. 2005. Investigation of a new type of retention aid mixer, *Paperi Puu* 87(8), 512-516.

Matula, J. 2002. Efficient Mixing of Papermaking Chemicals With TrumpJet™ System - Without Any Fresh Water, Wet end Technology. Scandinavian Paper Symposium, Helsinki, 10-11 September 2002, Technical Conference Management KEG, 11 s.

Matula J., Käyhkö J., Ruuska T. 2006. Immediate and efficient mixing of wet end additives close to PM headbox, *Tappi Papermakers Conference*, Atlanta.

Matula, J., Matula, J. 2012. Paper and Board Mill Profits from Mixing Starch and Filler Simultaneously Close to the Headbox. *TAPPI Paper Conference 2012*, New Orleans, USA.

Matula J., Matula, J. 2015. TrumpJet Flash Mixing Reactor before headbox challenges present wet end chemistry, brings savings and is exploited to create composite sheet structures, *TAPPI Paper Conference 2015*, Atlanta, USA.

Paananen, P., Käyhkö, J. 2010. Simultaneous Feeding of Filler and Retention Aid Chemicals. *PTS Symposium, Applied Interface Chemistry, Munchen* 9-10.2.2010.

Paananen, P., Kallio, E., Käyhkö, J. 2012. Paperikemikaalien syöttötutkimukset FiberLaboratoryssa. *Paperitehdaspäivät 2012*, Savonlinna, Finland.

Paananen, P., Käyhkö, J. 2013. Simultaneous feeding of filler and retention aid chemicals close to the headbox. NPPRJ 28(4), 514-520.

Ryösö, K. 2001. Adding retention aid before filler addition: retention, water removal and formation. Paper Technology 42(8), 52-55.

VTT Tuotteet ja tuotanto, Prowledge Oy, KnowPap 10.0- paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö, Saatavissa: Intranet LTY: n sisäisessä käytössä, vaatii käyttäjätunnuksen.

# A TIME DOMAIN NMR BASED METHOD FOR MONITORING METAL IONS IN MINE WATERS

*Yrjö Hiltunen & Ekaterina Nikolskaya & Mika Liukkonen & Janne Kankkunen*

Heavy metal pollution is presently a severe environmental problem, and the treatment of metal ions is of special concern due to their recalcitrance and persistence in the environment (Fu et al. 2011). In contrast to organic contaminants, heavy metals are not biodegradable and are susceptible to accumulate in living organisms. Moreover, it is widely recognized that many heavy metal ions are toxic or carcinogenic. In recent years, various methods for the removal of heavy metals from wastewater have been extensively studied. Chemical precipitation is a conventional technology used to treat mine waters (Fu et al. 2011). Chemical precipitation processes involve the addition of chemical reagents, followed by the separation of the precipitated solids from the cleaned water. Chemical precipitation can also be used in water pools, in which case the precipitated solids can simply remain at the bottom of the pool. Precipitation can be induced by the addition of an alkali, sulfide, coagulant, or other reagent that will bond with a dissolved metal ion. Raising the pH with the use of alkaline agents, such as sodium hydroxide, causes certain dissolved metals to precipitate as hydroxides. Online pH meters are normally used for controlling this process. However, these instruments cause continual problems with cleaning for operators.

The Time domain nuclear magnetic resonance method (TD-NMR) is also becoming highly attractive for industrial applications, due to its relatively low price, mobility, easy operating, and simple sample preparation procedure. The most successful applications of TD-NMR confirmed by international standards are solid fat content determinations in food and water (ISO 8292: 2008) and oil content in oilseeds (ISO 10565: 1998). They are based on the difference of the NMR parameters of water and lipids and a low exchange degree between these two fractions. A possibility to use the same principle for the analysis of lipid content in microalgae (Gao et al. 2008), for the analysis of the oil content of olive mill wastes and municipal wastewater sludge (Willson et al. 2010) was demonstrated. The international standard for the hydrogen content determination in aviation fuels (ASTM D7171-05: 2011)

has been developed recently. Metal ions, particularly paramagnetic ions, can also change significantly the relaxation times in water and biological samples (Yilmaz et al. 1999; Grunin et al. 2013), which can be applicable to the controlling treatment of mine waters.

In this paper, a novel online method for monitoring the precipitation of metals in mine waters is presented. The method is based on the time domain NMR.

### Materials and methods

Laboratory tests were performed using real mine water. The pH was 4.6 before the alkaline treatment. In the experiment, the pH level was increased from pH 4.6 to pH 12. The metal concentrations of the samples (in mg/l) were measured by the XRF method. Because the XRF method has problems with light atoms (e.g. Mg, Al), values were measured for Mn, Fe, Cu and Zn. The pH values and metal concentrations of the samples are given in Table 1 (in mg/l). The pH of the mine water in a real process was 4.6 before the alkaline treatment. In the experiment, the pH level was increased to pH 11 and then decreased to pH 7.

**TABLE 1. Concentrations of metals (Mn, Fe, Cu and Zn) in test samples (in mg/l)**

pH	Mn	Fe	Cu	Zn	Total
4.8	11.98	6.21	2.33	15.05	35.562
6.75	11.71	0.85	0.08	9.812	22.451
7.81	8.971	0	0.01	0.294	9.273
8.4	7.678	0	0.01	0.045	7.728
8.74	6.49	0	0.01	0.018	6.514
8.88	5.349	0.02	0.01	0.013	5.391
8.98	4.021	0	0.01	0.013	4.043
9.14	2.1	0	0.01	0.005	2.112
9.23	0.82	0	0.01	0.203	1.028
9.41	0.149	0.01	0.01	0.007	0.171
9.63	0.036	0.01	0.01	0.017	0.076
10.76	0.011	0.02	0.01	0.007	0.042
11.99	0.01	0.01	0.01	0.01	0.036

Relaxation time measurements were performed using a mobile NMR device with a  $^1\text{H}$  resonance frequency of 25.7 MHz (Resonance Systems Ltd). The device was modified for online measurements in industrial conditions (figure 1). The permanent magnet of 0.6 T has the dimensions of 140x190x150 mm, weighing 19 kg. The diameter of the sensor hole is 10 mm. A CPMG (Carr-Parcell-Meiboom-Gill) pulse sequence for spin-spin relaxation time  $T_2$  measurements was used.



FIGURE 1. The NMR device modified for online measurements in industrial premises (picture Yrjö Hiltunen)

## Results and discussion

The spin-spin relaxation times  $T_2$  of mine water were measured using the same NMR device, both in the laboratory and in a real treatment process. The pH and  $T_2$  data were collected by varying the amount of sodium hydroxide. The laboratory values of the relaxation time  $T_2$  as a function of pH in mining water (circle) are shown in figure 2. For comparative purposes, a similar experiment, by varying the amount of NaOH chemical, was repeated in drinking water. They are also presented in figure 2 (triangle). As we can see in the figure, the relaxation time measured in mine water approaches the value of clean water, when the metal ion removal increases.

The values of the relaxation time  $T_2$  have also been measured in a real treatment process of mine water. The pH and  $T_2$  values were measured in the same place of the process, so they are also comparable with each other. The values of the relaxation time  $T_2$  as a function of the pH values in mine water

and in drinking water are graphically shown in figure 3. The relaxation time measured in mine water approaches the value of clean water, however, there is a larger deviation at a pH over 11 when compared to the laboratory measurements. A reason for this deviation could be a weaker mixing of the NaOH chemical in the real process than in laboratory measurements.

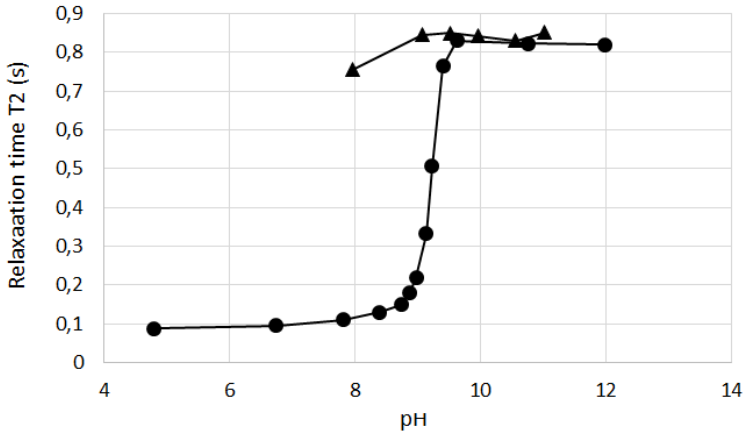


FIGURE 2. Relaxation time  $T_2$  of laboratory measurements as a function of pH in mine water (circle) and in drinking water (triangle)

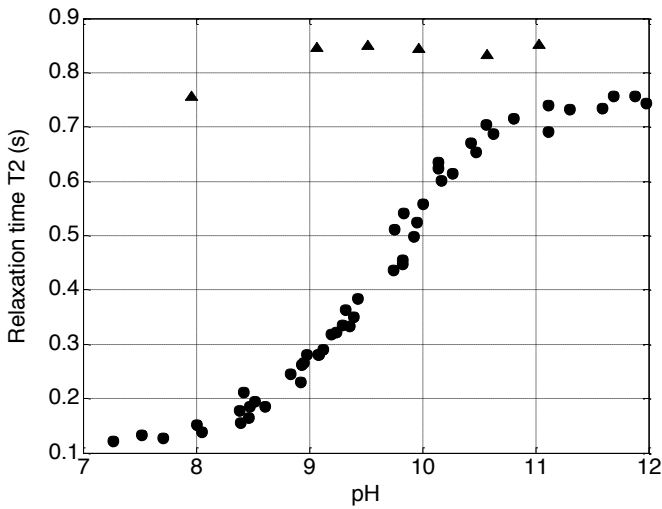


FIGURE 3. Relaxation time  $T_2$  of a real treatment process as a function of pH in mine water (circle) and in drinking water (triangle)

The total concentration of metals has a multilinear dependence on the relaxation rate  $R_2$  ( $= 1/T_2$ ), as can be seen in figure 4. A model between the  $R_2$  values and the relative amount of precipitated metal ions can be estimated (solid lines).

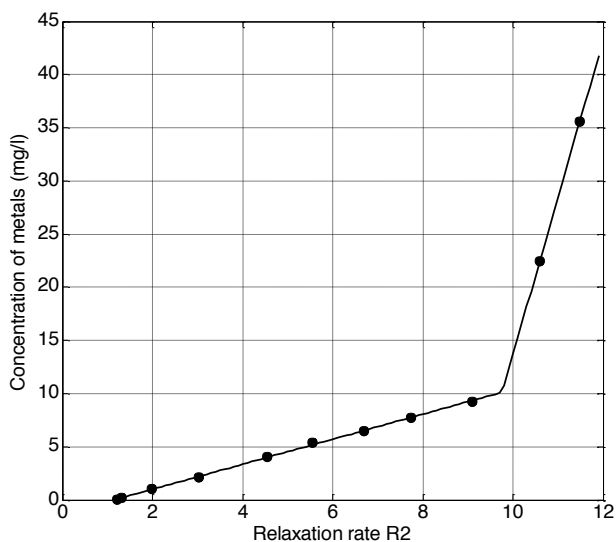


FIGURE 4. Total concentration of metals (mg/l) in mine water samples as a function of relaxation rate  $R_2$

In recent years, various methods for the removal of heavy metals from wastewater have been extensively studied. Chemical precipitation is one of the most commonly used technologies for treating mine waters. Raising the pH with the use of alkaline agents, such as NaOH, causes certain dissolved metals to precipitate as hydroxides.

On the other hand, metal ions change the proton relaxation times in water (Yilmaz et al. 1999; Grunin et al. 2013) and in mining water, as can be seen in figure 2. and 3. The relaxation time increases when the concentration of metal ions decreases (figure 2. and 3.). This dependence enables the estimation of a relative amount of precipitated metal ions (figure 4.), which can be applied to control the treatment process of mine water.

Online pH instruments are normally used for controlling industrial processes. However, these instruments cause continual problems with cleaning. However, NMR technology is almost a non-fouling method, because the sensor (a coil) of the NMR device is not in direct contact with the process water.



## **Conclusions**

The results of the study demonstrate that the TD-NMR method can be used for monitoring the precipitation of metals in mine waters. At the same time, NMR technology is almost a non-fouling method, which is useful in industrial applications.

## **Acknowledgments**

The research was funded by the Finnish Funding Agency for Technology and Innovation (TEKES) within the projects Smart Mine Water Treatment System (SeeWay) and Intelligent Software and Service Concept of the Industrial Internet (InDiGO!).

## REFERENCES

ASTM D7171 – 05: 2011 Standard Test Method for Hydrogen Content of Middle Distillate Petroleum Products by Low-Resolution Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy.

Gao, C., Xiong, W., Zhang, Y., Yuan, W., Wu, Q. (2008). Rapid quantitation of lipid in microalgae by time-domain nuclear magnetic resonance. *Journal of Microbiological Methods*, 75, 437–440.

Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92, 407-418.

Grunin, L., Nikolskaya E. and Edwards, J. (2013). The use of <sup>1</sup>H-NMR Relaxation Times of Water Adsorbed on Soils to Monitor *Environment Pollution. Air, Soil and Water Research*, 6, 115-119.

ISO 8292: 2008. Animal and vegetable fats and oils – Determination of solid fat content by pulsed NMR.

ISO 10565: 1998. Oilseeds – Simultaneous determination of oil and water contents – Method using pulsed nuclear magnetic resonance spectrometry.

Resonance Systems Ltd, <http://www.nmr-design.com>.

Willson, R., Wiesman, Z. and Brenner A. (2010). Analyzing alternative bio-waste feedstocks for potential biodiesel production using time domain (TD)-NMR. *Waste Management* 30. 1881–1888.

Yilmaz, A., Yurdakoc, M. and Isik, B. (1999). Influence of transition metal ions on NMR proton T1 relaxation times of serum, blood, and red cells, *Biological Trace Element Research*, 67, 187-193.

# DIRECT ENERGY MEASUREMENT AND INFORMATION SYSTEM

*Elina Havia & Elmar Bernhardt*

Heat flux sensors based on anisotropic thermoelements were studied. The sensor capabilities to detect and measure heat flux, temperature and phase differences were explored. The sensor manufacturing, building up measurement systems and measurement implementation were carried out.

The transverse thermoelectrics is a special case of the traditional thermoelectricity based on Seebeck-Peltier effect. The transverse thermoelectric sensor generates an electric field in a direction perpendicular to the heat flow. The advantage of a transverse heat flux sensor is the fast response time, compared to the traditional type of heat flux sensor. The purpose of the MAMK project was to study the heat flux sensor suitability for process and energy industry and, in addition, the serial production potential of the sensor.

## **Introduction**

A heat flux sensor, based on transverse thermo electrics, was studied. Thermoelectrics or the Seebeck-Peltier effect is a phenomenon, where a temperature difference is converted into a electric voltage and vice versa. The transverse thermoelectrics is a special case of thermoelectrics. A transverse thermoelectric sensor generates an electric field in a direction perpendicular (figure 1) to the heat flow (Mann, S.B. 2006, Reitmeier C 2011). The sensor raw material consisted of alternating layers of aluminium and silicon, which were at a tilted angle against the heat source. The tilted angle was used to form an anisotropic material. The sensor raw material was received as result of the co-operation between Mikkeli University of Applied Sciences (MAMK), Lappeenranta University of Technology (LUT) and Saint-Petersburg State Polytechnical University. In the LUT, heat flux sensor applications have been studied, for example, for power electronics and the heat flux measurements of combustion engines, as well as motors and generators (Jussila et. al 2013; Niukkanen 2013; Sumin 2013).

The advantage of a transverse heat flux sensor is that the signal depends on the length of the measuring device, rather than the thickness. In this way, the devices can be made thin for reaching fast response times while still maintaining the signal level (Mann 2006).

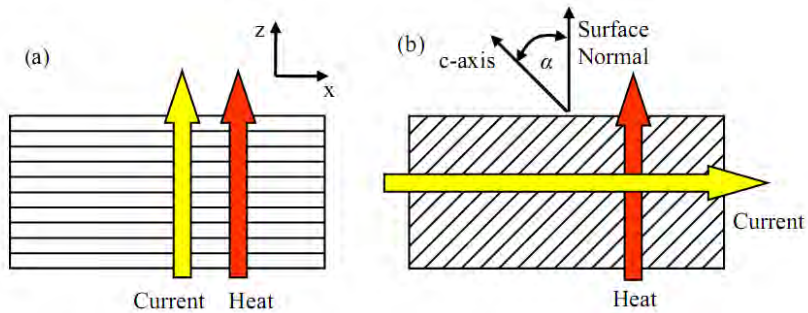


FIGURE 1. Difference between traditional (a) and transverse (b) thermoelectric effects (Retell Mann 2006)

### Heat flux wafer manufacturing process (HFx-wafer)

The heat flux (HFx) sensor wafer consists of a compound of silicon (Si) and aluminium (Al). These two materials are stacked onto each other into a package consisting of a total of around 15-20 layers. Through diffusion welding, this Si & Al layer stack is permanently interconnected, forming a thin SiAl intermetallic layer with a eutectic melting point at around +310 °C, between the both material layers.

### Heat flux wafer cutting into HFx sticks

The heat-flux wafer consisting of AlSi is to be cut into the actual heat-flux die (HFx-die) Cutting is done with a diamond saw capable of cutting the Aluminium-Silicon compound into sticks of suitable sizes. E.g. 10x10x50mm, depending on the raw HFx-compound block size.

### HFx-sticks cutting to single HFx-dies

From the previous process, HFx-sticks are now cut into single HFx-dies, forming the basic unprepared sensor element. This step is crucial concerning the cutting angle, which strongly influences the performance of the sensor die. Suitable cutting angles are between 30-50°. For a good start, an angle of 45° was chosen and later optimized for maximum performance. The thickness of the final sensor die should be in the range of 500 μm (figure 2).

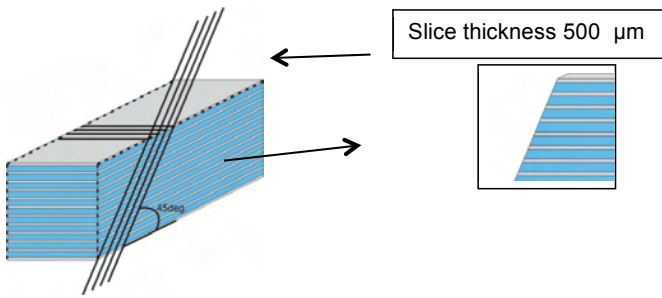


FIGURE 2. HFX-stick cutting into single HFX-sensor dies (figure Electronics 3K Factory)

### HFX-die preparation

After die cutting, the surfaces and edges are relatively rough, for more precision a grinding and polishing step follows to finalize the HFX die manufacturing process. The purpose is to polish the surfaces, sides and electrical contact areas to right angled corners.

### HFX-die attachment to carrier substrate

After the HFX die is ready for use, the bare die must be attached to a mechanical stable and thermally good conducting carrier, since the silicon die itself is very brittle and cannot withstand mechanical stress very well. Another important fact is the electrical interconnection between the thin sensor structure to a more rugged electrical interconnection network.

A thermally well conducting, but at the same time electrically insulating, die attachment glue is needed to minimize the thermal resistance between the HFX-die and the substrate.

After the previous process steps are accomplished, the entire structure, including the HFX-die and bonding wires, should be coated with an electrical insulating layer, protecting the metallic layers from corrosion and harmful environmental contamination, such as dust, humidity, metallic particles, etc.

### HFX-sensor post-production testing and calibration

After the final assembly into a sensor package, the HFX-sensor is to be electrically tested and calibrated. This is to ensure the functionality and to control the production process parameters of the sensor manufacturing process. A very stable heat source with a known power density is required to calibrate the heat-flux sensor. The calibration environment must be isolated from the ambient environment.

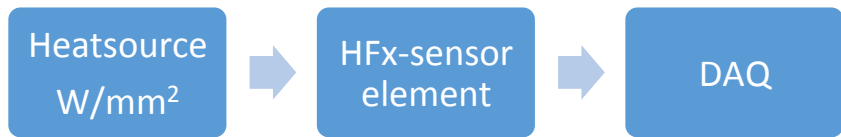


FIGURE 3. Calibration process of the HfX-sensor

### The manufactured sensors

The heat flux sensor material consisted of layers of silicon (Si) and aluminium (Al). Two kinds of sensor material blocks were tested: block A was with a thin aluminium layer and the block with a thicker aluminium layer. Sensors were manufactured from the block by cutting them with a wire saw.

The sensor material of type A was plated by a gold layer. Under the gold layer, there was a titanium wolfram (TiW) layer, which was used as a grip layer and as a diffusion barrier. The sensors of type A were glued on a thermally good conducting carrier substrate with an thermally conductive, but electrically insulating glue. The sensors of type A were bonded to the contact surfaces of the carrier material and the bonding wires were covered with an encapsulant to protect the bonding wires.

The aluminium layer of the material B was thick enough for soldering. Contacts between the sensor material and the carrier contact pads could be formed through normal soldering. The sensors manufactured with soldered joints were more durable than sensors with wire bonds. A sensor nipple connector was designed and manufactured for industrial process piping measurements (figure 4).

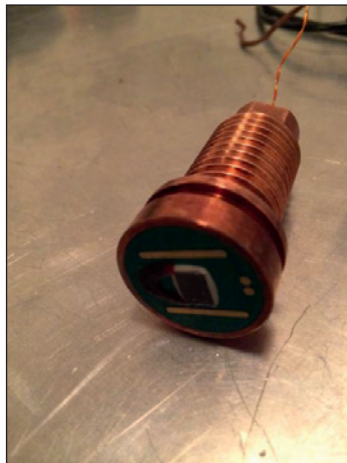


FIGURE 4. The sensor nipple connector for measuring heat flux from industrial process piping (figure Electronics 3K Factory)

## Temperature dependence

The sensors manufactured from the sensor material with a thin aluminium layer was studied first. The sensitivity of the sensor towards heat was studied by placing the sensor on the surface of a thermal resistor. A cooling element on top of the sensor was used to increase the heat flux through the sensor (figure 5). The sensor with the thin aluminium layer responded linearly to the thermal resistor surface temperature changes (figure 6). The repeatability of the measurement was good, if the sensor was not removed from the thermal resistor surface between the measurements. If the sensor was removed from the measurement jig between the measurements, the repeatability was lower, but still reasonable. The sensor readings were between 0.2 and 0.7 mV when the thermal resistor surface temperature was changed between 50 °C and 100 °C.

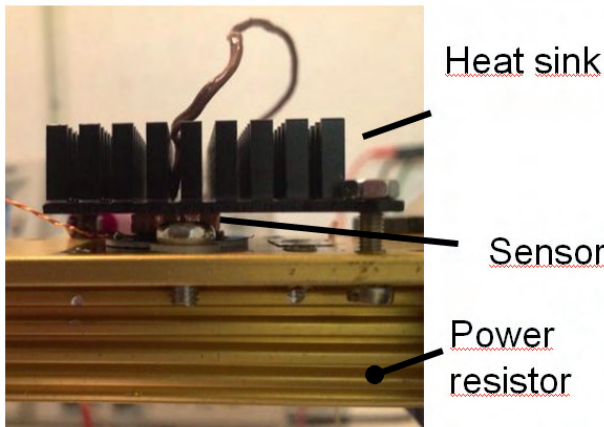


FIGURE 5. A heat sink was used to improve the heat flux through the sensor (figure 3K Factory)

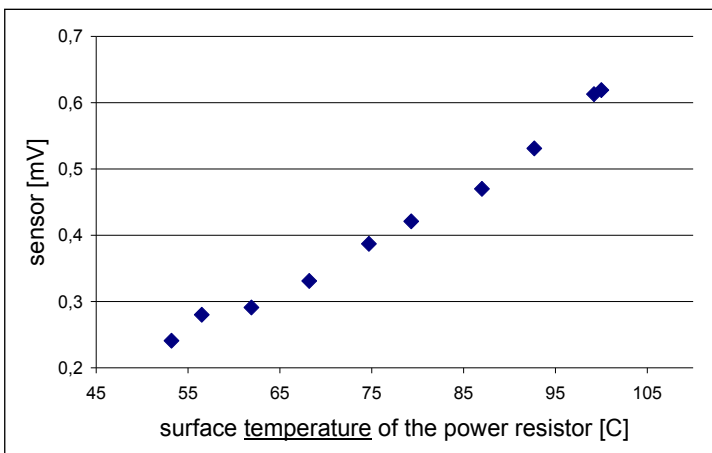


FIGURE 6. Sensor reading as a function of power resistor surface temperature

## Heat flux from hot water and water vapour

The sensor of type A with a thin aluminium layer was also placed on the outer surface of a metal can. The inside of the metal can- on the sensor level- was hot water or water vapour, depending the test case. The surface temperature of the metal can was 92 °C. In this test case, the sensor was not immersed in water or vapour. The sensor was attached to the surface of the metal can, containing water and/ or water vapour. It was supposed that the heat flux from the hot water and water vapour is different, although the surface temperature is the same. The sensor gave different readings for hot water and for water vapour, as it was assumed. The readings for hot water and water vapour were, however, overall very low (0,05 mV at maximum, figure 7), caused by the selected measuring arrangement, there was no heat sink for improving the heat flux.

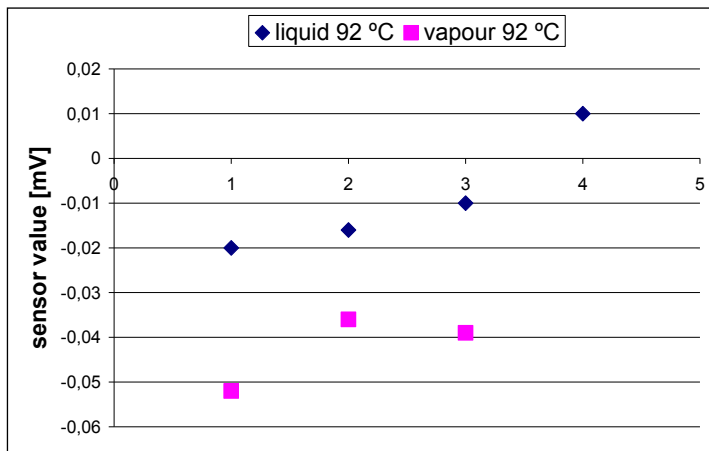


FIGURE 7. Heat flux from liquid water vs water vapour

## Detecting flux direction

The shortage of the sensor with a thin aluminium layer was that the reading sign did not change according to the heat flux direction. At first, the bottom surface was against the thermal resistor surface. If the sensor was turned around (the top surface of the sensor was against the thermal resistor), the reading sign remained the same. The voltage sign of a heat flux sensor should change, when the heat flux direction is changed. The sign remained the same, no matter whether the heat was targeted towards the top surface or bottom surface of the sensor. It is assumed that the sensor with the thin aluminium layer behaved more like a thermo couple temperature sensor than a heat flux sensor. The sensor of type A with the thin aluminium layer measured the temperature, but not the heat flux direction.



The sensor type of B with the thicker aluminium layer did change the reading sign when the heat flux direction was changed. The sensor type of B with the thicker aluminium layer behaved as a heat flux sensor. Anyhow, the sensor B readings measured on the heating resistor surface were not higher than measured with the sensor A with the thin aluminium layer.

### Sensor water immersion

The sensor of type B with the thick aluminium layer was immersed in water to measure the heat flux induced from hot water. The readings measured from the water were 100 or 200 times higher than the readings measured from the heating resistor at the same temperature (table 1). The high values were measured, even when the sensor at room temperature was immersed in water at room temperature. If both the sensor and the water are at the same temperature, there is no heat flux through the sensor. When the sensor was covered with tape or plastic foil before immersion into water, no high values were measured. It is assumed, that it is the water electrical conductivity which induced the high values in water. It is assumed that measurement devices all have a small leaking current, which is measured, if the sensor is immersed in water.

When the sensor was placed on a snow surface and in hot water in turns, the high values were also received from the snow surface (table 1). It is assumed that some moisture remained on the sensor surface, which also gave high values from the snow surface. The readings from the snow surface and from hot water were the same minus sign. The heat flux must change its direction, when the sensor is immersed in hot water and snow in turns. But it is assumed that the water signal covers the heat flux signal and that is why that sensor reading remained negative.

**TABLE 1. Immersion of the sensor into snow and into hot water.**

	placing the sensor on a snow surface	immersion the sensor in hot water	immersion in water, which is at room temperature	typical reading when placing the sensor on a heating resistor surface, which is at a temperature of 70 °C
	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]
measurement # 1	-2,5	-40	-1,5	-0,1 ... -0,3
measurement # 2	-4	-9	-0,5	
measurement # 3	-10	-60	-1	

## Conclusions

The heat flux sensor reading was approximately linearly dependent on temperature, when measuring the heating resistor surface temperature. The repeatability of the heating resistor surface temperature (or heat flux) measurements was good, when the measurements were done without removing the sensor away from the surface between the measurements. The repeatability of heating resistor measurements was a bit lower, but still reasonable good, when the sensor was removed from the jig between the measurements.

The sensor gave different values when measuring the heat flux from a metal can outer surface, containing hot water or water vapour at the same temperature. This is important information, because one of the possible application areas for the sensor is the detection of different phases. Different phases induce different heat flux at the same temperature.

There was a heat flux sensor with two kind of materials. The difference between the two sensor materials was the thickness of the aluminium layer. The sensor with the thicker aluminium layer was more sensitive towards light. In addition, the sensor material with the thicker aluminium layer acted more like a heat flux sensor, because it changed the value sign, when the heat flux direction was changed.

When the sensor was immersed in water, the measured values were 100-200 times higher than the values measured from dry surfaces. High values were measured, even when the water was at the same temperature as the sensor and there was no heat flux present. It is assumed that a leak current from the measurement devices gave the high values in water, instead of the heat flux signal.

## BIBLIOGRAPHY

Jussila, H.K., Mityakov, A.V., Sapozhnikov, S.Z., Mityakov, V.Y., Pyrhönen, J., 2013, Local Heat Flux Measurement in a Permanent Magnet Motor at No Load, IEEE Transactions on industrial electronics, Vol. 60, No. 11, 2013.

Niukkanen, M., 2013, Design of an amplifier and an instrumentation setup for a harsh environment heat flux measurement application – case axial flux electric machine, Thesis, Lappeenranta University of Technology. Available: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201304112715>.

Mann, S.B., 2006, Transverse Thermoelectric Effects for Cooling and Heat Flux Sensing, Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Available: [http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-06232006-132342/unrestricted/Brooks\\_S\\_Mann\\_Thesis.pdf](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-06232006-132342/unrestricted/Brooks_S_Mann_Thesis.pdf).

Reitmeier C, 2011, Transversaler Seebeck- und Peltier-Effekt in verkippten Metall-Halbleiter-Multilagenstrukturen, Dissertation, University of Regensburg, Available: <http://epub.uni-regensburg.de/23538/4/reitmaier.pdf>.

Sumin, M., 2013, Heat flux measurement inside internal combustion engine with gradient heat flux sensor. Thesis, Lappeenranta University of Technology. Available: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201306043802>.

