

MATERIAALIT JA YMPÄRISTÖTURVALLISUUS

**Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä
Vuosijulkaisu 2014**

Hanne Soininen & Kari Dufva (toim.)

MATERIAALIT JA YMPÄRISTÖTURVALLISUUS

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä

Vuosijulkaisu 2014

Hanne Soininen & Kari Dufva (toim.)



Vipuvoimaa
EU:lta
2007–2013

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

MIKKELI 2014

D: VAPAAMUOTOISIA JULKAISUJA – FREE-FORM PUBLICATIONS 44

© Tekijät ja Mikkelin ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Kari Dufva

Kannen ulkoasu: Tammerprint Oy

Taitto- ja paino: Tammerprint Oy

ISBN: 978-951-588-480-0 (nid.)

ISBN: 978-951-588-481-7 (PDF)

ISSN: 1458-7629 (nid.)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Mikkelin ammattikorkeakoulu tarjoaa monipuolisen koulutuksen lisäksi soveltavaa työelämän ja julkisen sektorin kanssa verkostoitunutta tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa sekä monipuolisia palveluja. Ammattikorkeakoululle kuuluvan tehtävän mukaisesti se edistää aluekehitystä ja vahvistaa maakunnan osaamista ja kilpailukykyä. Monialaisen koulutus- ja tutkimustoiminnan avulla Mikkelin ammattikorkeakoulu palvelee terveydenhuollon, tekniikan ja kulttuurin aloilla ja on omalta osaltaan vaikuttamassa alueen elinvoimaisuuteen.

Vuoden 2014 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 2014 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 Materiaali- ja ympäristöalojen soveltavan tutkimuksen rakenteiden vahvistaminen -hankkeessa. Hanke on Etelä-Savon maakuntaliiton EU-osarahoittama rakenteellisia toimintoja kehittävä hanke Tekijät kiittävät hankkeiden ja opinnäytetöiden rahoittajia ja yhteistyökumppaneita yhteisen TKI-toiminnan mahdollistamisesta.

Mikkelissä 12.12.2014

Tekijät

KIRJOITTAJAT

Anssi Anttila, DI prosessitekniikka

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

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

Kari Dufva, TkT, TKI-asiantuntija
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
kari.dufva@mamk.fi

Pia Haapea, TkL, yliopettaja
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
pia.haapea@mamk.fi

Laura Heikkinen, insinööri (AMK) opiskelija

Sami Hirvonen, ins. (ylempi AMK), toimitusjohtaja
Metsäsairila Oy
sami.hirvonen@metsasairila.fi

Kirsi Itkonen, MMM, lehtori
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsätalouden laitos
kirsi.itkonen@mamk.fi

Panu Jouhkimo, DI, TKI-asiantuntija
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

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

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

Sini-Sisko Kilpeläinen, ins. (ylempi AMK), Terveystarkastaja, Terveysvalvonnan johtaja vs.
Rovakaaren ympäristöterveydenhuolto
Sini-Sisko.Kilpelainen@rovaniemi.fi

Petra Kivistö, insinööri (AMK)

Kati Kontinen, MML, TKI-asiantuntija
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsätalouden laitos
kati.kontinen@mamk.fi

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

Juha Korpijärvi, TkT, yliopettaja
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja Informaatiotekniikan laitos
juha.korpijarvi@mamk.fi

Marjatta Lehesvaara, FM, tuntiopettaja, projektipäällikkö
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
marjatta.lehesvaara@mamk.fi

Jussi Levonen, DI, projektipäällikkö
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
jussi.levonen@mamk.fi

Marianna Luoma, PhD, yliopettaja
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
marianna.luoma@mamk.fi

Sami Luste, FT, TKI-asiantuntija
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
sami.luste@mamk.fi

Heli Lämsä, insinööri (AMK)

Heikki Mutikainen, DI, projektitutkija
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio
heikki.mutikainen@mamk.fi

Jarkko Männynsalo, DI, lehtori, koulutuspäällikkö
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
jarkko.mannynsalo@mamk.fi

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

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

Noora Pesonen, insinööri (AMK), vs. ympäristöterveystarkastaja
Tervon kunta, ympäristöterveyspalvelut
noorapesonen7@gmail.com

Potiron Philippe, Bachelor of Engineering

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

Ekaterina Pykhova, Bachelor of Engineering
St.Petersburg State Architectural and Civil engineering University,
St. Petersburg

Maria Rahkola, insinööri (AMK)

Eino Sarkola, FT, yliopettaja
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
eino.sarkola@mamk.fi

Sari Seppäläinen, ins. (AMK), laboratorioinsinööri
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
sari.seppalainen@mamk.fi

Hanne Soininen, DI, TKI-asiantuntija
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikan laitos
hanne.soininen@mamk.fi

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

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

Tapio Tirri, TkL, Kuitulaboratorion johtaja
Mikkelin ammattikorkeakoulu, Kuitulaboratorio
tapio.tirri@mamk.fi

Riina Tuominen, ins. (ylempi AMK), projektipäällikkö
Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti
riina.sh.tuominen@helsinki.fi

Maritta Valtonen, ins. (ylempi AMK), terveystarkastaja
Lappeenrannan seudun ympäristötoimi, Lappeenranta
maritta.valtonen@lappeenranta.fi

SISÄLTÖ

TULOSELLISTA MAAKUNNALLISTA TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMINTAA ELINKEINOELÄMÄLLE – TUTKIMUSTA YLI RAJOJEN	11
<i>Hanne Soininen & Kari Dufva</i>	
KOHTI MONIARVOISTA SUUNNITTELUKULTTUURIA	15
<i>Eino Sarkola</i>	
STATE OF THE ART AND OPPORTUNITIES OF NEW TECHNOLOGIES OF COMMUNICATION IN THE ENVIRONMENTAL INTERPRETATION – CASE OF SAIMAA PROTECTED AREAS	23
<i>Potiron Philippe & Tuomala Anne-Marie</i>	
OPEN – KOKEMUKSIA YMPÄRISTÖN ETÄMONITOROINNISTA	33
<i>Johanna Arola</i>	
KASTELUVESIEN MIKROBIOLOGINEN LAATU	40
<i>Riina Tuominen & Sari Seppäläinen & Hanne Soininen</i>	
BIOPOLTTOAINEIDEN LAATUA ÄLYKKÄÄSSÄ YMPÄRISTÖSSÄ	45
<i>Marjatta Lehesvaara & Hanne Soininen</i>	
POMMIKALORIMETRIN KÄYTTÖNOTTO ÄLYKÄS YMPÄRISTÖ -HANKKEESSA	53
<i>Marjatta Lehesvaara & Sari Seppäläinen</i>	
ENERGIANTUOTANTOLAITOKSEN VAIKUTUKSET ALUEEN LÄHIYMPÄRISTÖÖN	61
<i>Petra Kivistö & Hanne Soininen</i>	
NÄYTTEENOTTAJIEN SERTIFIOITUA KOULUTUSTA MAMKISSA	70
<i>Arto Sormunen & Hannu Poutiainen</i>	
JÄTEHUOLTOA HOLLANNISSA	76
<i>Panu Jouhkimo & Sami Hirvonen</i>	
JÄTTEEN ENERGIAHYÖDYNTÄMISTÄ VIROSSA	85
<i>Panu Jouhkimo & Sami Hirvonen</i>	

SUURI YLEISÖTILAISUUS YMPÄRISTÖTERVEYDEN PROJEKTITYÖNÄ	93
<i>Laura Heikkinen & Mari Järvenmäki & Maria Rahkola</i>	
BIOKAASUSTA LIIKENNEPOLTTOAINEITA	101
<i>Panu Joubkimo & Sami Luste & Hanne Soininen</i>	
METSÄNKÄSITTELYTAPOJEN MITATTAVAT KUORMITUSTEKIJÄT JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET PUULAN ALUEELLA	108
<i>Arto Sormunen & Heli Lämsä</i>	
MYCOMETER-MENETELMÄN KÄYTETTÄVYYS OSANA TERVEYSHAITAN ARVIOINTIA	113
<i>Sini-Sisko Kilpeläinen & Pia Haapea</i>	
MITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU LASIKUITULUJITTEIDEN PERMEABILITEETTIMITTAUKSEEN	119
<i>Markus Bruun & Kari Dufva & Tero Karttunen</i>	
TYÖTURVALLISUUDEN HUOMIOON OTTAMINEN LIIMAUSALAN KOULUTUKSESSA	127
<i>Maritta Valtonen & Kari Dufva</i>	
ELINKAARIARVIOINTI KUITULUJITETUILLE LAMINAATEILLE	136
<i>Noora Pesonen & Kari Dufva</i>	
PUURAKENTAMISEN TULEVAISUUDENKUVIA SUOMESSA JA MAAILMALLA	141
<i>Jussi Levonen</i>	
WOPE-PROJEKTI PUUNHANKINNAN KEHITTÄMISESSÄ	148
<i>Kirsi Itkonen</i>	
HUONOSTI KANTAVIEN MAIDEN JA TEIDEN VAHVISTAMISRATKAISUT	156
<i>Kati Kontinen</i>	
BIOLANNOITE- TUHKASTA KASVUUN METSISSÄ	168
<i>Kati Kontinen</i>	
TALOTEKNIIKAN PROJEKTITOIMISTO AVASI OVENSA - OPISKELIJAT TYÖELÄMÄN TOIMEKSIANTOJEN KIMPPUUN	173
<i>Johanna Arola & Anna-Maija Ojapelto & Taru Potinkara</i>	

COMPARISON OF INDOOR AIR AND OUTDOOR AIR PARTICULATE CONCENTRATIONS	181
<i>Ekaterina Pykhova & Marianna Luoma</i>	
SÄHKÖNJAKELUVERKON LUOTETTAVUUTTA ANALYSOIVA OHJELMISTO	190
<i>Juha Korpijärvi</i>	
BIOTUOTEPAINOTTEISEN PROSESSITEKNIIKAN INSINÖÖRIKOULUTUS ALKOI MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULUSSA	194
<i>Jarkko Männynsalo & Tapio Tirri</i>	
TÄYTEAINEEN DISPERGOINTI – VAIKUTUKSET PAPERIIN JA SEN VALMISTUKSEEN	198
<i>Kallio Emmi & Paananen Petteri</i>	
TÄRKKELYKSEN SYÖTTÖTUTKIMUS	207
<i>Anssi Anttila & Petteri Paananen</i>	
KESKISAKEAN MASSAN KAASUDISPERSION KUVANTAVAN MITTAUSLAITTEISTON KEHITYSTYÖ PULPVISION-PROJEKTISSA	213
<i>Heikki Mutikainen</i>	
REFRAKTOMETRIMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN SELLUTEHTAAN JÄTEVEDENKÄSITTELYLAITOKSELLA	220
<i>Riku Kopra</i>	
REFRAKTOMETRIMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN SELLUTEHTAAN RUSKEAN MASSAN PESUSSA	226
<i>Riku Kopra</i>	

TULOSELLISTA MAA- KUNNALLISTA TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMINTAA ELINKEINOELÄMÄLLE – TUTKIMUSTA YLI RAJOJEN

Hanne Soininen & Kari Dufva

Mikkelin ammattikorkeakoulussa tehdään laadukasta ja monipuolista tutkimusta, joka perustuu osaamiseen ja yrityslähtöisyyteen. Tutkimus- ja kehitystoiminta on jaettu painoaloihin, joita ovat kestävä hyvinvointi, materiaalit ja ympäristöturvallisuus sekä sähköinen arkistointi ja digipalvelut. Painoalat muodostavat monipuolisen toimintaympäristön, joka mahdollistaa poikkitieteellisen ja laaja-alaisen tutkimus- ja kehitystoiminnan. Tutkimuksen painopisteet kattavat yhteiskunnan ja ympäristön hyvinvoinnin sekä teknologia-teollisuuden tarpeet yhdessä alueen muiden kehitysorganisaatioiden kanssa. Mikkelin ammattikorkeakoulussa tehtävä tutkimus tukee alueellista strategiaa maakunnan kehittämisessä.

Mikkelin ammattikorkeakoulun (Mamk) painoalat tukevat keskeisiä alueellisia strategioita ja toimintaohjelmia mukaan lukien Etelä-Savon maakuntaohjelma, jonka tavoitteena on lisätä uudistumisen, kasvun ja yrittäjyyden edellytyksiä Etelä-Savossa. Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painoala muodostaa tutkimuskentässä kokonaisuuden, joka tukee alueen elinkeinoelämän tutkimus- ja kehitystoimintaa erityisesti ympäristöturvallisuudessa, älykkäissä materiaali- ja energiaratkaisuissa, metsätaloudessa sekä kuituteknologiassa. Yrityslähtöisillä tutkimusprojekteilla edistetään yritysten toimintaedellytyksiä ja kilpailukykyä lisäämällä esimerkiksi uusiutuvien energialähteiden ja biomateriaalien käyttöä sekä tehostamalla sivuainevirtojen hallintaa. (Mamk 2013.)

Etelä-Savon maakuntastrategiassa, Uusiutuva Etelä Savo 2020, on maakunnan kehittämisen painopistealoiksi kuvattu muun muassa teknologia- ja puutuoteteollisuus, metsä- ja maatalous sekä Etelä-Savon luontaiset energiavarat (Etelä-Savon maakuntaliitto 2012). Mamkin materiaalit ja ympäristöturvallisuuspainoalan tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminta (TKI) vastaa näiden alojen kehittämistarpeisiin. Tavoitteena on lisätä metsäbiomassan käyttöä, paikallisten uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä ja alueen

energiaomavaraisuutta sekä edistää energia- ja materiaalitehokkuutta. Lisäksi kehitetään ympäristömonitorointia ja uusia puhtaita teknologiaratkaisuja, mikä turvaa alueen puhtaan elinympäristön ja mahdollistaa uuden ympäristöliiketoiminnan muodostumisen.

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. Tutkimustyötä tehdään painoalan koulutusohjelmissa ja laboratorioissa hankerahoituksella, jossa korostetaan yrityslähtöisyyttä ja tuloksellisuutta. Lisäksi laboratoriot tekevät yritysten tarpeiden mukaista tutkimusta erillisenä palvelutoimintana.

”Materiaali- ja ympäristöalojen soveltavan tutkimuksen rakenteiden vahvistaminen” –hankkeella on vahvistettu Mikkelin ammattikorkeakoulun Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painoalan tutkimus-, kehittämis- ja innovaatio-toimintaa ja sen pysyviä rakenteita. Hanke on vahvistanut tutkimustoiminnan kehittämistä ja edistänyt sen jatkuvuutta ja tukenut alueen elinkeinoelämän edistämistä. Hankkeen aikana on muun muassa valmisteltu useita kansallisia ja EU-osarahoitteisia hankkeita ja toteutettu aluetta kehittävää tutkimustoimintaa ympäristö- ja materiaalitekniikkaan liittyen. TKI-toiminnan tuloksia on esitelty lukuisissa raporteissa ja julkaisuissa sekä KV-konferensseissa. Tämän artikkeliteoksen toimittajat työskentelevät ”Materiaali- ja ympäristöalojen soveltavan tutkimuksen rakenteiden vahvistaminen” –hankkeessa.

Tulosten ensisijaisia hyödyntäjiä ovat olleet alueen yritykset. Painoalalla on käynnistynyt muun muassa materiaalitekniikan tutkimushanke Tekesin SHOK-ohjelmaan, joka mahdollistaa osallistumisen kotimaiseen huippututkimukseen aina vuoteen 2018 asti.

Tässä artikkeliteoksessa esitellään Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painoalan TKI-toimintaa. Artikkelit kuvaavat Energia- ja ympäristötekniikan -laitoksen, Savonlinnan kuitulaboratorion sekä Sähkö- ja informaatiotekniikan laitoksen ja Metsätalouden laitoksen TKI-toimintaa.

Ympäristötekniikkaan liittyvä TKI-toiminta painottui vuonna 2014 bioenergian tuotantoon ja uusiutuviin energiaratkaisuihin liittyvien teknologioiden kehittämiseen ja ekotehokkaisiin teknologisiin ratkaisuihin vesienkäsittely ja sivuainevirtojen hyötykäytön, tuotekehityksen ja jalostusasteen noston tiimoilta. TKI-toimintaa tehtiin myös ympäristöriskien hallinnan ja mittaus-, mallinnus- ja monitorointitekniikoiden osalta niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin.

Ympäristötekniikan TKI-toiminnasta on teokseen kirjoitettu artikkelit Etelä-Savon maakuntaliiton EU-osarahoittamasta ”OPEN – Etämonitoroinnin kehittäminen osana ympäristötekniikan koulutusta ja innovaatiotoimintaa” -hankkeesta, Hämeen ELY-keskuksen Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta rahoittamasta ”Tuorekasvien turvallisuuden parantaminen” -hankkeesta ja kolme artikkelia Etelä-Savon maakuntaliiton EU-osarahoittamasta ”Älykäs ympäristö bioenergian tutkimus- ja innovaatiotoiminnalle” -hankkeesta. Lisäksi on yleisempiä artikkeleita biokaasun liikennepolttoainekäytöstä ja kansainvälisiä esimerkkejä jätehuollosta ja jätteen energiahyödyntämisestä.

Ympäristötekniikan hankkeita on yhdistänyt vahva TKI:n ja opetuksen integrointi sekä ympäristölaboratorioiden osallistuminen hanketoimintaan. Artikkeliteoksessa onkin esillä insinööri (AMK)-opinnäytetöitä muun muassa mycometer-menetelmän käytettävyydestä osana terveyshaitan arviointia ja metsänkäsittelytapojen mitattavista kuormitustekijöistä ja niiden ympäristövaikutuksista Puulan alueella. Artikkelinä ”State of the art and opportunities of new technologies of communication in the environmental interpretation – case of Saimaa protected areas” kertoo palkitusta opinnäytetöistä. Vahvaa osaamista Mamkissa edustaa artikkeli näytteenottajien sertifioidusta koulutuksesta. Lisäksi julkaisussa on aiheeltaan yleisempiä artikkeleita moniarvoisesta suunnittelukulttuurista ja partiolaisten suurjuhlan ympäristöterveydellisten seikkojen varmentamisesta.

Energiatohokkuutta lisäävästä TKI-toiminnasta on tässä julkaisussa artikkeleina esitelty muun muassa biopolttoaineiden tutkimukseen, bioenergiantuotannon innovaatio- ja tutkimusympäristöön sekä biopolttoaineiden käyttöön liikennepolttoaineena liittyvät tutkimukset. Nämä edistävät uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämistä taloudellisesti kannattavasti.

Materiaalitehokkuus, komposiittimateriaalit ja biopohjaisten materiaalien kehitys ovat tärkeä osa materiaalitekniikan tutkimusta. Muovikomposiittien tutkimuksessa on tärkeää huomioida prosessin aikaisten parametrien ja materiaalien välinen vuorovaikutus optimaalisen tuotteen valmistamiseksi. Julkaisussa esiteltävä artikkeli permeabiliteettimittauksen suunnittelusta ja kehityksestä kertoo materiaalitekniikan laboratoriossa valmistetusta laitteistosta, joka auttaa materiaalivalmistajia tuotekehityksessä ja prosessiparametrien optimoinnissa. Mittauslaitteiston kehitys on esimerkki tutkimustoiminnan tulosten hyödyntämisessä tuotekehityksessä. Biolujite-hankkeessa toteutettu elinkaaritarkastelu tuo uutta tietoa luonnonkuitumateriaalien ympäristökuormituksesta, verrattuna vastaavasti lasikuidusta valmistettuun tuotteeseen. Opinnäytetyönä toteutetusta tutkimuksesta kerrotaan artikkelissa Elinkaariarviointi kuitulujitetuille laminaateille. Liimausta ja liimaliitokset useilla eri

teollisuuden aloilla on nousemassa merkittävään asemaan materiaalitekniikan tutkimuksessa. Vuoden 2014 aikana toteutetussa projektissa selvitettiin liima-alan koulutuksen ja teknologioiden nykytilaa. Osana selvitystä tehtiin suunnitelma koulutuksen kehittämiseksi ja tässä merkittäväksi tekijäksi muodostuivat työturvallisuuteen liittyvät asiat. Artikkelissa Työturvallisuuden huomioon ottaminen liima-alan koulutuksessa kerrotaan niistä seikoista, jotka vaikuttavat työturvallisuuteen niin koulutuksessa kuin teollisessa toiminnassa. Lisäksi mukana on artikkeli puurakenteiden tulevaisuudenkuvista Suomessa ja maailmalla.

Metsätalouden laitos esittää artikkeliteoksessa tänä vuonna päättyvien Wood procurement entrepreneurship (WOPE) ja Biolannoite – Tuhkasta kasvuun metsissä -hankkeiden tuloksia. Lisäksi mukana on artikkeli huonosti kantavien maiden ja teiden vahvistamisratkaisuista. Artikkelit talotekniikan projektitoimistosta kertoo työelämän ja opiskelijoiden välisestä vuorovaikutteisesta oppimisprosessista. Talotekniikan projektitoimiston on tarkoitus saada aikaan muun muassa opiskelijoille ainutlaatuisia osaamista ja toimivia työelämäverkostoja. Mamkin kansainvälisestä opetuksesta on esimerkkinä opinnäytetyö ”Comparison of indoor air and outdoor air particulate concentrations”.

Mikkelin ammattikorkeakoulussa on tehty pitkään tutkimusta sähkönjakeluverkon huollon ja investointien ajoittamisen ympärillä. Artikkelissa ”Sähköjakeluverkon luotettavuutta analysoiva ohjelmisto” tarkastellaan sähkönjakeluverkon luotettavuuden analysointiin Mamkissa kehitetyn ohjelmiston (SLIMO Powergrid analyzer) kehitystä, rakennetta ja tulevaisuuden kehitysratkaisuja.

Materiaalit ja ympäristöturvallisuus -painoalan vahva TKI-toimija on myös Savonlinnan kuitulaboratorio. Kuitulaboratorion artikkeleissa kerrotaan muun muassa täyteaineen dispergoinnin vaikutuksesta paperiin ja sen valmistukseen, tärkkelyksen syöttötutkimuksesta, keskisakean massan kaasudispersioon kuvantavan mittauslaitteiston kehitystyöstä pulpvision-projektissa ja refraktometrimittauksen hyödyntämisestä sellutehtaan jätevedenkäsittelylaitoksella ja sellutehtaan ruskean massan pesussa. Lisäksi on artikkeli Mamkin uudesta prosessi- ja materiaalitekniikan koulutuksesta, joka käynnistyi syyskuussa 2014.

LÄHTEET

Etelä-Savon maakuntaliitto 2012. UUSIUTUVA ETELÄ-SAVO 2020 – maakuntastrategia. Etelä-Savon maakuntaliiton julkaisu 118:2012. 26 s. ISBN 978-952-5932-10-2 (verkkojulkaisu).

Mamk 2013. Mikkelin ammattikorkeakoulun strategia – MAMK 2017. 27 s.

KOHTI MONIARVOISTA SUUNNITTELUKULTTUURIA

Eino Sarkola

Arkkitehti Christopher Alexander vertailee muistiinpanoissaan (1967) perinteeseen perustavaa sekä toisaalta modernia suunnittelukulttuuria. Hän tunnustautuu perinteeseen perustuvan kulttuurin kannattajaksi, mutta myöntää, että modernin yhteiskunnan hankkeissa perinteen antama tuki ei aina riitä. Haasteeseen on koetettu vastata erilaisilla lähestymistavoilla, joista eräs on monitavoitteinen päätösanalyysi.

Perinteinen ja moderni suunnittelukulttuuri

Alexander määrittelee suunnittelukulttuurin perinteiseksi eli ei-itsetietoiseksi, kun muodon luominen opitaan epämuodollisesti matkimisen korjailun kautta (Alexander 1967, 36).

Eskimo tarkkailee jatkuvasti lämpötilan muutoksia iglussaan ja reagoi niihin avaamalla iglun kattoon aukkoja ja toisaalta sulkemalla aukkoja lumipaakuilla. Kun sulavaa lunta alkaa tippua iglun katosta on tehtävä jotain. Tällöin hän tekee iglun kattoon reiän, josta pääsee sisään kylmää ilmaa. Hän ei tee näin siksi, että muistaisi jonkin yleisen säännön, jota hän sitten noudattaisi. Alexanderin mukaan toiminnan laukaisee suoraan muodon ja kontekstin välillä oleva yhteensopimattomuus. Rakentaminen ja korjaaminen kuuluvat eskimon jokapäiväiseen riskinhallintaan (Alexander 1967, 50).

Alexander näkee suunnittelun sovitusergelmana, jossa konteksti määrittää ongelman asettaen vaatimuksia muodolle. Kokemus suunnitellun kokonaisuuden sopivuudesta voidaan hänen mukaansa ajatella binääristen muuttujien jonona (esim. 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0 ... 0), missä 0 tarkoittaa sopivuutta ja 1 sopimattomuutta kontekstiin. Suunnittelun tavoitteena on tällöin luoda kokonaisuuteen järjestys, jossa kaikki edellä mainitut muuttujat saavat arvon 0 ainakin väliaikaisesti. (Alexander 1967, 38).

Perinteisen rakentajan materiaalit ovat käden ulottuvilla ja niiden käyttö on asuja-rakentajan vastuulla. Hän ei epäröi toimia havaitessaan muutostarpeita. Muodon ja kontekstin yhteensopimattomuus toimii kannustimena. Alexanderin mukaan prosessi suppenee kohti tasapainotilaa, joka vastaa hyvää sovutusta edellyttäen, että se on irreversiibeli ja että aikaa on riittävästi (Alexander 1967,50).

Alexanderin mukaan suunnittelukulttuuri on moderni tai itsetietoinen, kun suunnittelu opetetaan muodollisesti kouluttamalla, missä opettajan tehtävä on kehittää muisti- ja muita sääntöjä, joilla opettaminen käytännössä tapahtuu (Alexander, 1967, 36). Itse toteutus, esimerkiksi omakotitalon rakentaminen, tapahtuu yhä harvemmin asukkaiden toimesta. Materiaalit eivät ole enää käden ulottuvilla, jolloin välitön suhtautuminen virheisiin häviää. Rakenteet ovat pysyvämpiä ja niitä huolletaan ja tarkistetaan harvemmin. Vikojen tulee olla huomattavia, jotta ne johtaisivat asiantuntijan tekemiin korjaustoimenpiteisiin (Alexander 1967, 55). Tradition merkitys vähenee, ja suunnittelijat perustavat toimintansa muihin asioihin.

Alexanderin mukaan perinteisen prosessin etuna on systeemin kyky itseorganisoiutumiseen. Rakentamisprosessin suppenemisen kannalta oleellisia piirteitä ovat prosessin ohjautuvuus ja traditio. Prosessin pitää olla riittävän herkkä toimimaan, kun mahdollinen virhe tapahtuu. Oleellista on, että takaisinkytkentä on välitön, jotta virheet eivät ehtisi kasaantua. Takaisinkytkennän herkkyys ei ole kuitenkaan vielä riittävä edellytys prosessin suppenemiseen. Prosessia täytyy ohjata ja vaimentaa. Alexanderin mukaan sopivan ohjauksen tarjoavat perinteet, jotka nostavat systeemin viskositeettia eli sitkautta. Sitkaus on omiaan rajoittamaan muutokset vain yhteen tai muutama osasysteemiin kerrallaan, jolloin jatkuvat äkkinäiset kulttuurin muutokset eivät häiritse sovituksen edistymistä (Alexander 1967, 52). Viskositeetin pienentyessä traditiot saattavat saavat kilpailijoita muista kulttuurisista virtauksista.

Ratkaisuja modernin suunnittelun haasteisiin

Rakennusvalvonta

Ennen ensimmäistä maailmansotaa Helsingissä elettiin taloudellista nousukautta. Kaupungin väkiluku oli ylittänyt sadantuhannen rajan. Monikerrokset kivirakennukset syrjäyttivät puutalokaupungin. Rakentamisen into ei aina mennyt tasatahtia osaamisen kanssa, ja moni rakennus sortui. Vähitellen vaatimukset järjestyneestä kokopäiväisestä rakennusvalvonnasta saivat valtuustossa riittävästi kannatusta. Helsingin rakennustarkastuskonttori aloitti toimintansa sata vuotta sitten, vuonna 1912. (Rakennustarkastusyhdistys 2014.)

YVA ja SOVA

Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) sekä suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arviointimenettely (SOVA) pyrkivät vähentämään tai estämään hanke- ja suunnittelutoiminnasta koituvia haitallisia ympäristövaikutuksia. (YMPARISTO.fi. 1.)

Hankkeiden YVA-menettelyn edellyttämän ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) tarkoituksena on varmistaa, että ympäristövaikutukset selvitetään riittävällä tarkkuudella silloin, kun hanke aiheuttaa merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia. Tavoitteena on myös lisätä kansalaisten mahdollisuuksia osallistua ja vaikuttaa hankkeiden suunnitteluun. (YMPARISTO.fi. 2.)

Lisäksi viranomaisen tulee selvittää ja arvioida valmistelemiensa suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutukset, kun niiden toteuttaminen voi vaikuttaa merkittävästi muun muassa ihmiseen, luontoon ja sen monimuotoisuuteen, rakennettuun ympäristöön, maisemaan tai luonnonvaroihin. Erityisesti maankäytön suunnitteluun liittyvät kaavat ovat suunnitelmia, joita tulee arvioida kuten muitakin suunnitelmia ja ohjelmia. (YMPARISTO.fi. 3.)

Monitavoitteinen päätösanalyysi

Yksi keskeisistä lähitulevaisuuden haasteista on löytää menettelytapoja, joilla eri tasoilla ja sektoreilla tapahtuva suunnittelu voidaan tehdä mahdolliseksi kaikki näkökulmat yhteen sovittaen. (Marttunen et.al. 2008, 7.)

Päätösanalyysi (Decision analysis – DA) on joukko menetelmiä, joita voidaan soveltaa erilaisia arvostuksia, erimitallisia vaikutuksia ja epävarmuutta sisältävien monimutkaisten aiheiden jäsentelyssä. Kun ongelma sisältää useita tavoitteita, voidaan puhua moni-tavoitteisesta päätösanalyysistä (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA). Vesistön säännöstelyssä tavoitteena voi olla löytää tulvariskiä minimoiva ja vesivoiman tuotantoa maksimoiva, mutta samalla vesiympäristöön kohdistuvilta vaikutuksiltaan hyväksyttävä säännöstelykäytäntö. Monitavoitteissa päätösanalyysissä tavoitteiden ja vaihtoehtojen muodostaminen voidaan toteuttaa yhteistyössä sidosryhmien kanssa. (Marttunen et.al. 2008, 8.)

Tavoitteena ei ole antaa yhtä ”oikeaa” ratkaisua, vaan tukea paremman käsityksen muodostumista ratkaisuihin ja niiden seurauksista, sekä siitä kuinka eri sidosryhmät ne kokevat. Päätöksentekijät voivat näin saada selkeämmän kuvan käsiteltävästä ongelmasta. (Marttunen et.al. 2008, 9.)

Esimerkkejä monitavoitteisesta päätösanalyysistä ympäristösuunnittelussa

Jätehuoltoalueen sijoitusongelma

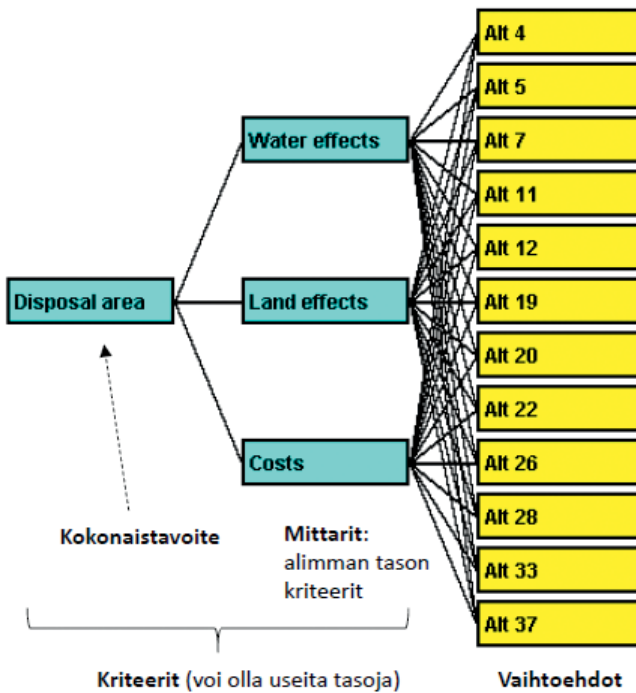
Tarkastellaan seuraavaa yksinkertaistettua jätehuoltoalueen sijoitusongelmaa (vertaa Lahdelma & Salminen 1998). Taulukossa on vaihtoehtoja, joita arvioitaessa on käytetty kolmea kriteeriä: kustannukset [M€], sekä vesistö- ja maaperävaikutukset (asiantuntijoiden arvio asteikolla nollasta sataan siten, että suurempi luku vastaa vähäisempiä päästöjä). Hankkeen kustannuksien

toivottiin jäävän alle 0,6 M€. Tehtävänä on muodostaa malli, jonka avulla päätöksentekijät voivat ratkaista ongelman.

TAULUKKO 1. Jätehuoltoalueen vaihtoehtojen kustannukset ja ympäristövaikutukset

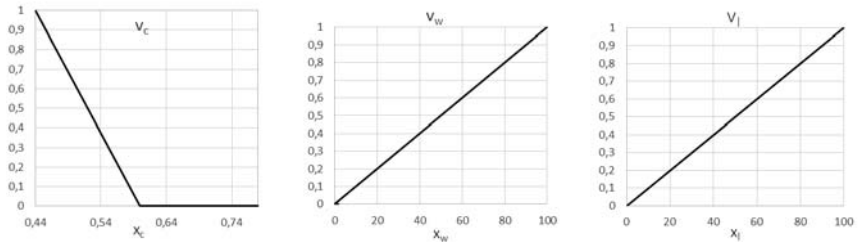
Alt	Costs (ME)	Water effects	Land effects
4	0,51	65	65
5	0,48	87	28
7	0,51	9	75
11	0,78	38	54
12	0,58	72	82
19	0,69	84	40
20	0,55	75	40
22	0,51	74	76
26	0,58	59	80
28	0,47	86	55
33	0,64	45	80
37	0,44	32	92

Malli voidaan esittää kuvan 1 mukaisena arvopuuna.



KUVA 1. Jätehuoltoalueen sijoitusongelman arvopuu

Ensimmäisessä vaiheessa jätehuoltoalueen sijaintipaikoille määritettyjen kriteerien (Water effects, Land effects ja Costs) mittausarvot skaalattiin asteikolle 0–1 käyttäen seuraavia arvofunktoita. Kuvassa 2 on esitetty mittarikohtaiset arvofunktiot.



KUVA 2. Mittarikohtaiset arvofunktiot

Vesistövaikutukset ja maaperävaikutukset saatiin skaalattua välille 0–1 yksinkertaisesti kertomalla luvulla 0,1. Kustannusten osalta pienin kustannusarvo 0,44 M€ sai arvoksi luvun 1. Kustannusarvo 0,6 M€ ja sitä suuremmat arvot saivat arvon 0.

Toisessa vaiheessa mittareille *Vesistövaikutukset* (w), *Maaperävaikutukset* (l) ja *Kustannukset* (c) arvioitiin seuraavat *tärkeyspainot*:

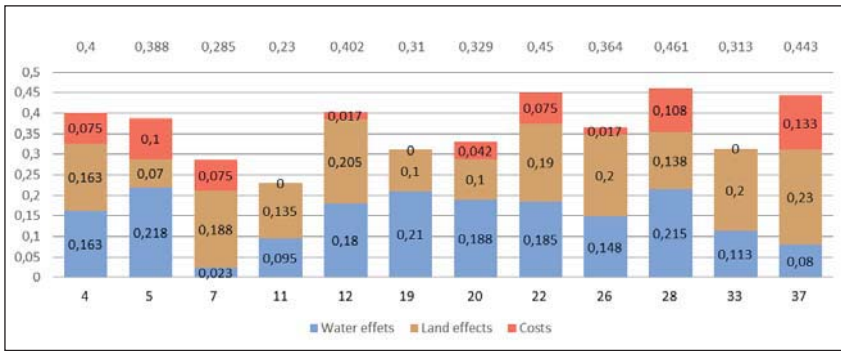
$$\mu_w = \mu_l = 0,25 \text{ ja } \mu_c = 0,5$$

joilla arvofunktioiden arvoja painotettiin.

Kunkin vaihtoehdon x arvofunktion arvo $v(x)$ saatiin laskemalla yhteen tärkeyspainoilla painotetut arvofunktioiden arvot seuraavasti

$$v(x) = \mu_c v_c(x_c) + \mu_w v_w(x_w) + \mu_l v_l(x_l)$$

missä vektorin $x = (x_c, x_w, x_l)$ komponentit ovat taulukon 1 riveillä esitetyt kustannukset, vesistövaikutukset ja maaperävaikutukset. Vaihtoehtojen mittarikohtaiset mieltämyysarvot sekä kokonaisarvot on esitetty kuvassa 3.



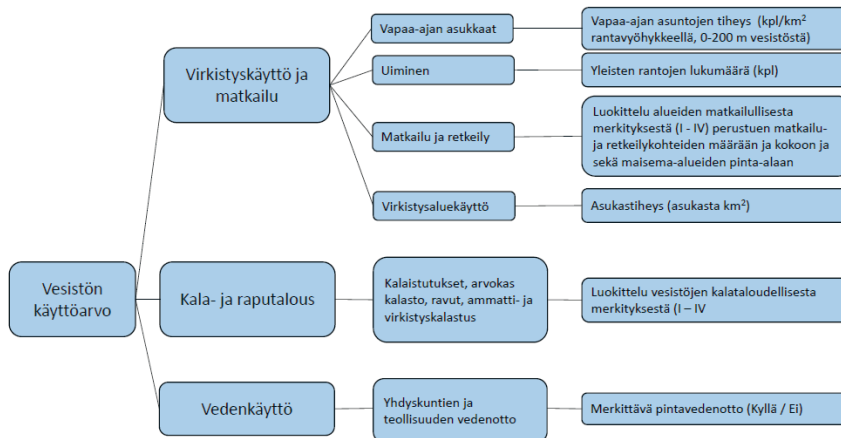
KUVA 3. Jätehuoltoalueen sijoitusvaihtoehtojen mielisyydet

Mieluisimmaksi vaihtoehdoksi näillä kriteerien painotuksilla tuli vaihtoehto numero 28. Ratkaisussa on hyödynnetty Web-HIPRE-ohjelmaa (<http://hipre.aalto.fi>).

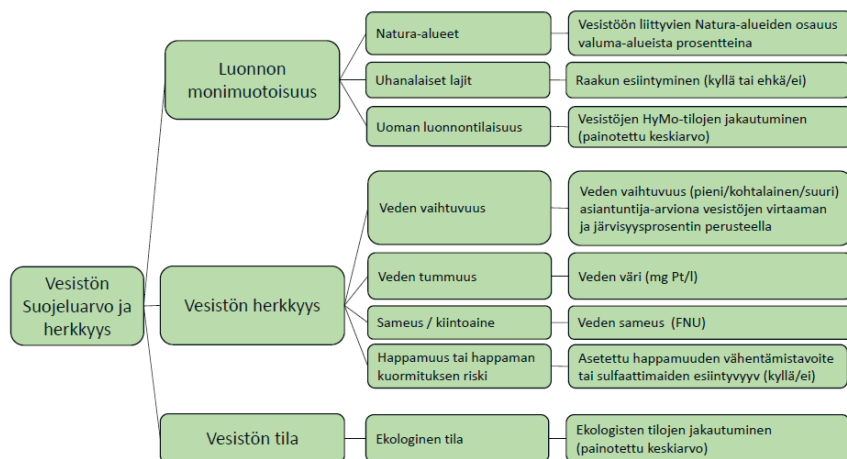
Etelä-Pohjanmaan turvetuotannon vesistövaikutusten arviointi

Etelä-Pohjanmaan maakuntakaavassa pyritään sovittamaan yhteen soiden käytön ja suoluonnon sekä vesistöjen suojelun tarpeet. Keskeinen kysymys on, miten uudet turvetuotantoalueet tulee sijoittaa, jotta niiden vesistövaikutukset olisivat mahdollisimman pienet. Tutkittavia valuma-alueita oli 48. (Etelä-Pohjanmaan liitto 2014, 5.)

Edellisestä esimerkistä poiketen tärkeyspainot määräytyvät nyt arviointipuun avulla. Arviointipuut on muodostettu kahdesta päätavoitteesta, jotka ovat Valuma-alueiden käyttöarvot sekä toisaalta Suojeluarvot ja herkkyys. Vesistöriski muodostuu näiden summana (11). Katso kuvat 4 ja 5.



KUVA 4. Valuma-alueiden käyttöarvo (Mukaillen Etelä-Pohjanmaan liitto 2)



KUVA 5. Valuma-alueiden suojeluarvot ja herkkyudet (Mukaillen Etelä-Pohjanmaan liitto 2)

Kullekin kriteeritasolle jaetaan 100 % tärkeyspainoa. Kunkin mittarin tärkeyspainot saadaan kuljettaessa päätavoitteesta sen alatavoitteiden kautta mittariin. Oletetaan esimerkiksi seuraavat painoarvot:

- Päätavoite
- *Vesistön käyttöarvo*
- *Virkistyskäyttö ja matkailu*
- *Virkistyskäyttöpotentiaali*
- *Asukastiheys*

Tällöin mittarin *Asukastiheys* painoarvoksi tulee

$$100,00 \% \cdot 50,00 \% \cdot 33,33 \% \cdot 25,00 \% \cdot 100,00 \% \approx 4,17\%$$

Eri kriteerien tärkeyspainot on määritetty arviointiryhmän sekä asiantuntijoiden toimesta. Tavoitteena on ollut löytää erilaisia näkökulmia, joilla pääkriteerien eli Vesistön käyttöarvon sekä Vesistön suojeluarvon ja herkkyuden alakriteerejä painotetaan. Näkökulmien painoarvot: katso Etelä-Pohjanmaan liitto 2 2014, 46). Valuma-alueiden (48 kpl) saamat käyttöarvot sekä suojeluarvot ja herkkyudet: katso Etelä-Pohjanmaan liitto 2, 2014, 48–49).

Yhteenveto

Rakennusvalvonnan syntyyn vaikuttaneet rakennusten sortumiset Helsingissä ennen ensimmäistä maailmansotaa tukevat Alexanderin teoriaa. Liian nopea uusien rakennusmateriaalien ja tekniikoiden käyttöönottoaminen on ollut omiaan synnyttämään vaaroja. Reaktiona ongelmiin syntyi rakennusvalvonta.

YVA ja SOVA-menettelyt pyrkivät ehkäisemään hankkeista ja suunnitelmista koituvia haitallisia ympäristövaikutuksia sekä lisäämään kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ja osallistua ja hankkeiden suunnitteluun. Yksi keskeisistä lähitulevaisuuden haasteista on löytää menettelytapoja, joilla eri tasoilla ja sektoreilla tapahtuva suunnittelu voidaan tehdä mahdolliseksi kaikki näkökulmat yhteen sovittaen. Erään lähestymistavan tähän tarjoaa monitavoitteinen päätösanalyysi, jossa tavoitteiden ja vaihtoehtojen muodostaminen voidaan toteuttaa yhteistyössä sidosryhmien kanssa. Edellä kuvatut menettelytavat ovat omiaan tuottamaan prosessiin Alexanderin perään-kuuluttamaa sitkautta, joka hillitsee liian nopeita suunnittelukulttuurin muutoksia.

LÄHTEET

Alexander C. (1967). Notes on the synthesis of form. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Etelä-Pohjanmaan liitto 1. (2014). Etelä-Pohjanmaan turvetuotannon vesistövaikutusten arviointi Osa 1: Kuormitustarkastelu. http://www.epliitto.fi/upload/files/Turvetuotannon_vesistovaikutukset_osa_1.pdf.

Etelä-Pohjanmaan liitto 2. (2014). Etelä-Pohjanmaan turvetuotannon vesistövaikutusten arviointi Osa 2: Vesistövaikutusriskin monitavoitearviointi. http://imperia.jyu.fi/pilottihankkeet/Turvetuotannon_vesistovaikutukset_osa2.pdf.

Lahdelma R. & Salminen P. (1998). Arvostusten analysointi ympäristöpäätöksenteossa – käännteiset menetelmät, *Arkhimedes* 6, 1998, s. 16–21.

Marttunen, M., Mustajoki, J. Verta. O-M. & Hämäläinen R.P. (2008). Monitavoitearviointi vuorovaikutteisessa ympäristösuunnittelussa – menetelmä ja sen soveltamisesimerkkejä vesistöjen käytössä ja hoidossa. Suomen ympäristökeskus. <http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/rmar08a.pdf>.

Rakennustarkastusyhdistys. (2014). Helsingin satavuotiaan rakennusvalvonnan historia kansiin. <http://www.rakennustarkastusyhdistysry.fi/uutiset.html?a100=161>. Luettu: 23.11.2014.

YMPARISTO.fi 1. (2014). Ympäristövaikutusten arviointi. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi.

YMPARISTO.fi 2. (2014). Hankkeiden YVA-menettely. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/Hankkeiden_YVAmennettely.

YMPARISTO.fi 3. (2014). Suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arviointi SOVA. <http://www.ymparisto.fi/sova>.

STATE OF THE ART AND OPPORTUNITIES OF NEW TECHNOLOGIES OF COMMUNICATION IN THE ENVIRONMENTAL INTERPRETATION – CASE OF SAIMAA PROTECTED AREAS

Potiron Philippe & Tuomala Anne-Marie

Background

Philippe Potiron graduated in December 2013 from MAMK's Environmental Engineering program. His thesis "State of the Art and Opportunities of New Technologies of Communication in the Environmental Interpretation – Case of Saimaa Protected Areas" won the first prize in October 2014 in the thesis competition of the Association for Environmental Management (YJY).

YJY was established in 1996. Its main mission is to promote environmental management and improve its members' professional competence. YJY Environmental Award is given to an organisation or a person for outstanding environmental achievements and positive changes in its ecological performance. A separate award is given to graduate students every second year. There are two categories; universities and universities of applied sciences categories.

In the award assessment YJY states that Philippe's work investigates in a new way the possibilities of environmental interpretation, applied to nature protected areas of Metsähallitus, as it studies the possibilities of modern technologies of communication – social media. Below please find an article version of the thesis.



PICTURE 1. Philippe Potiron and YJY's spokesman Mikko Koskensyrjä in Helsinki 28.10.2014 in the seminar where thesis competition results were published. (Pictured by Philippe Potiron's camera)

Introduction to the thesis topic

Nature conservation is the most important task of national parks and protected areas (Laukkanen 2009, 11). However, those places are also used for recreation and nature-based tourism. All those activities can coexist in the same geographical place only if the totality of stakeholders, especially visitors, is aware of the impact of their activities and adopt behaviours that reduce damage to the environment. This is one of the goals of environmental interpretation. Well designed, it provides learning, understanding and motivation to achieve changes in behaviours that will be beneficial for both visitors and protected areas (MBRS 2005, 1). Environmental interpretation is the key element for the success of every nature conservation program's success.

Metsähallitus is a state owned company that is in charge of the management of Finland's 35 National Parks and other protected areas. In Saimaa region, it manages 17 000 ha of protected area, in addition to the 1 500 ha of Repovesi National Park that are part of the Saimaa administrative management region. These protected areas are visited by more than 290 000 visitors annually. As Lake Saimaa receives an estimated 500 000 tourists per year, we can say that more than half of the tourists coming to Saimaa area also visits a protected area. Therefore, the protected areas and their provided services are business

sources for more than 70 entrepreneurs that have nature-related activities by providing guiding, equipment and accommodation services in and around those areas. With the indirect activities of Nature-based tourism, protected areas are seen as a major part of Saimaa Lake economy. (Laukkanen 2009, 11.)

One of the missions of Metsähallitus Natural Heritage Services is to provide environmental interpretation and environmental education to the visitors of national parks, protected areas and information points in Finland. However, environmental interpretation designers of Southern Finland region have to face numerous difficulties in Saimaa protected areas due to the vast area to cover, the diversity of the visitors' interests and activities, and the preservation of the aesthetic of the protected areas. New technologies of communication (NTC) could be the best media to tackle those difficulties, make visitors more active in nature conservation and, more generally, in environmental protection. However, if environmental interpretation techniques are well known and NTCs start to be well documented, those two disciplines might never meet each other. There is no standard, publication or methodology explaining how to use the new technologies of communication for environmental interpretation. Metsähallitus has an interpretation plan for the Saimaa area 2009-2015, but during that period, new technologies of communication become more and more important in media and visitor's life (Metsähallitus 2009). It is necessary to understand those technologies and identify the opportunities offered by them.

As a former science interpreter and a user of social network, it was interesting to have an overview of the environmental interpretation techniques and then to start research which new technologies of communication are suitable for the protected areas in Finland. Through this research, I had the ambition to learn the State of the Art of two activities that I have practiced for years, both for professional and personal purpose, without any precise methodology. The terms interpretation and new technology of communication were even vague to me. After understanding those two disciplines, solutions were proposed to improve existing environmental interpretation or propose new products using new technologies of communication in the Saimaa protected areas.

Environmental interpretation

Most people think that interpretation is a synonym of translation, which is the process of transforming information from one language to another one. Therefore, environmental interpretation would be the translation of a technical language from a natural science into terms and notions that non-scientists can understand immediately. That is interpretation at its most basic level. (Ham 1992, 1). But a literature review revealed that environmental interpretation is much more than translation and it is based on fifteen principles that can be applied, at different degree, to any media. Freeman Tilden (Tilden

1957) wrote six of them in 1957 and his book is a reference in environmental interpretation. However, there was no social media or mobile internet connections in the 50's, therefore, to use only those principles in new technologies of communication would be a mistake.

As using fifteen principles can be too much work for a post or a small message on a social network, Ververka (2005, 3) proposes three tips to choose what information will be included in the interpretation. Those are named **Tilden's Tips**. Each information should answer to three questions. Firstly, why would a visitor want to know this? Answer to this question means that information is related personally to the visitor and will provoke behaviour change. Secondly, how the visitor should use this information? If visitors can not use it, then why give it to them. Finally, what are the benefits for the resource, agency and visitors? Furthermore, the information should not provoke the "so what?" reaction from the visitors which indicates that information is not related to a clear theme or not judged as to be important. (Veverka 2001, 3; Veverka 2005, 3; Ham 1992, 24.)

Tilden's Tips can be used on the new technologies of communication where high frequency of updates and information flow are needed, such as Facebook, Twitter or blogs, when the fifteen principles will be used for the low frequency of updates such as webpages, exhibitions, videos. Other techniques, used according to the technical specialities of the media are also presented in this thesis.

The main outcomes of environmental interpretation should be:

- To create a direct contribution for enriching the experience of visitors (MBRS 2005, 6; Veverka 2005).
- To make the visitor aware of his place in the environment and facilitate his/her understanding of the complexity and fragility of the environment.
- To establish public support.
- To motivate the public to take actions for environment protection.
- To create employment opportunities for the local communities and tourism sector, for people working as interpretive guides, trail maintenance, in visitor centre.
- To decrease the need for maintenance and the degradation of fragile ecosystems in the protected areas (MBRS 2005, 6). To make people understand restrictions and accept them.

Different objectives will generate different outcomes. In the case study of Saimaa protected areas, the objectives in the interpretation plan were:

- To improve accessibility and safety.
- To promote the natural and cultural heritage.
- To deepen visitors' natural and cultural experiences.
- To provide materials that encourage visitors to be environmentally responsible and create a behaviour change in citizens.

As ecotourism is stated to be one of the fastest growing forms of tourism, it can be expected that in Finland, where tourism is mostly nature-based, the protected areas will receive more and more visitors (Ikonen 2012, 4). That type of tourist has a great curiosity for local ecosystem, culture and history that interpretation should provide. Therefore, environmental interpretation is an important part of tourism as well as an important part of education.

New technologies of communication

New technologies of communication give the opportunity to extend Metsähallituse's missions both in space and time by communicating with the visitors before, during and after the visit of the protected areas. However, those new media have their own specialities that must be considered before using those for environmental interpretation.

A literature review and SWOT analysis were done for each new technology of communication that revealed the importance of knowing user expectations and social media characteristics. The literature review and the SWOT analysis showed that except microblogs, such as Twitter or Instagram, every new technology of communication could be used for environmental interpretation if the institution uses the needed resources. A visitor survey was realised for researching visitor's values, activities and use of technology. This visitor survey revealed that few customers use social media in their travel, but they are inter-

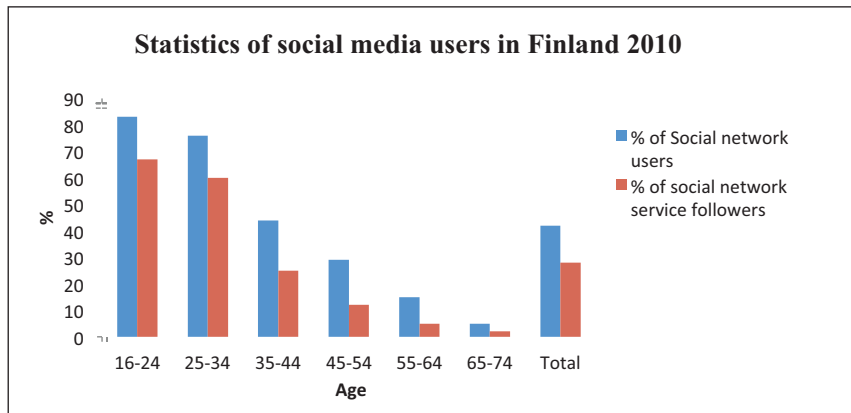


FIGURE 1. Social media use in Finland (Official Statistics of Finland 2010)

ested in that possibility and the tendency could rapidly change in the future. For legal reasons, it was not possible to interview under 18 year-old visitors but recent researches showed that they use social media much more than the average public and they use it more than other medias.

Facebook analysis

Facebook is the only one social media that is used exclusively for Saimaa protected areas. Metsähallitus also uses Twitter and blogs but those are used for national or for large region communication. The analysis of Facebook communication was qualitative and based to the information that the author could access. The analysis was based only on the posts that appeared on the wall of the Facebook pages of Linnansaari, Kolovesi and Repovesi National Parks. All posts published by other people than Facebook page owner was excluded. In accordance with the purpose of this thesis, each post was analysed qualitatively using Tilden's tips for environmental interpretation.

Improvements

The posts on the social networks should be tested with the Tilden's tips and the environmental interpretation techniques before any release on the wall. That could remove a little bit of spontaneity but might avoid incomprehension of the message and increase the efficiency of behaviour change in the users. Beautiful images and nicely written texts can generate "likes" and comments but without any scientific facts and purpose, those feelings explained will not become behaviour changes and passion for environmental protection. However, art is a component of interpretation and should not be discriminated. Art can also gear up the positive attitude of visitors towards nature conservation.

The Tilden's tips and environmental interpretation techniques can be applied quickly for any kind of publication on the social media. It should be incorporated into the interpretation plan of the region for social media communication and into the formation for Facebook writers, where it is absent (Metsähallitus 2013e, Metsähallitus 2013 f). As videos are much more appreciated by the young generation that uses more social media than the elders more videos should be incorporated in the posts. It would be an opportunity to equip the persons in charge of Facebook with a small video camera which is easy to use on field for filming workers' job and environmental protection techniques.

Recommendations were proposed in order to improve the efficiency of the environmental interpretation and the popularity of the posts on Facebook. Social media communication technique where exposed and adapted to Metsähallitus missions.

Opportunities

Having social media exclusively in Finnish language excludes de-facto 27% of the visitors and all the potential tourists from other countries. Foreigners need more information and guidance than the Finns, not only because they do not know the places, but also because they are looking for culture, history, nature and social relation with local people. Social media has been created for social relation between people who are geographically separated so it should be used in that purpose for environmental interpretation too. During the visitor survey, only 3 persons could not answer to the questionnaire because of English language barrier. More and more tourists speak English and today, Metsähallitus should also have an English voice in Facebook.

YouTube is a formidable opportunity for sharing environmental interpretation both with the public and with other National Parks and protected areas. Piece of interpretation, free of copy writes, could be stocked there for environmental education and interpretation for the visitors at home and on the trails. As each video has a specific Web address, a video could be linked to signs of a trail, constituting a virtual guided trail available every day 24h/7d. Every visitor that has a 3G internet access on his/her device (89% of those who have a mobile internet connection) could access to that service. Except for the video camera, which can be used also for Facebook and other tasks, this service is free of charge for the organisation (Google 2013).

A Blog will be a similar opportunity but with more interaction with the customer. However, this social media needs more technical knowledge than Facebook and it should be managed by workers that are already experts in blog design and management. As a poorly designed and managed blog could lead to customer loss, this responsibility should be given to an experienced worker. Even if Facebook is well established in Finland, there are Finns and foreigners that use internet but do not want to get in Facebook or any social network for personal or other reasons. Social media that does not ask to log-in, such as blogs, would be an opportunity to reach them and communicate with them without losing the advantages of social media.

A mobile application could either be a remarkable opportunity to add both service for the customers and new income for the National Park; or a financial loss if it does not reach the customer's expectations. With a mobile application, a new world of environmental interpretation is open for data and knowledge that Metsähallitus has difficulties to share with the public because of the technology used (GIS, database, etc.). However, much more research on potential market, risks, costs efficiency and technical process has to be done, and that could engage organisation's resources for years. The visitor survey had showed an interest toward the public for an application but not a real tendency for downloading it, especially if it is not free. Therefore, it would be

wiser to focus on free and established new technologies of communications prior trying to pursue mobile applications.

The best opportunity could come from a combination of social media. Each one has strengths that will compensate the weaknesses of the other ones; A blog or a media sharing site (YouTube) could compensate the necessity of log-in in social networks. Social networks on the other hand could compensate the lack of feedback and comments in YouTube.

Conclusions

Environmental interpretation is not environmental education but it leads to learning. Educational techniques cannot be simply transposed into interpretation techniques. Environmental interpretation has its own principles that can be applied on any media. As the audience is at leisure, the environmental interpretation should be an additional value for both visitors in their nature experience, and for the organisation responsible for environmental protection. As interpretation is an important part of the visitors' satisfaction, it should be practiced carefully in any media used by Metsähallitus and new technologies of communications do not make exception to the rule. Therefore, as literature on utilisation of social media for environmental interpretation is inexistent, the use of Tilden's tips test and environmental techniques is a better alternative than the streight application of interpretation's fifteen principles.

New technologies of communication can diffuse knowledge and interpretation without being sensitive to weather, vandalism or other degradation. Those technologies allow interpreters to communicate with visitors both at home and on field. However, those are based on the internet; some places in national parks and some visitors have mobile communication issues that have to be considered for decision making.

Metsähallitus is doing well with Facebook but there are still place for improvement. The biggest problems found in the posts are the lack of encouragement for customer's participation and encouraging them to attach meanings. Propositions have been advanced in this thesis to correct those weaknesses. The protected areas of the Saimaa region are absent from the other social media. This absence is partly compensated by national social media of Metsähallitus but proximity and relationship with the users are lost in the process. By using only one social media and only Finnish language, many potential visitors such as foreigners and people who do not use Facebook are excluded from the interpretation.

Opportunities have been developed in this thesis. Some are easy to realize such as opening a YouTube account and producing videos of Metsähallitus workers in their environmental protection mission, others need more resources and planning such as blogs and mobile applications. It will be difficult to use Twitter as an environmental interpretation tool mostly because of the restriction of characters. Still this media is in constant evolution, but the author does not see opportunities for using it at this moment. In the author's opinion, blogs, social networks such as Facebook and video sharing such as YouTube are the most suitable new technologies of communication for environmental interpretation. However, those social media have their technical strengths and weaknesses. A combination of various social media is an opportunity and a tool for tackling technical restrictions and sharing environmental interpretation materials. It could help visitors both at home and on the field.

Mobile application could be a very good opportunity to guide the visitors of Linnansaari, Kolovesi and Repovesi on trails and lakes. Well designed, it could have the advantages of social media without its systemic weakness (its dependency on internet connection). But the resources needed to develop and maintain a good application are obstacles for a small team of workers. The decision will have to be taken carefully and with all the necessary pre-analysis.

This thesis gave me professional and personal experience and expertise in environmental interpretation and new technologies of communication. Those disciplines, practiced for a decade instinctively, empirically and without any standards and principle, are now clear and ordained to me. I hope that this thesis could help developing future environmental interpretation in Saimaa national parks. I will let the last world of this paper to Antoine de Saint-Exupéry (1939, 41): *"The central struggle of men has ever been to understand one another, to join together for the common weal. And it is this very thing that the machine helps them to do! It begins by annihilating time and space."*

Bibliography

Google (ed.) 2013. Google+ rules and policy. WWW-page: <http://www.google.com/+policy/pages-services.html>. Updated on 14.5.2013. Referred in 27.10.2013.

Ham, Sam H. 1992. Environmental interpretation: A practical guide for people with big ideas and small budgets. North American Press (ed.). Colorado, USA.

Laukkanen, Mari 2009. Saiman suojelualueiden luontomatkailusuunnitelma. Metsähallitus (ed.). Nature protection publications of Metsähallitus. Series C 64. Finnish language.

MBRS (project for the conservation and sustainable use of the Mesoamerican barrier reef system) 2005. Environmental interpretation manual for protected areas in the Mesoamerican barrier reef system region. Technical document N° 25. PDF edition.

Metsähallitus (ed.) 2009. Saiman matkailun painopistealue : Opastusviestintasuunnitelma vuosille 2009-2015. Finnish language.

Metsähallitus(ed.) 2013 e. Metsähallitus ja sosiaalinen media. Finnish Language, intern documentation for Metsähallitus team. Metsähallitus Intranet.

Official Statistics of Finland 2010. Every second Finn uses the internet several times a day. WWW-site: http://www.stat.fi/til/sutivi/2010/sutivi_2010_2010-10-26_tie_001_en.html. Updated in 26.10.2010. Referred on 19.10.2013.

Saint-Exupéry, Antoine 1939. Wind, Sand and Stars. Harcourt, Inc (ed.) 1984.

Tilden, Freeman 1957. Interpreting our heritage. The University of North Carolina Press (ed.). North Carolina, USA.

Veverka, John 2005. Exactly what is “Interpretation”? PDF-document http://www.gov.si/aplikacije/mop/interpretacija_narave/arhiv/exactly.pdf. Updated on 3.8.2005. Referred 4.10.2013.

Veverka, John 2001. Interpretive planning for the next millennium: The “product of the product”- “outcome based planning” and the “experience economy”. http://portal.uni-freiburg.de/interpreteurope/service/publications/recommended-publications/veverka-interpretive_planning.pdf Edited 12.3.2001. Referred 4.10.2013.

OPEN – KOKEMUKSIA YMPÄRISTÖN ETÄMONITOROINNISTA

Johanna Arola

Mikkelin ammattikorkeakoulu hallinnoi Open-tietojärjestelmä - etämonitoroinnin kehittämisen osana ympäristötekniikan koulutusta ja innovaatio-toimintaa -hanketta. Hanke alkoi 1.1.2012 ja päättyi 30.6.2014. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon Maakuntaliitto, Mikkelin kaupunki, Mikkelin Vesiliikelaitos sekä Metsäsairila Oy. Hanke on EU-osarahoitteinen.

Open-hankkeessa vahvistettiin jatkuvatoimista ympäristömonitorointiin liittyvää osaamista, koulutusta ja TKI-toimintaa Mikkelin ammattikorkeakoulussa sekä selvitettiin etämonitorointilaitteiden luotettavuutta (validointi ja verifiointi) ja käytettävyyttä erilaisten ympäristökohteiden mittaamiseen ja opetuskäyttöön. Hankkeen aikana testattiin vesistö- ja jätevesien tarkkailuun soveltuvia laitteita, jatkuvatoimista sääasemaa havaintojen lisätietojen tuottajana sekä kaasua- ja meluanalysaattoreita.

Hankkeen keskeisimmät tulokset osoittivat, että etämonitorointilaitteet soveltuvat erilaisten ympäristökohteiden mittaamiseen. Automaattimittauksilla voidaan puuttua esimerkiksi vesienpuhdistuslaitteiden ongelmakohteisiin tuottamalla dataa jatkuvasti kustannustehokkaasti.

Miksi ympäristöä etämonitoroidaan?

Ympäristöstä otetaan päivittäin lukuisia määriä näytteitä ja erilaisia mittauksia tehdään jatkuvasti. Yleensä saadut tulokset tulevat kuitenkin pienen käyttäjryhmän tietoon, ja koska tiedot ovat hajallaan eri tahoilla, on tietojen yhdistäminen ja vertailu hankalaa, jollei miltei mahdotonta. Voidaan todeta, että ympäristöstä näytteenottoilla tai automaattisilla mittalaitteilla kerättyjä seuranta-aineistoja käytetään nykyisin hyvin vähän suhteessa siihen, kuinka paljon tiedon tuottaminen on maksanut ja vienyt aikaa.

Tekniikan kehitys on mahdollistanut sen, että mittaus voidaan nykypäivänä toteuttaa jatkuvatoimisesti ja myös tiedot saadaan siirrettyä lukuisten eri käyttäjien ulottuville. Erilaiset avoimet tietokannat mahdollistavat vastaisuudessa myös tietojen entistä laajemman käytön ja yhdistämisen. Tällä toiminnalla saadaan olemassa olevaa tietomäärää hyödynnettyä entistä paremmin ja toiminnasta tulee nykyistä kustannustehokkaampaa.

Ympäristön etämonitorointi vaatii laitteita, tietokannan sekä osaamista ja yhteistyötä tulosten analysoinnissa

Pisimmät kokemukset automaattiseurannoista ympäristöhallinnossa on ns. perussuureista, kuten lämpötila, pH, happi ja sameus, jotka pystytään nykyään mittaamaan automaattisesti melko luotettavasti ja kustannustehokkaasti, mikäli antureita huolletaan käyttökohteen vaatimalla tavalla.

Automaattiantureiden mittaama data kerätään ensivaiheessa laitteiston tiedon tallentimeen (datalogger) ja lähetetään sopivin väliajoin edelleen tietokantaan. Hyväkään anturi ei anna oikeita tuloksia, jos tallentimessa on ohjelmointivirheitä tai se kadottaa tietoja. Tallentimen on toimittava kaikissa sääolosuhteissa ja datan on säilyttävä, vaikka lähetys epäonnistuisikin esimerkiksi sääolojen vuoksi. Myös virransaanti on varmistettava.

Antureiden mittaus- ja lähetystiheyttä voidaan vapaasti säätää tarpeen mukaan kustannusten juurikaan muuttumatta. Näin saadaan riittävän tiheät datasarjat käyttöön kustannustehokkaasti, yleensä lähes reaaliajassa. Mittauksilla saadaan tietoa myös yllättävistä tapahtumista, esimerkiksi rankkasateiden aiheuttamista ravinnekuormitushuipuista, joita ei perinteisin menetelmin pystyttäisi havainnoimaan.

Automaattiset mittalaitteet tarkentavat huomattavasti muiden uusien menetelmien kehitystyötä. Reaaliaikainen data on korvaamaton erityisesti matemaattisten mallien ja kaukokartoitusmenetelmien kehitystyössä. Toiminnan yhdistäminen tutkimuslaitosten ja toimijoiden kanssa tuottaa sekä lisää dataa että säästöjä kaikille. Lisäksi mittaamalla samasta paikasta montaa eri muutujaa, saadaan useimmiten datapaketti, joka on paljon arvokkaampi kuin yksittäiset mittaustulokset.

Automaattiseen perustuvat laitteet ovat kehittyneet paljon viime vuosina ja sopivat jo opetuskäyttöönkin. Samoilla laitteilla voidaan tuottaa myös asiantuntijoille ja valvontatehtävissä toimiville henkilöille sopivaa dataa luotettavasti. Hankkeen laitehankinnoissa pyrittiin löytämään sekä tavalliselle kansalaiselle sopivaa dataa ympäristöstä tuottavia laitteita että asiantuntijoita ja viranomaisia kiinnostavia laitteita. Kohteiden osalta ei voitu kattaa kaikkia mittaushankkeita, vaan keskityttiin vesistömittauksiin, joista haettiin kokemuksia sekä opetuskäytöstä että viranomaisten normaalista tarkkailutyöstä.

Open-hankkeessa monitorointiin lukuisia ympäristökohteita

Open-hankkeen monitorointikohteiksi vesistöistä valittiin Mikkelin alapuolisesta Saimaasta Pappilanselkä, Mikkelin Kalevankankaalta Pankajoki sekä Mikkelin ja Kangasniemen rajalla sijaitseva Läsäkoski. Yhtenä merkittävänä mittaushankkeena toimi Metsäsairilan jätekeskus, jossa aloitettiin jatkuvatoi-

minen mittaus alueella syntyvästä suotovedestä. Lisäksi mittalaitteita testattiin Pitkäjärven yleisellä uimarannalla ja Saimaan Kattilanlahdella. Mikkelin keskustassa sijaitseva sääasema keräsi kaikkien mittalaitteiden tuottamien tulosten tueksi säähavainnoja. Erityisesti sade- ja tuulihavainnoista oli apua muiden mittalaitteiden tulosten kuvaamisessa.



KUVA 1. Suomen vaihtelevat sääolosuhteet asettavat vaatimuksia mittalaitteille (kuvat Johanna Arola ja Pia Haapea)

Case Pankajoki

Mikkelin Kalevankankaalla sijaitseva Pankajoki valikoitui yhdeksi etämonito-rintikohteeksi. Pankajoen vedenlaatua monitoroitiin 6-sarjan Ysi 6920 V2 -laitteella. Laitteeseen pystyy kiinnittämään useita eri parametreja mittaavia antureita. Hankkeella käytössä olleista mittalaitteista kyseinen oli monikäyt- töisin. Laitteen mittaamat suureet on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Ysi 6920-V2 -mittalaitteen parametrit

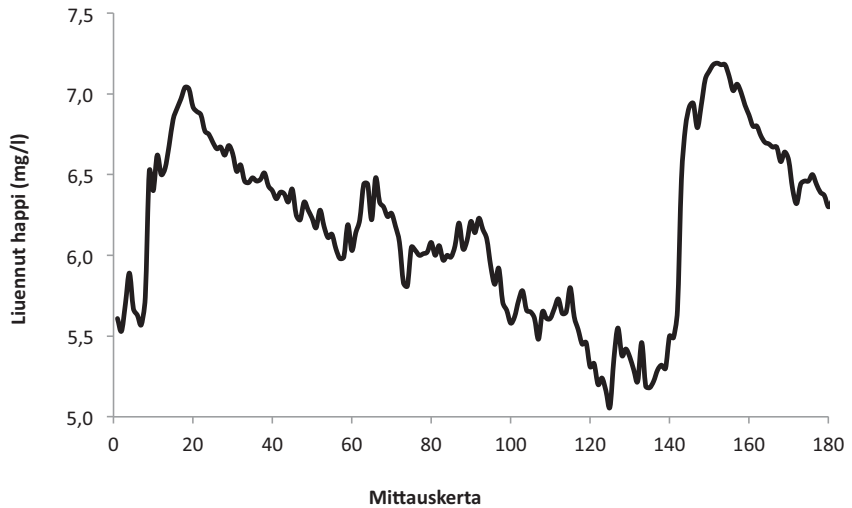
Parametri	Mittausalue / yksikkö
Lämpötila	°C
Paine	lb/m ²
Sähkönjohtavuus	0-100 mS/m
Liuenneet aineet	TDS, mg/l
pH	0-14
Liennut happi	0-50 mg/l (O ₂)
Hapen kyllästysaste	0-120 % (O ₂)
Sameus	0-1000 FNU

Laite sijoitettiin Pankajokeen (kuva 2) kesällä 2013 tarkkailemaan raakavedeksi imeytettävän veden laatua. Pankajoen vedenlaatu on kiinnostava, sillä osa kaupungin vesilaitoksen tarvitsemasta raakavedestä imeytyy Hanhikankaan pohjavesimuodostumaan. Kaupungin vesilaitos saa Hanhikankaan pohjavesimuodostumasta kolmasosan käyttämästään päivittäisestä raakaveden määrästä. Kaupungin taajama-alueella virtaava joki kuormittuu mm. rakennetun kaupunkiympäristön hulevesistä. Automaattisella vedenlaadun seurannalla voidaan tarkkailla vedenlaadun äkillisiä muutoksia ja tarvittaessa ottaa tilaa tarkentava vesinäyte laboratoriomääritykseen. Lisäksi anturin sijaintipaikka oli opetuksellisesti hyvä, sillä kohde oli opiskelijoiden hyvin tavoitettavissa.



KUVA 2. Pankajoki on osa Hanhikankaan jokialuetta (kuva Piia Aarniosalo)

Kuvassa 3 on esitetty yhden mitatun suureen, liuenneen hapen, määrän vaihtelu Pankajoen mittauspisteessä viikon ajalta. Kuvaajasta nähdään, että hapen määrä voi vaihdella äkillisesti ja täysin ennakoimattomasti. Saatuja mittaus tuloksia voidaan myös täydentää säätiedoilla, jolloin voidaan tehdä päätelmiä jokea ympäröivän ympäristön vaikutuksesta vedenlaadun muutoksiin. Kuvassa 3 hapen määrä lähtee selvään nousuun noin 140 mittauskerran kohdalla, jolloin pitkä kuiva jakso päättyi ja vesisade valumineen nosti hapen määrää vedessä.



KUVA 3. Esimerkkidata Pankajoen liuenneen hapen määrästä (mg/l) mittauskertojen suhteen osoittaa, että tilanne voi vaihdella suuresti. Esimerkissä mittaus on tehty tunnin välein.

Automaattitarkkailun edut ja haitat

Ilmastonmuutoksen lisäämää sateisuutta, hajakuormitusta ja talvivaluntaa olisi hyvä seurata tarkemmin, jotta vesienhoidolliset toimenpiteet pystyttäisiin helpommin kohdentamaan kustannustehokkaasti. Automaattisesti tuotettu data yhdistettynä säätietojen seurantaan ja matemaattisiin mallinnuksiin on todennäköisesti kustannustehokkain ja tulevaisuudessa yleistyvä tapa aiemmin esitetyissä, soveltuviissa kohteissa.

Automaattiset mittalaitteet ovat vaikeasti korvattavia virtavesitarkkailussa, jolloin saadaan hetkellisistä, pulssimaisista muutoksista kiinni nopeasti, eikä tilanne ehdi mennä ohi, kuten tavallisessa näytteenotossa usein on mahdollista käydä. Virtavesien kohdalla jo nyt liian harvoin toteutettu tarkkailu on vaarassa vähentyä entisestään. Tähän ongelmaan automaattimittauksilla voidaan puuttua tuottamalla dataa kaikkina vuorokaudenaikoina, jolloin myös tihennetyinkin perinteisen mittausohjelman tutkimatta jääneet ajankohdat saadaan mitattua. Toisaalta laitteiston toimimattomuus juuri kriittisimmän kuormituksen aikana voi hävittää ison osan oleellisesta datasta, siksi antureiden toimintavarmuuteen ja luotettavuuteen on syytä panostaa jo laitetta hankittaessa sekä huolehtimalla niiden huolloista. Sen sijaan seisovissa järvivesissä tilanne pysyttelee limnologian perussääntöjen mukaan hyvinkin pitkään samana ja tavanomainen näytteenotto on riittävä, ellei olla kiinnostuneita jostain tietystä, hyvin määritellystä ongelmasta, joka pystytään mittaamaan ilman suuria laiteinvestointeja.

Parhaiten ns. automaattiset mittalaitteet toimivat verkostoina. Yksittäiset anturit eivät välttämättä anna ympäristön tarkkailun kannalta uutta tietoa kuin niukasti. Lisäksi hankkeen aikana korostui mittalaitteiden hyödyllisyys hetkellisten ilmiöiden tarkkailussa, jossa ne ovat lähestulkoon ainoita luotettavaa tietoa antavia laitteita. Lisäksi mittalaitteiden avulla on helpohkoa kerätä pitkiä aikasarjoja, mutta silloin on huolehdittava ja varmistettava sopivat huolto- ja kalibrointivälit.

Etämonitoroinnin etuna on se, että dataa saadaan jatkuvasti ja sille voidaan asettaa hälytysarvot, jolloin asetettujen raja-arvojen ylityessä tai alittuessa muutoksesta saadaan ilmoitus esimerkiksi tekstiviestinä. Tällöin havainnon tueksi voidaan tarvittaessa ottaa vesinäyte tai varautua ennalta vedenpuhdistusprosessin muutoksiin. Toki muutokset voivat johtua myös mittalaitteen toimintahäiriöstä, jolloin voidaan esimerkiksi kasvattaa anturin mittaustiheyttä ja seurata mahdollisia häiriötilanteita. Mittausdatasta voidaan myös melko nopeastikin päätellä, milloin mittalaitteen antureiden kalibrointi tai huolto on tarpeellista suorittaa.

Ympäristön etämonitoroinnin tulevaisuuden näkymät

Teknologian uudenlainen hyödyntäminen vaatii myös uusia toimintamalleja ja -tapoja. Mobiilit laitealustat ja teknologiat, mittausteknologia, yritysyhteistyö, kansalaisten aktivointi ja motivointi on kaikki otettava huomioon ja nähtävä mahdollisuutena tiedon keräämiseen, eikä vain mahdollisena epävarmuutena, epävirallisena tietona. Laadunvarmennus ei oletettavasti ole tulevaisuudessa ensisijaista, tärkeintä on ensin saada tietoa ja tarkentaa havaintoja tilanteen kehittyessä perinteisin menetelmin, jolloin resurssit voidaan kohdentaa eri tavoin kuin nykyisin, painottaen havainnoissa epävarmuuden hallintaa. Kansalaisten kannalta muuttuvassa yhteiskunnassa avoimessa datassa on iso suomalainen mahdollisuus.



KUVA 4. Eräs ympäristön etämonitorointiin hyvin soveltuva mittalaite (kuva laitetoimittaja)

Ympäristöhallinnon strategia 2020 -julkaisussa on esitetty ympäristöseurantojen pääteemat uusista teknologioista, menetelmistä sekä niiden käyttöön-otosta. Automaatiikan lisäksi on haluttu painottaa mahdollisuuksien mukaan käytettävää vapaaehtoistyötä ja kansalaishavainnointia.

Tärkeää olisi parantaa tiedon hyödynnettävyyttä. Tällöin seurannat linkitetään saumattomasti tietojärjestelmiin ja tiedon erilaisiin käyttötapoihin, jolloin myös hyödynnettävyys tutkimus-, suunnittelu-, asiantuntija- ja innovaatio-toiminnassa kasvaa. Seurantatietoa halutaan käyttää enemmän myös kuntien ja kansalaisten käytössä eri seuranta- ja tilakatsauksissa sekä kasvatuksessa.

Uusien menetelmien hyödyntäminen tulisi toteuttaa siten, että valitaan tarjolla olevista menetelmistä kustannustehokkaimmat ratkaisut. Tämä tapahtuu hyödyntämällä täysimääräisesti uusia teknologioita. Alueellista kattavuutta, ajallista edustavuutta ja reaaliaikaisuutta parannetaan ottamalla käyttöön mallintamis- ja kaukokartoitusmenetelmiä sekä mahdollisuuksien mukaan automaattisia mittalaitteita. Siirryttäessä käyttämään uusia seurantamenetelmiä tai -tekniikoita on tuotettuja tuloksia verrattava aiemmin käytetyn menetelmän tuloksiin ja todettava tilastollisesti luotettavalla tavalla tulosten vertailtavuus.

Loppuyhteenvedona voidaan todeta, että ns. automaattiset, etämonitorointiin tarkoitetut mittalaitteet soveltuvat lukuisten erilaisten ympäristökohteiden mittaamiseen. Parhaimmillaan ne antavat tietoa ympäristön tilan muutoksista ja juuri muutosten havaitseminen on asia, johon niitä on kustannustehokasta hyödyntää. Täysin tarkkojen arvojen saaminen voidaan edelleen toteuttaa laboratoriossa analysoitavien näytteiden avulla, joita voidaan ottaa silloin, kun mittalaitte havaitsee ympäristön tilassa selvän poikkeaman. Vaikka etämonitorointiin tarkoitetuista mittalaitteista näkee hyvin usein käytettävän sanaa automaattinen, eivät ne täysin automaattisia kuitenkaan ole, vaan huoltoon ja kalibrointiin täytyy varata resursseja. Erilaisten mittausdatojen muuttuessa entistä avoimemmaksi luo eri tavoin saatujen datojen yhdistäminen paljon uusia mahdollisuuksia, ja tällä tavoin ympäristön tilasta voidaan saada tietoa paljon nykyistä enemmän. Tulevaisuudessa on myös erittäin tärkeää, että kansalaiset pääsevät vaikuttamaan asioihin ja tuomaan omat havaintonsa ympäristön tilasta esille. Tämän mahdollistavat erilaiset pilviteknologiat, joihin voidaan tuoda tietoa ja havaintoja erilaisista kohteista, ja joiden tietoja ja havaintoja lukuisat eri tahot voivat hyödyntää. Näin pystytään toimimaan kustannustehokkaasti ja jokainen mittaustieto ja havainto voidaan hyödyntää.

Open-hankkeen julkaisu, jossa hankkeen tuloksia on käsitelty laajemmin, on saatavissa osoitteesta http://www.mamk.fi/kirjasto/julkaisutoiminta/e_julkaisut.

LÄHTEET

Ympäristöministeriö 2011. Ympäristön tilan seurannan strategia 2020. Ympäristöministeriön raportteja 23/2011.

KASTELUVESIEN MIKROBIOLOGINEN LAATU

Riina Tuominen & Sari Seppäläinen & Hanne Soininen

TuoPro-Tuorekasvisten turvallisuuden parantaminen -hankkeessa on Helsingin yliopiston Ruralia-instituutissa ja Mikkelin ammattikorkeakoulussa vuosina 2012–2014 tarkasteltu kasteluviesien laatua osana tuorekasvisten tuoteturvallisuutta. Hanketta rahoittaa Hämeen ELY-keskus Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta.

Kasteluviesien laatu

Alkutuotantoasetus eli Maa- ja metsätalousministeriön asetus 1368/2011 elintarvikkeiden alkutuotannon elintarvikehygieniasta velvoittaa niitä viljelijöitä, joilla kasteluvesi päätyy suoraan kasvin syötävien osien pinnoille, tutkittamaan kasteluviesien laadun laboratoriossa vähintään kolmen vuoden välein. Tämä tutkimusvelvoite koskee myös niitä toimijoita, jotka käyttävät vettä tuotteiden pesuun ja jäähdytykseen. Vesinäytteestä on tutkittava vähintään *Escherichia coli* ja suolistoperäiset enterokokit sekä arvioitava aistinvaraisesti väri ja haju sekä, kun on kysymys luonnon pintavesistä, syanobakteerien esiintyminen.



KUVA 1. Kastelumenetelmänä käytetään peltoviljelyssä yleensä sadetusta (kuva Hanne Soininen)

Viljelysten kasteluun käytetään yleisesti pintavettä, ja veden laadulla on suuri merkitys myös tuotteiden laatuun (kuva 1). Pintaveden laatuun vaikuttavat muun muassa vesistön luontainen ominaispiirre, hajakuormitus, veden virtaavuus ja säätila. Jokiveden laatu voi vaihdella jopa päivittäin, riippuen siitä, mitä joen yläjuoksulla on. Veden laatu vaihtelee myös vuodenaikojen mukaan: keväällä ja syksyllä laatu voi heiketä sulamisvesien ja valumavesien vuoksi, ja kesällä levät saattavat heikentää paikallisesti pintaveden käyttökelpoisuutta. Pintavedet saastuvat herkästi, sillä niillä ei ole suojaa saasteita vastaan, toisin kuin pohjavesillä.

Hankkeen kohderyhmänä olivat eteläsavolaiset yritykset, jotka pumpaavat kasteluveden käyttöönsä järvistä, joista ja kaivetuista kastelualtaista. Kasteluveden laatuun vaikuttavat vesistön laadun lisäksi kohteen hoitotoimenpiteet (kertyneen lietteen ja puuston poisto lähialueelta). Laatuun vaikuttavat myös oleellisesti alueen läheisyydessä olevan haja-asutusalueen jätevesien käsittely sekä lannoitteiden ja karjalannan käyttö kasteluveden ottokohteen läheisyydessä. Mahdollisia riskitekijöitä voivat aiheuttaa ottokohteisiin myös veden pumppaamiseen käytetty menetelmä sekä tieliikenteen sijoittuminen alueelle.

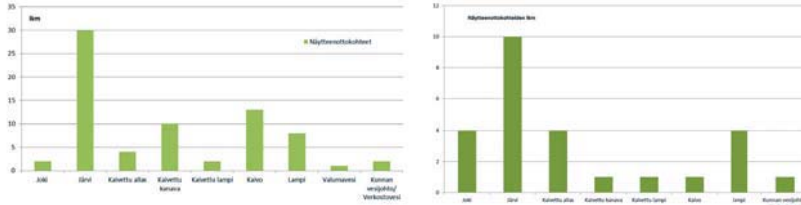
Hankkeessa on arvioitu kasteluvesilähteiden riskejä ja tähän mennessä analysoitu noin 80 vesinäytettä. Vesilähteitä ovat olleet muun muassa luonnon vesilähteet ja niistä kaivetut kasteluojastot, kaivot ja vesilaitoksen jakama vesi. Näytteistä on Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa määritetty koliformiset bakteerit, *E.coli* ja suolistoperäiset enterokokit. Suurin osa tutkituista näytteistä on täyttänyt alkutuotantoasetuksen mukaiset vaatimukset. Kasteluveden laatu on merkittävässä osassa ajatellen kasvisten mikrobiologista tuoteturvallisuutta ja edelleen toiminnan kannattavuutta. Veden vähimmäislaatuvaatimukset on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Kasteluveden jäähdyttämiseen ja puhdistamiseen käytetyn veden laatuvaatimukset (Alkutuotantoasetus 2011)

Tutkittava muuttuja	Syötävien osien kastelu (pmy/100 ml)	Jäähdytys ja puhdistaminen (pmy/100 ml)
<i>E. coli</i>	≤ 300	0
Suolistoperäiset enterokokit	≤ 200	0
Väri ja haju	ei poikkeavia muutoksia	ei poikkeavia muutoksia
Syanobakteerit (luonnon pintavesi)	ei massaesiintymää	-

Kasteluvesinäytteet

Kasteluvesinäytteitä otettiin Etelä-Savon alueelta 72 kappaletta touko–kesäkuussa 2013 ja 38 kappaletta touko-elokuussa 2014. Vesilähteitä olivat muun muassa luonnon vesilähteet ja niistä kaivetut kasteluojastot, kaivot ja vesilaitoksen jakama vesi (kuva 2).



KUVA 2. Kuvassa vasemmalla vuoden 2013 kasteluvesinäytteet ja oikealla vuoden 2014 kasteluvesinäytteet

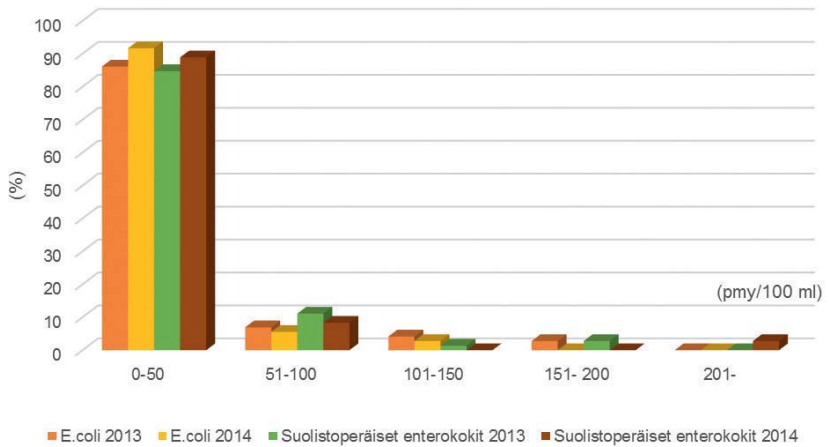
Kasteluvesinäytteet pyrittiin ottamaan kohdasta, joka kuvaa mahdollisimman edustavasti kasville päätyvää vettä (kuva 3). Näytteet otettiin standardin SFS-EN ISO 19458 mukaan ja toimitettiin analysoitavaksi Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorioon näytteenottopäivänä. Näytteenoton puhtaus varmistettiin huolehtimalla käsihygieniasta ja suojaamalla näyteilmavirralla, roiskeilta ja muulta likaantumiselta.



KUVA 3. Näytteenotto kastelulaitteesta (kuva Riina Tuominen)

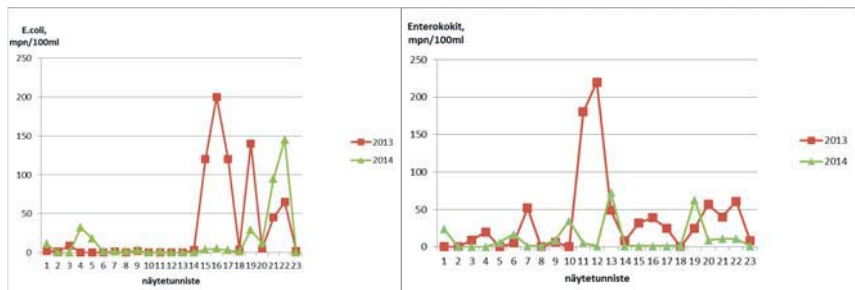
Näytteiden analysointi ja tulokset

Näytteistä määritettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa koliformiset bakteerit, *E.coli* ja suolistoperäiset enterokokit. Näytteiden tulokset olivat vuosina 2013 ja 2014 *Escherichia coli* osalta alkutuotantoasetuksen raja-arvon (300 pmy/100 ml) alapuolella. Myös suolistoperäisten enterokokkien tulokset olivat kahta tulosta lukuun ottamatta asetuksen mukaisia eli alle 200 pmy/100 ml. Tulosten jakautuminen prosentuaalisesti on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. *E.coli* ja enterokokki-pitoisuuksien tulokset vuosina 2013 ja 2014

Vuosina 2013 ja 2014 otettiin kasteluvesinäytteitä osittain samoista näytteenottokohteista. Yhteneviä näytteenottokohteita oli hankkeessa yhteensä 23 kappaletta. Näytteenottokohteiden kasteluvesien *E.coli*- ja enterokokki-pitoisuudet vuosina 2013 ja 2014 on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Kuvassa vasemmalla näytteenottokohteiden *E.coli*-pitoisuudet ja oikealla näytteenottokohteiden enterokokki-pitoisuudet vuosina 2013 ja 2014

Tulosten tarkastelu

Kasteluvesinäytteiden analyysitulokset vastasivat kahta näytettä lukuun ottamatta alkutuotantoasetuksen vaatimuksia. Yhteneviä näytteenottokohteita verratessa käy ilmi, että veden mikrobiologinen laatu vaihtelee vuosittain. Vaihtelu voi ilmetä nopeallakin aikataululla, sillä veden mikrobiologiseen laatuun vaikuttavat mm. runsaat sateet, kuivuus sekä erilaiset mikrobiologiset pistelähteet.

Kohteissa, joissa tutkittuja mikrobeja esiintyy kohonneita määriä, kannattaa kiinnittää huomiota kasteluvesilähteiden rakenteisiin ja muihin veden laatuun vaikuttaviin tekijöihin. (Kasteluveden laatu on merkittävässä osassa ajatellen kasvisten mikrobiologista tuoteturvallisuutta ja edelleen toiminnan kannattavuutta.) Kasteluveden ominaisuudet voivat vaikuttaa kasviksiin ja riskit voivat siirtyä myös kuluttajalle, varsinkin jos kastelu tapahtuu lähellä sadonkorjuuta. Alkutuotantoasetuksen säätämä vesinäytteiden tutkimusväli on kasteluveden laadun toteamiseksi melko pitkä, eivätkä vaaditut analyysit ole tarpeeksi kattavia verrattaessa niitä mahdollisiin vaaroihin. Määritettävät parametrit ja niiden analysointiväli perustuvat kuitenkin riskinarviointiin ja olisi kohtuutonta vaatia viljelijää tutkituttamaan kasteluvetensä aina ennen käyttöä. Viljelijän olisi kuitenkin hyvä tehdä kastevedestä aistinvarainen arviointi aina ennen kastelua.

LÄHTEET

Alkutuotantoasetus 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 1368/2011 elintarvikkeiden alkutuotannon elintarvikehygieniasta.

BIOPOLTTOAINEIDEN LAATUA ÄLYKKÄÄSSÄ YMPÄRISTÖSSÄ

Marjatta Lehesvaara & Hanne Soininen

Mikkelin ammattikorkeakoulun Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen *Älykäs ympäristö bioenergian tutkimus- ja innovaatiotoiminnalle* -hankkeessa (Älykäs ympäristö) on investoitu bioenergiantuotannon innovaatio- ja tutkimusympäristöön, joka palvelee alueen yrittäjien TKI-tarpeita monipuolisesti. Hankkeen myötä Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorioon on hankittu mm. biopolttoaineen laadun analysointiin käytettäviä laitteita. Hanketta rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Lisäksi hanketta rahoittivat Mikkelin Ammattikorkeakoulu Oy, Etelä-Savon Energia Oy, Miktech Oy, Metsäsairila Oy, Juvan Bioson Oy, Tassu ESP Oy ja Suur-Savon Energiasäätiö.

Puupolttoaine on Suomen tärkein energianlähde. Sen osuus Suomen kokonaisenergian kulutuksesta oli vuonna 2011 yli 20 %. Myös Etelä-Savon maakunta nojaa energiantuotannossaan voimakkaasti metsäbiomassan käyttöön. Esimerkiksi Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan voimalaitos ja Suur-Savon Sähkö Oy Savonlinnassa ovat investoineet voimalaitoksissaan uusiin, puuperäisiä polttoaineita käyttäviin kattiloihin. Lisäksi alueelle on otettu käyttöön Torrec Oy:n pilot-mittakaavan laitos Pursialaan.

Kiinnostus kiinteisiin biopolttoaineisiin kasvaa maailmanlaajuisesti, mistä johtuen näitä polttoaineita koskeva standardisointi on uudistettu. Eurooppalainen standardisointijärjestö CEN on julkaissut biopolttoaineita koskevat luokitusjärjestelmät sekä testi- ja laadunvarmistusmenetelmät, jotka soveltuvat laaja-alaisesti erilaisille biopolttoaineille. Myös uudet EN- laatuluokitusstandardeihin perustuvat kansainväliset ISO-standardit on julkaistu vuoden 2014 alkupuolella.

Kiinteiden biopolttoaineiden laatustandardisointi

Biopolttoaineiden luokitus perustuu raaka-aineen alkuperään ja raaka-ainelähteeseen. Luokitusta varten biopolttoaineet on jaettu neljään ryhmään: puu-, kasvi- ja hedelmäbiomassat sekä näiden sekoitukset ja seokset. Erilliset laatuluokitukset on lisäksi kuvattu yleisimmille kiinteiden biopolttoaineiden kauppanimikkeille (mm. briketti, pelletti, puuhake- ja murske). Eurooppalainen standardisointijärjestö CEN on julkaissut kaikkiaan 38 eurooppalaista

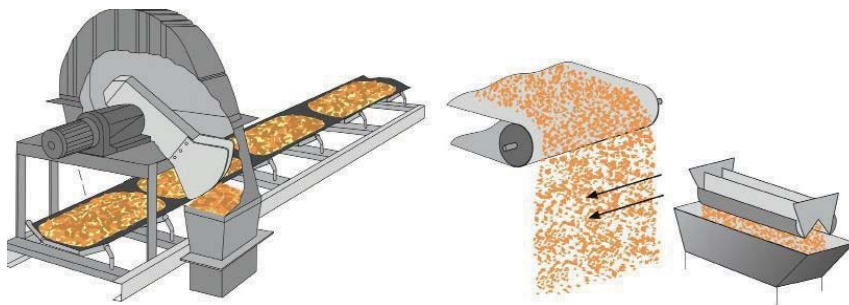
kiinteiden biopolttoaineiden standardia, joista 27 on käännetty suomeksi. Nämä koskevat terminologiaa, luokitus- ja laadunvarmistusjärjestelmiä, näytteenottoa sekä fysikaalisia, mekaanisia ja kemiallisia testejä. Standardit on julkaistu suomeksi vuosina 2010–2012. Kiinteitä biopolttoaineita koskevat standardit kuuluvat polttoaineiden ryhmään 75.160. (www.sfs.fi).

EU:ssa on vuosina 2011–2014 toteutettu Euroopan komission *Älykäs Energiahuolto* -ohjelman osana SolidStandards-projektia, jonka tarkoituksena on ollut edistää kiinteiden biopolttoaineiden laatu- ja kestävä kehityksen standardien käyttöönottoa ja standardien ja sertifiointijärjestelmien kehittämistä. Projektissa on järjestetty muun muassa koulutustilaisuuksia alan toimijoille. Koulutus on sisältänyt käytännön opastuksen lisäksi myös näytteenottostandardien sekä tärkeimpien fysikaalisten ominaisuuksien määrittämiseen liittyvien standardien esittelyn. (www.vtt.fi)

Näytteenotto puupolttoaineiden laadun määrittämiseksi

Näytteenotolla suuresta materiaalierästä erotetaan osa analyysiä tai muuta toimenpidettä varten. Kaiken näytteenoton tavoitteena on saada suurestakin materiaalierästä niin sanottu edustava näyte, joka vastaa ominaisuuksiltaan alkuperäistä materiaalierää. Edustavassa näytteenotossa jokaisella näyttemateriaalin osalla on yhtä suuri todennäköisyys tulla otetuksi näytteeseen. Käytännössä puupohjaisten polttoaineiden epähomogeenisuudesta johtuen edustavan näytteenoton periaatteiden noudattaminen voi olla vaikeaa. Näytteenotto aiheuttaa suurimman osan analyysitulosten epätarkkuuksista. Siksi näytteenottoon olisi kiinnitettävä erityistä huomiota.

Puuperäisten polttoaineiden näytteenotossa voidaan käyttää koneellisia tai manuaalisia menetelmiä. Koneellisilla menetelmillä päästään näytteen edustavuuden kannalta parempaan tulokseen, koska nämä menetelmät mahdollistavat näytteenoton jatkuvasta polttoainevirrasta (kuva 1).



KUVA 1. Näytteenottoa jatkuvasta polttoainevirrasta (mukailien Puupolttoaineiden laatuohje 2013, 30)

Manuaalisessa näytteenotossa näytteet otetaan näytteenottovälineillä kuljetinjärjestelmistä, kuormasta putoavasta polttoainevirrasta tai polttoainekasasta. Näytteenottaja ei saa valikoida yksittäisnäytteeseen tulevaa materiaalia, vaan kaikenkokoisilla kappaleilla ja myös epäpuhtauksilla tulee olla mahdollisuus tulla otetuksi näytteeseen (Puupolttoaineiden laatuohje 2013, 33).

Näytteenotolla saadut yksittäisnäytteet yhdistetään kokoomanäytteiksi, jotka toimitetaan analysoitavaksi laboratorioon. Laboratorioon tuodun näytteen määrää pienennetään laboratorio- ja analyysinäytteiksi. Eri käsittelyvaiheissa näytteitä sekoitetaan ja jaetaan standardiohjeiden mukaan. Analyysinäytteen tekemiseksi näytepartikkeleiden kokoa joudutaan pienentämään esimerkiksi murskaamalla tai leikkaamalla. Näytteen käsittelyn ja varastoinnin aikana tulee huolehtia siitä, että näytteen kosteuspitoisuus tai hienoainepitoisuus ei muutu, eikä näyte saa päästä lämpenemään tai kuivumaan.

Analyysiin tarvittava näytemäärä vaihtelee suuresti määrityksen luonteesta riippuen. Alkuaineanalyyseissä yhtä mittausta varten näytettä tarvitaan vain joitakin milligrammoja, lämpöarvon määrityksessä noin gramma ja kosteus- pitoisuuden määrityksessä noin 300 g. Fysikaalisten ominaisuuksien määritykset vaativat huomattavasti enemmän näytettä (taulukko 1). Näytteen edustavuuden takaamiseksi laboratorioon toimitettava näytemäärä on huomattavasti analyysin vaatimaa määrää suurempi. Analyysin laadun varmistamiseksi samasta näytteestä tehdään useita rinnakkaismäärityksiä.

TAULUKKO 1. Näytemäärät tyypillisiin analyysiin (Alakangas 2000, 37)

Analyyssit	Näytemäärä
Lämpöarvo, tuhka, alkuaineet (C,H, N, S)	n. 2 litraa
Kosteus	n. 2 litraa tai vähintään 300 g kosteaa näytettä
Irtotiheys	n. 70 litraa
Palakoko	vähintään 8 litraa

Polttoaineiden analyysit

VTT:n julkaisemat *Puupolttoaineiden laatuohje, VTT-M-07608-13* ja *Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia* opastavat polttoaineiden ominaisuuksien ja polttoaineesta tehtävien analyysien ja määrittymenettelmien valinnassa. Tyypillisiä polttoaineista analysoitavia ominaisuuksia ovat muun muassa tiheys, palakoko, kosteus, tuhka, lämpöarvo ja alkuainekoostumus (Alakangas 2000, 28). Lisäksi voidaan tarvita tietoja esimerkiksi raskasmetallipitoisuuksista ja poltossa syntyvän tuhkan määrästä ja ominaisuuksista.

Irtotiheyden määrittäminen

Polttoaineen irtotiheys määritetään standardin SFS-EN 15103 mukaan. Määrittämisessä käytetään tilavuudeltaan 50 litran astiaa, mikä punnitaan ensin tyhjänä 10 g:n tarkkuudella. Astia täytetään polttoaineella yli reunojen kaatamalla sitä 20–30 cm:n korkeudelta. Massan tiivistämiseksi astiaa tärätetään puulevyä vasten ja mahdollisesti syntynyt tyhjä tila täytetään käsiteltävänä olevalla polttoaineella. Ylimääräinen aines poistetaan, niin että tilavuus on tasan 50 litraa. Massalla täytetty säiliö punnitaan uudelleen. Käsitteily toistetaan tuloksen laadun varmistamiseksi useampaan kertaan.

Palakoon määrittäminen

Palakoon määrittämisessä tehdään standardin SFS-EN 15149 osa 1 tai 2 mukaan. Näyte seulotaan seulasarjan läpi, jolla palat lajitellaan aleneviin kokoluokkiin mekaanisesti. Seulasarjassa suurimman reikäkoon seula on ylinnä ja pienimmän reikäkoon seula alinna.

Kosteuden määrittäminen

Kiinteiden biopolttoaineiden kosteuden määrittäminen kuvataan standardissa SFS-EN 14774 (osat 1, 2 ja 3). Määrittäminen tapahtuu kuivaamalla näytettä uunissa vakio painoon. Puupolttoaineiden kuten muidenkin biomateriaalien kohdalla termi kosteuspitoisuus voi osaltaan olla harhaanjohtava, koska käsittelemätön biomassa sisältää haihtuvia yhdisteitä (uuteaineita), jotka haihtuvat yhdessä veden kanssa määrittäessä kosteuspitoisuutta uunikuivausmenetelmällä. Biopolttoaineiden kosteuspitoisuus vaihtelee ilmankosteuden vaihdellessa. Tämän vuoksi analyysinäytteiden kosteus tulisi aina määrittää samanaikaisesti, kun näytettä punnitaan muita analyttisiä määrittämiä, esim. lämpöarvon määrittäystä varten. (www.sales.sfs.fi.)

Tuhkapitoisuuden määrittäminen

Tuhkapitoisuus määritetään standardin SFS-EN 14775 mukaan. Näytettä kuivutetaan uunissa, jonka lämpötila nostetaan +815 °C:een. Polton aikana vesi haihtuu, kaikki orgaaninen materiaali palaa ja näytteestä jäävät jäljelle sen sisältämät epäorgaaniset yhdisteet. Syntyneestä tuhkasta voidaan määrittää muun muassa raskasmetalleja ja tuhkan sulamiskäyttäytymistä. Älykäs ympäristö -hanke rahoitti NABEL V15 -hehkusuuin hankinnan (kuva 2). Tuhkan määrittämisessä on olennaista, että uunin lämpötila nostetaan vähitellen tuhkastuslämpötilaan. Tässä uunissa lämpötilan nousunopeus lopulämpötilaan on vapaasti ohjelmoitavissa.



KUVA 2. Nabel-hehkutusuuni (kuva Marjatta Lehesvaara)

Lämpöarvon määrittäminen

Standardissa SFS-EN 14918 annetaan ohjeet polttoaineen kalorimetrinen lämpöarvon eli ylempään lämpöarvon määrittämiseksi. Älykäs ympäristö -projektissa hankittiin lämpöarvon määrittystä varten Parr 6200 -pommikalorimetri (kuva 3). Analysoitava näyte puristetaan noin yhden gramman painoiseksi tabletti, mikä suljetaan ruostumattomasta teräksestä valmistettuun astiaan ”pommiin”. Pommi upotetaan vesisäiliöön ja näytetabletti poltetaan pommissa happilyipaineessa. Poltossa vapautuva lämpöenergia siirtyy pommia ympäröivään veteen aiheuttaen siinä lämpötilan nousun, jota laite mittaa. Lämpötilan muutoksen avulla voidaan laskea vapautuva lämpömäärä. Laite kalibroidaan käyttäen standardinäytettä (esim. bentsoehappoa), minkä lämpöarvo tunnetaan tarkasti.



KUVA 3. Parr 6200 -pommikalorimetri (kuva Marjatta Lehesvaara)

Lämpöarvon määrittäminen voidaan tehdä joko absoluuttisen kuivasta (105 °C:ssa 16–24 h kuivatusta) tai ilmakehän kuivasta materiaalista. Näytteen kosteus on kuitenkin määritettävä. Palamisessa syntyy vettä polttoaineen sisältämästä vedystä, ja tämän veden höyrystymiseen tarvittava energia on otettava huomioon, kun ilmoitetaan polttoaineen tehollinen eli alempi lämpöarvo. (Kuokkanen et al. 2000, 4.)

Alkuainemääritykset (C, H, N, S)

Hiilen, vedyn, typen ja rikin prosentuaaliset osuudet polttoaineessa voidaan määrittää orgaanisten yhdisteiden analysointiin tarkoitettulla alkuaineanalysaattorilla. Näitä määrittämiä varten Älykäs ympäristö -hankkeessa hankittiin PerkinElmer 2400 CHNS/O -alkuaineanalysaattori (kuva 4). Näyte poltetaan puhtaassa hapessa. Palamisessa syntyneet kaasut kerätään talteen, erotetaan, detektoidaan ja mitataan lämmönjohtokykydetektorilla.



KUVA 4. PerkinElmer 2400 CHNS/O -alkuaineanalysaattori (kuva Marjatta Lehesvaara)

Standardissa SFS-EN 15104 “Solid biofuels. Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen. Instrumental methods” määritellään vaatimukset kiinteiden biopolttoaineiden hiili-, vety- ja typpipitoisuuksien määrittämiseen tarkoitettuille laitteille. Näiden alkuaineiden luotettava analysointi on tärkeää polttoaineiden laadun määrittämiseksi ja energiatuotannon ympäristövaikutuksiin liittyvien vaikutusten arvioimiseksi. Polttoaineen hiilipitoisuus täytyy tietää arvioitaessa poltosta aiheutuvia CO₂-päästöjä, ja typpipitoisuus, kun määritetään polton NO_x-kuormaa. Vetytitoisuus tulee olla selvillä, kun lasketaan polttoaineen tehollista lämpöarvoa.

Yhteenveto

Polttoaineiden saatavuus ja laatu liittyvät maailmanlaajuisiin väestö-, energia- ja ilmastokysymyksiin ja biopolttoaineiden käyttöä edistetään myös lainsäädännön kautta. Kiinteille biopolttoaineille asetetut laatuvaatimukset voivat vaihdella asiakaskohtaisesti, mutta laadun on oltava aina käyttäjän tarpeiden mukainen (Metla 2013). Eurooppalaiset standardit on laadittu siten, että ne soveltuvat mahdollisimman laajalle joukolle eurooppalaisia biopolttoaineita ja edistävät bioenergian hyödyntämistä sekä auttavat taloudellista biopolttoaineiden kauppaa. Standardiohjeiden noudattaminen varmistaa polttoaineen laadun koko toimitusketjussa.

LÄHTEET

Alakangas, Eija 2000. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion tieteellinen tutkimuskeskus VTT.

Kuokkanen, Matti, Kolppanen Reetta, Kuokkanen Toivo 2011, Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen. PDF-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 15.11.2014.

Puupolttoaineiden laatuohje 2013. VTT-M-07608-13. Bioenergia, Energiateollisuus, Metsäteollisuus. PDF-dokumentti. <http://www.metsateollisuus.fi/mediabank/918.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 11.11.2014.

Metlan työraportteja 275. www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp.htm

www.sales.sfs.fi Luettu 15.11.2014.

www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiset/standardit_kiinteiden_biopolttoaineiden_kaupan_tueksi_valmiit.1251.news Luettu 15.11.2014.

SFS-EN 14774-1 Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 1: Kokonaiskosteus. Vertailumenetelmä.

SFS-EN 14774-2 Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä.

SFS-EN 14774-3 Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 3: Yleisen analyysinäytteen kosteus.

SFS-EN 14775 Kiinteät biopolttoaineet. Tuhkapitoisuuden määrittäminen.

SFS-EN 14918:en Biopolttoaineet. Lämpöarvon määrittäminen. Solid biofuels. Determination of calorific value.

SFS-EN 15104 Solid biofuels. Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen. Instrumental methods.

SFS-EN 15149-1 Kiinteät biopolttoaineet. Palakokojakauman määrittäminen. Osa 1: Täryseulamenetelmä (oskilloiva) käyttäen 1 mm ja sen yli meneviä seulan aukkoja.

SFS-EN 15149-2 Kiinteät biopolttoaineet. Palakokojakauman määrittäminen. Osa 2: Täryseulamenetelmä (värähtelevä) käyttäen 3,15 mm ja sen alle meneviä seulan aukkoja.

www.vtt.fi/news/2013/09042013_hakestandardit.jsp Luettu 16.11.2014

POMMIKALORIMETRIN KÄYTTÖÖNOTTO ÄLYKÄS YMPÄRISTÖ -HANKKEESSA

Marjatta Lehesvaara & Sari Seppäläinen

Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastosta rahoittamalla *Älykäs ympäristö bioenergian tutkimus- ja innovaatiotoiminnalle* -hankkeella (Älykäs ympäristö) on investoitu Mikkelin ammattikorkeakoulun Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen bioenergiantuotannon innovaatio- ja tutkimusympäristöön. Hankkeessa ovat olleet mukana Mikkelin Ammattikorkeakoulu Oy, Etelä-Savon Energia Oy, Miktech Oy, Metsäsairila Oy, Juvan Bioson Oy, Tassu ESP Oy ja Suur-Savon Energiasäätö. Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorioon on hankittu muun muassa biopolttoaineen laadun analysointiin käytettäviä laitteita, esim. pommikalorimetri, jota käytetään polttoaineiden lämpöarvojen määrittämiseen. Hankkeen aikana toteutettiin pommikalorimetrin käyttöönotto ja koekäyttö. Uuden laitteen ja menetelmän käyttöönotossa on tarkistettava muun muassa mittauksen oikeellisuus (tarkkuus) ja toistettavuus. Pommikalorimetrisissä mittauksissa tämä toteutetaan määrittämällä tunnetun näytteen ja erilaisten näytemateriaalien lämpöarvoja useina rinnakkaismäärittäyksinä. Standardin CEN/TS 15400 mukaan rinnakkaismäärittysten kalorimetriset lämpöarvot eivät saa poiketa toisistaan yli 0,120 MJ/kg.

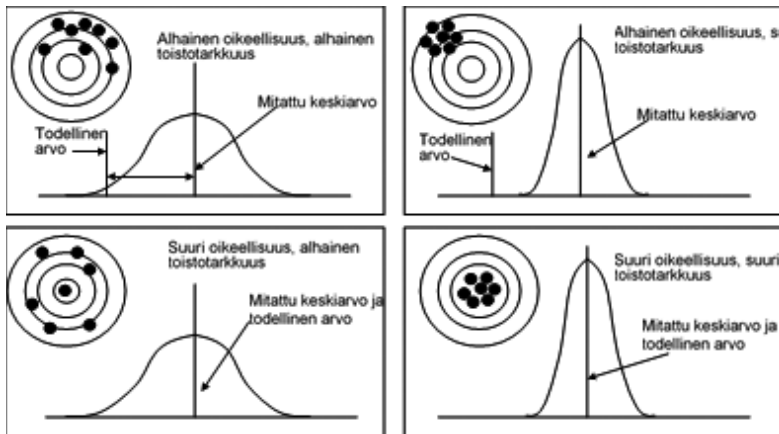
Määrittystulokseen vaikuttavia tekijöitä

Analyysi- tai mittaustulokseen liittyy aina virhe. Laboratoriotyöskentelyssä virhe koostuu systemaattisesta ja satunnaisesta virheestä. Systemaattisen virheen esiintyessä analyysitulokset ovat systemaattisesti joko pienempiä tai suurempia kuin analysoitavan näytteen todellinen arvo. Tyypillisiä systemaattisia virheitä aiheuttavat näytteessä tapahtuvat muutokset näytteenoton ja analyysin välisenä aikana, näytematriisista johtuvat häiritsevät tekijät ja laitteistosta aiheutuvat virheet. Satunnaisvirheet voivat aiheutua useista eri tekijöistä, esimerkiksi ympäristön lämpötilan ja kosteuden muutoksista, satunnaisista laitteiden toimintahäiriöistä ja analyysiä tekevän henkilön työskentelyta-voista. Analyytisessä työskentelyssä esiintyvä virhe on kumuloituva. Tämän vuoksi kaikissa työvaiheissa tulee pyrkiä mahdollisimman suureen tarkkuuteen. Analyysilaitteistosta aiheutuvia virheitä tuloksiin voidaan estää laitteiston huolto- ja kunnossapitotoimenpiteillä sekä laitteen tarkalla kalibroinnilla.

Pommikalorimetri kalibroidaan käyttäen noin 1 gramman painoisia bentsoehappotabletteja. Bentsoehapon palaessaan luovuttama energiamäärä tiedetään tarkasti (26,454 MJ/kg).

Määrityksen oikeellisuus, toistotarkkuus ja toistettavuus

Oikeellisuus kuvaa määrittämisen systemaattisten virheiden osuutta ja toistotarkkuus satunnaisia virheitä (kuva 1). Oikeellisuus selvitetään vertaamalla saatuja mittaustuloksia vertailu- tai referenssiarvoon, joka on saatu tunnetusta vertailumateriaalista tai mitattu näytteestä toisen menetelmän avulla. Paras vertailumateriaali olisi matriisiltaan näytteen kanssa saman tyyppinen sertifioitu vertailumateriaali, mutta tällaisten materiaalien saatavuus on useimmiten rajoitettua. Tällaisen materiaalin puuttuessa voidaan mittaus- tai analyysimenetelmän oikeellisuutta tutkia vertaamalla samasta näytteestä eri laboratorioissa saatuja tuloksia keskenään eli tehdä laboratorioitten välisiä vertailututkimuksia. Oikeellisuuden määrittämiseksi analysoidaan samaa vertailumateriaalinäytettä useita kertoja (esimerkiksi 6–10 kertaa) samalla tavoin. Tuloksista lasketaan keskiarvo, keskihajonta ja vaihtelukerroin (%). Mittauksen oikeellisuus prosenttina saadaan jakamalla mittaustuloksista laskettu keskiarvo vertailumateriaalin tunnetulla mittaustuloksella kerrottuna sadalla. (Kemian metrologian opas 2005, 35.)



KUVA 1. Menetelmän oikeellisuuden ja toistotarkkuuden välinen ero (mukaillen Kemian metrologian opas 2005)

Toistettavuus tarkoittaa täsmällisyyttä, joka saavutetaan, kun määrittäminen tehdään toistettavissa olosuhteissa lyhyellä aikavälillä. Toistettavuus pystytään määrittämään, kun samaa näytettä analysoidaan samoissa olosuhteissa useita

kertoja. Kuten edellä tuloksista lasketaan keskiarvo ja keskihajonta. Tulosten keskihajonta kuvaa toistotarkkuutta. Lämpöarvon määrittämisessä näyttemateriaalin luonnollisesta epähomogeenisuudesta johtuen näytteenottoon ja näytteen esikäsittelyyn (muun muassa näytekoon pienennys, hienontaminen) tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Lämpöarvomääritykset

Lämpöarvo kertoo, kuinka paljon täydellisessä palamisessa kehittyvä lämpöä polttoaineen massayksikköä kohti. Lämpöarvo ilmoitetaan kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden kohdalla tavallisesti megajouleina polttoainekiloa kohti, MJ/kg. Lämpöarvo voidaan ilmoittaa kalorimetrisenä eli ylempänä lämpöarvona, tehollisena eli alempana lämpöarvona tai tehollisena lämpöarvona saapumistilassa.

Kalorimetrinen lämpöarvo osoittaa palamisessa vapautuvan energian kokonaismäärän, joka on riippumaton puun kosteudesta. Koska veden höyrystymisenergia lasketaan mukaan, kalorimetrinen lämpöarvo on aina muita lämpöarvoja suurempi. (Alakangas 2000, 28.)

Tehollista lämpöarvoa laskettaessa huomioon otetaan polttoaineen sisältämästä vedystä muodostuvan veden höyrystämiseen tarvittava energia. Suomessa lämpöarvot ilmoitetaan yleensä tehollisena lämpöarvona, joka kuvaa polttoaineen ominaisuutta parhaiten. (Alakangas 2000, 29.)

Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on lämpöarvoista alhaisin. Lämpöarvoa laskettaessa vähennetään energiamäärä, joka kuluu näytteen sisältämän ja palamisessa muodostuneen veden haihtuun. Saapumistilan lämpöarvo kuvaa todellista energiamäärää, joka saadaan kun näyte poltetaan. (Alakangas 2000, 29.)

Pommikalorimetria

Pommikalorimetriassa mitataan lämpöenergiaa, kun näyte poltetaan polttokammiossa happi-ilmakehässä 30 baarin paineessa. Polttokammio on sijoitettu vakioilavuudessa olevaan vesisäiliöön, joten sisäenergian muutos on sama kuin vapautuva lämpömäärä. Tapahtuva lämpötilan muutos on suhteessa lämpöön, jonka reaktio vapauttaa tai sitoo. Polton seurauksena tapahtuva lämpöenergian siirtyminen pommia ympäröivään veteen aiheuttaa siinä lämpötilan nousua, jota laite mittaa. Polttokammion sisällä on näyteupokas, johon poltettava näyte asetetaan. Näyte sytytetään langan avulla, joka kulkee elektrodista näytteeseen. Elektrodien kautta kulkeva sähkövirta sytyttää langan, joka sytyttää varsinaisen näytteen.

Näytteiden analysointi ja tulokset

Pommikalorimetrin toimintaa testattiin kalibrintinäytteen (bentsoehappo) lisäksi neljällä eri näytemateriaalilla. Materiaalit olivat Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan voimalaitokselta saadut puuhake ja turve, Mamkin ravintola Tallin keittiön energijäte sekä torrefoitu eli lämpökäsitelty puupelletti (kuva 2). Lämpöarvot määritettiin kaikista laboratorionäytteistä vähintään kymmenellä rinnakkaismäärityksellä. Lisäksi jokaisen määrityskerran yhteydessä ajettiin bentsoehappotabletteja laitteen tarkistusta varten.



KUVA 2. Testauksessa käytetyt materiaalit ennen näytteiden esikäsittelyä. Ylhäältä vasemmalta alkaen puuhake, turve, energijäte ja torrefoitu puupelletti. (kuvat Sari Seppäläinen)

Puuhake ja pellettinäytteet esikäsiteltiin murskaamalla näytteitä IKA A11 -murskaimella käyttäen leikkaavaa terää. Energijäte murskattiin ensin Retsch SM 2000 -murskaimella, jonka jälkeen hienonnettiin IKA A11 -murskaimella (kuva 2). Turvenäytettä ei käsitelty, vaan määritykset tehtiin suoraan näytteestä. Pommikalorimetrissä olevan korkean paineen takia jauhemainen, kuiva näyte saattaa syttyä räjähtäen ja vioittaa kalorimetriä. Tämä takia jauhemaiset näytteet tulee aina puristaa tabletksi.



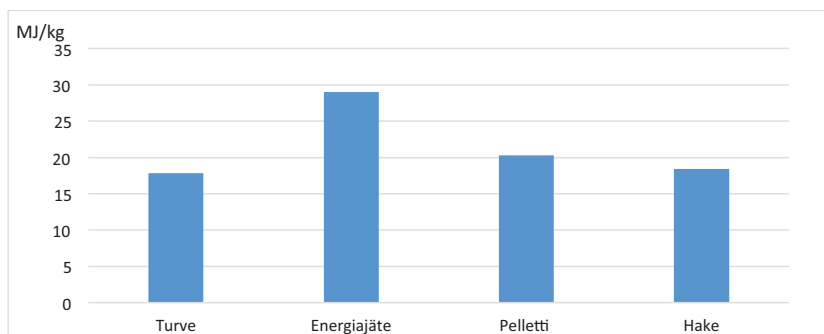
KUVA 3. Energiajäte, puupelletti, puuhake ja turve esikäsittelyn jälkeen (kuva Sari Seppäläinen)

Näytteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus kolmena rinnakkaismäärityksenä. Näytteet kuivattiin 105 °C:n lämpötilassa yön ylitse. Energiajäte kuivattiin 50 °C:n lämpötilassa, ettei näytteessä oleva muovi sulaisi. Taulukossa 1 on näytteiden kuiva-ainepitoisuudet.

TAULUKKO 1. Näytteiden kuiva-ainepitoisuudet

Näyte	Kuiva-aine (%)
Torrefoitu puupelletti	96,0
Energiajäte	98,2
Hake	94,4
Turve	85,4

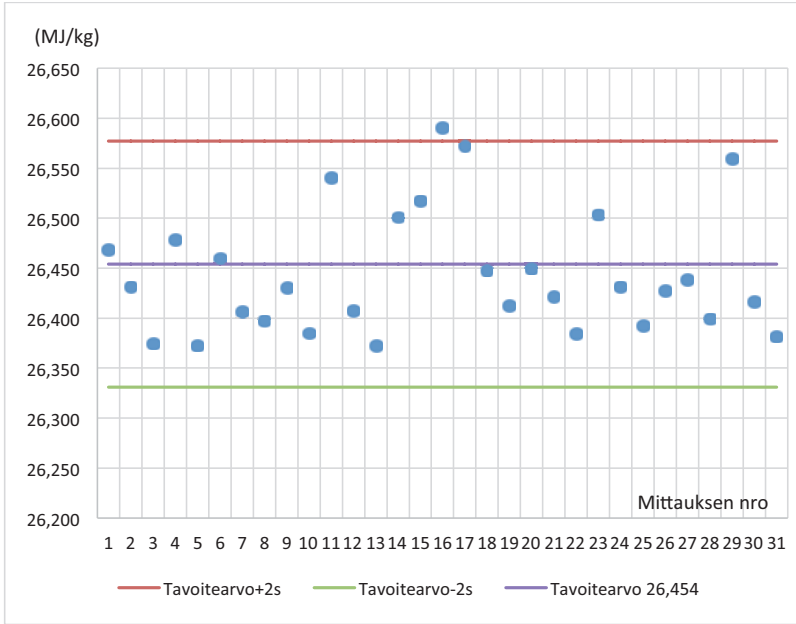
Testatuista näytteistä energiajätteen kalorimetrisen lämpöarvo oli korkein, 29,0 MJ/kg. Pelletin lämpöarvo oli 20,3 MJ/kg, turpeen lämpöarvo 17,8 MJ/kg ja hakkeen 18,4 MJ/kg (kuva 4).



KUVA 4. Näytteiden kalorimetriset lämpöarvot (MJ/kg)

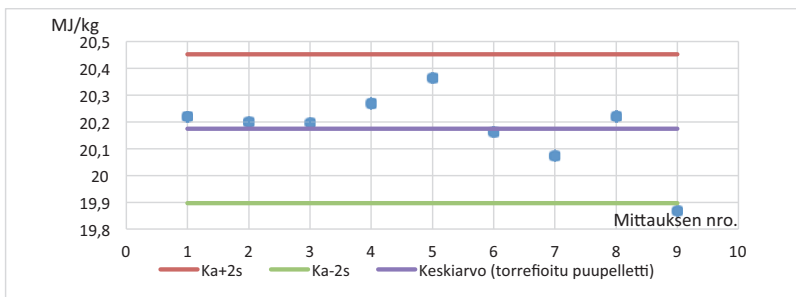
Mittausten tarkkuus ja toistettavuus

Kontrollinäytteenä käytetyn bentsoehapon teoreettinen kalorimetrinen lämpöarvo on 26,454 MJ/kg. Mittaustuloksista laskettiin keskiarvo (ka) ja keskihajonta (s). Yhtä mittaustulosta lukuun ottamatta tulokset ovat sallittujen virherajojen ($ka + 2s$ ja $ka - 2s$) sisällä (kuva 5).

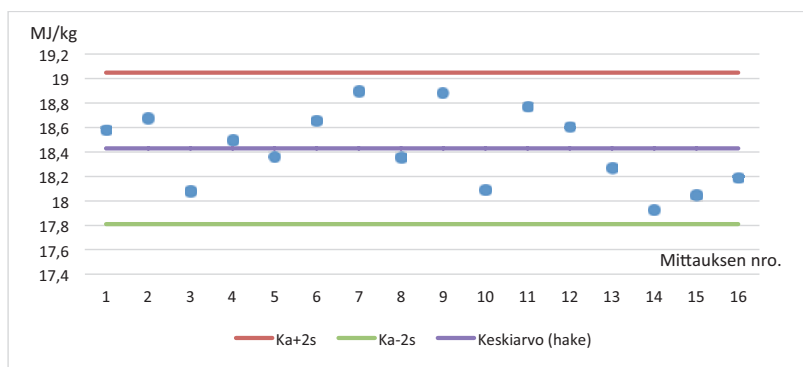


KUVA 5. Bentsoehapon kalorimetrinen lämpöarvon mittaustulokset

Myös testauksissa käytettyjen näytteiden mittaustuloksista laskettiin keskiarvo ja keskihajonta (kuvat 6–9). Torrefioidun puupelletin kymmenestä rinnakkaismäärittäyksestä yksi määrittäminen oli laskettujen virherajojen ulkopuolella (kuva 6).

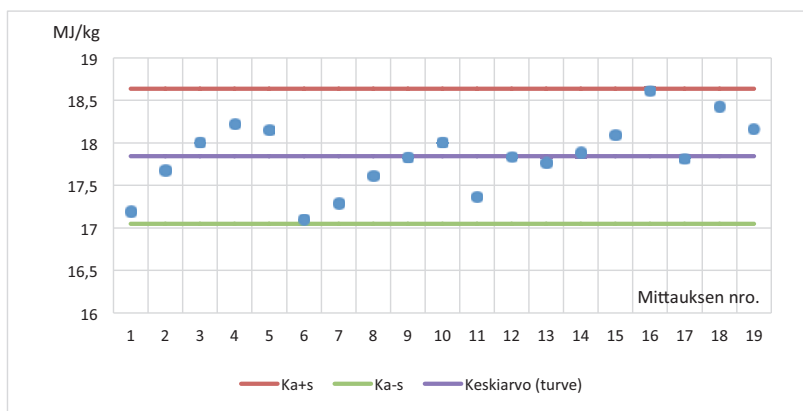


KUVA 6. Torrefioitujen puupellettien kalorimetrinen lämpöarvo
Hakkeesta tehtiin 16 rinnakkaismäärittäystä, joista kaikki olivat laskettujen virherajojen sisällä. Kuvassa 7 on hakkeen kalorimetrinen lämpöarvo.



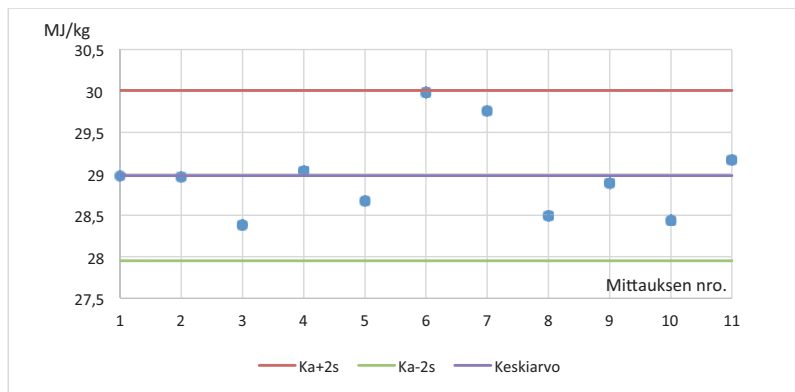
KUVA 7. Hakkeen kalorimetrinen lämpöarvo

Kuvassa 8 on esitetty turpeen kalorimetrinen lämpöarvo. Kaikki turpeen 19 rinnakkaismäärittäyksestä saadut tulokset olivat laskettujen virherajojen sisällä.



KUVA 8. Turpeen kalorimetrinen lämpöarvo

Energiajätteestä tehtiin 11 rinnakkaismäärittystä, joista yhden tulos oli ylemmällä lasketulla virherajalla (kuva 9). Muut määrittäytulokset olivat laskettujen virherajojen sisällä.



KUVA 9. Energiajätteen kalorimetrinen lämpöarvo

Lähes kaikki mittaustulokset ovat asetettujen rajojen sisällä. Yksittäisen näytteen poikkeama johtuu satunnaisvirheestä (esimerkiksi häiriö palamisprosessissa). Mittausten perusteella voidaan todeta, että laitteistolla päästään vaadittuun tarkkuuteen ja toistettavuuteen.

LÄHTEET

Alakangas Eija. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo 2000. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2045. 172 s. ISBN 951-38-5699-2.

Ehder Tapio (toim.) 2005. Kemian metrologian opas. Julkaisu J6/2005. Metrologian neuvottelukunta.

Hämäläinen, Essi, Heinimö, Jussi. 2006. Esiselvitys puupolttoaineen jalostamisesta torrefiointiteknikalla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Tutkimusraportti EN B-170.

CEN/TS 15400. Kierrätyspolttoaineet. Lämpöarvojen määrittäminen, Suomen Standardisoimisliitto ry, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

ENERGIANTUOTANTO- LAITOKSEN VAIKUTUKSET ALUEEN LÄHIYMPÄRISTÖÖN

Petra Kivistö & Hanne Soininen

Energian tuotannossa suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuvat tämän päivän käsityksen mukaan ilmaan päästetyistä päästöistä eli savukaasuista. Energiantuotannon päästöjä ilmaan ovat muun muassa happamoittavat typen ja rikin oksidien sekä ammoniakkin päästöt ja hiukkaspäästöt.

Tämä artikkeli on lyhennelmä Petra Kivistön opinnäytetyöstä, jonka tavoitteena oli selvittää Etelä-Savon Energia Oy:n Pursialan voimalaitoksen vaikutuksia lähialueen ympäristöön. Erityisesti laitoksen lähiympäristön ilmanlaatu sekä laitoksen toiminnasta aiheutuva melu olivat tarkastelun kohteena. Tutkimus toteutettiin osana EU-rahoitteista *Älykäs ympäristö bioenergian tutkimus ja innovaatiotoiminnalle* -hanketta.

Käytetyt materiaalit ja menetelmät

Käytettyjen tutkimusmenetelmien avulla arvioitiin ilmanlaatua voimalaitoksen lähialueilla. Yleiseen viihtyvyyteen vaikuttavaa melutasoa määritettiin äänitasomittauksilla. Tutkimusmenetelminä oli leijuvan pölyn määrittäminen ilmasta tehokeräysmenetelmällä standardin SFS 3836 mukaisesti ja kuukausilaskeuman määrittäminen laskeumankeräimellä standardin SFS 3865 mukaisesti. Lisäksi otettiin luminäytteitä ja mitattiin ilman hiukkaspitoisuuksia. Mittaukset tehtiin 30.1.2014–7.4.2014.

Kokonaisleijumamittaukset suoritettiin kuvan 1 mukaisella tehokeräinlaitteistolla. Tehokeräysmenetelmällä voidaan määrittää ulkoilmassa leijuvan pölyn massakonsentraatio eli kokonaisleijuma (Alaviippola ym. 2007, 17). Tehokeräimet oli sijoitettu Kenkäveronniemeen sekä Rauhaniemen asuinalueelle.



KUVA 1. Mittauksissa käytetty teho-keräin (kuva Petra Kivistö)

Standardin SFS 3865 mukaisella laskeumanmäärityksellä määritettiin kuukauden aikana painovoiman vaikutuksesta keräimeen laskeutunut ilmakehän pöly eli laskeuma. Laskeumanmääritysstandardia käytettiin myös luminäytteiden analysointiin. Menetelmää voidaan käyttää ilmanlaadun ja likaantuneisuuden arvioinnissa sekä epäpuhtauksien leviämisen selvittämisessä.

Standardin mukaisesti määritettiin kuukausilaskeuma laskeumankeräimellä otetuilla näytteillä sekä standardiin kuulumattomilla luminäytteillä. Älykäs ympäristö -hankkeessa hankitut laskeumankeräimet oli sijoitettu Rauhaniemeen sekä Kenkäveronniemeen. Luminäytteet otettiin neljästä mittauspisteestä Rauhaniemestä, Kenkäveronniemestä, Kaihulta sekä Salosaaresta. Kuvissa 2 on laskeumanäytteenottovälineistöä.



KUVA 2. Rauhaniemen ja Kenkäveronniemen laskeumankeräimet kahdesta eri kuvakulmasta (vasemmalla) sekä luminäytteenottovälineistö (oikealla) (kuvat Petra Kivistö)

Hiukkasmittaukset suoritettiin kuvassa 3 vasemmalla puolella olevalla P-Trakilla ultrapienien hiukkasten määrittämiseksi ja kuvassa oikealla puolella olevalla AeroTrakilla pienhiukkasten määrittämiseksi. Mittaukset suoritettiin kaikissa neljästä mittauspisteessä Rauhaniemessä, Kenkäveronniemessä, Kaihulla sekä Salosaassa.



KUVA 3. Kuvassa vasemmalla P-Trak ja oikealla AeroTrak (kuvat Petra Kivistö)

Äänitasomittaukset suoritettiin Rauhaniemen asuinalueella. Mittauksia tehtiin neljänä eri päivänä ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston ohjeen 1/1995 mukaisesti. Käytetty melunmittauslaitteisto on kuvassa 4. Kuvan taustalla näkyy äänitasomittarin takana Pursialan voimalaitos.



KUVA 4. Melunmittauslaitteisto sijoitettuna Rauhaniemen asuinalueelle (kuva Petra Kivistö)

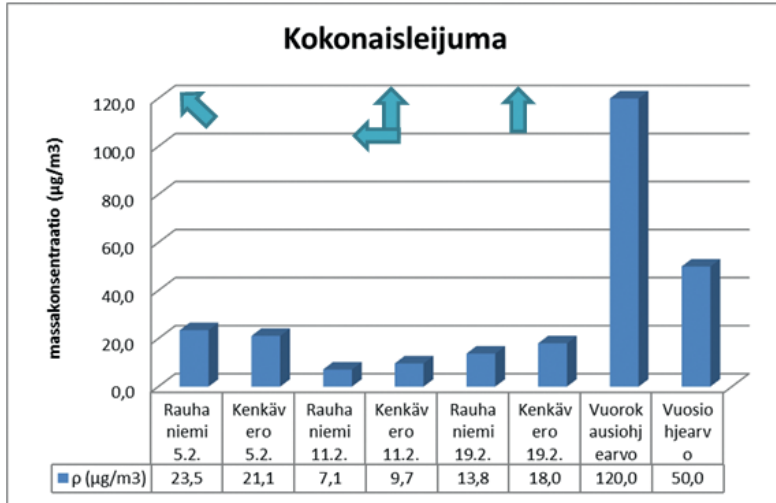
Näytteiden analysointi

Kokonaisleijumamittausten näytteet analysoitiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa standardin SFS 3863 mukaisesti. Laskeumanäytteiden elohopea- ja kadmiumpitoisuudet määritettiin DIN EN 1483/DIN EN ISO 12846 mukaisesti ja laskeumankeräinnäytteiden epäorgaaninen ja orgaaninen kokonaislaskeuma määritettiin standardin SFS 3865/1978 mukaisesti Eurofins-laboratoriossa. Myös luminäytteiden elohopea- ja kadmiumpitoisuudet määritettiin standardien DIN EN 1483/DIN EN ISO 12846 mukaisesti Eurofinsillä. Luminäytteiden pH sekä nitraatti- ja nitriittityppi määritettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa.

PH-arvon määrittäminen tehtiin lasielektrodilla varustetulla MotorLab PHM 210 pH-mittarilla. Näytteiden annettiin sulaa huoneenlämpöiseksi ennen määrittämistä. Luminäytteiden nitriittityppimääritykset tehtiin standardin SFS 3029 mukaan. Näytteiden analysointi suoritettiin yli viiden tunnin kuluttua näytteenotosta. Kuukausilaskeumat laskettiin standardin SFS 3865 mukaisesti saaduista laskeumatuloksista.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Tehokeräysmenetelmällä selvitetty ulkoilman leijuvan pölyn kokonaismassa-konsentraation ρ tulokset näkyvät kuvassa 5. Alimpana kuvassa on otettu vertailun vuoksi mukaan myös ilmanlaatuportaalin ilmoittamat EU:n ohjearvot. Ohjearvot eivät ylittyneet mittauksissa.



KUVA 5. Kokonaisleijumatulokset, jossa nuolet kuvaavat mittaushetkellä vallinnutta tuulen suuntaa

Laskeumankeräinten näytteistä saadut laskeumatulokset ovat taulukossa 1. Kenkäveron mittauspisteessä saatiin Rauhaniemeä korkeampi orgaaninen ja epäorgaaninen kokonaislaskeumatulos. Myös kadmiumpitoisuus Kenkäverossa oli korkeampi kuin Rauhaniemessä. Kenkäveron kadmiumpitoisuus ylitti määrittäysrajan, kun taas Rauhaniemen pysyi sen alapuolella. Elohopeapitoisuus ei ylittänyt määrittäysrajaa kummassakaan mittauspisteessä.

TAULUKKO 1. Kokonaislaskeumanäytteiden tulokset

	Menetelmä	Yksikkö	Kenkävero	Rauhaniemi
Orgaaninen ja epäorgaaninen kok.laskeuma	SFS 3865/1978	mg/m ² /kk	0,65	0,22
Elohopea	DIN EN 1483/DIN EN ISO 12846	µg/m ² /kk	<0,1	<0,1
Kadmium	DIN EN ISO 17294-2	µg/m ² /kk	2,31	<0,2

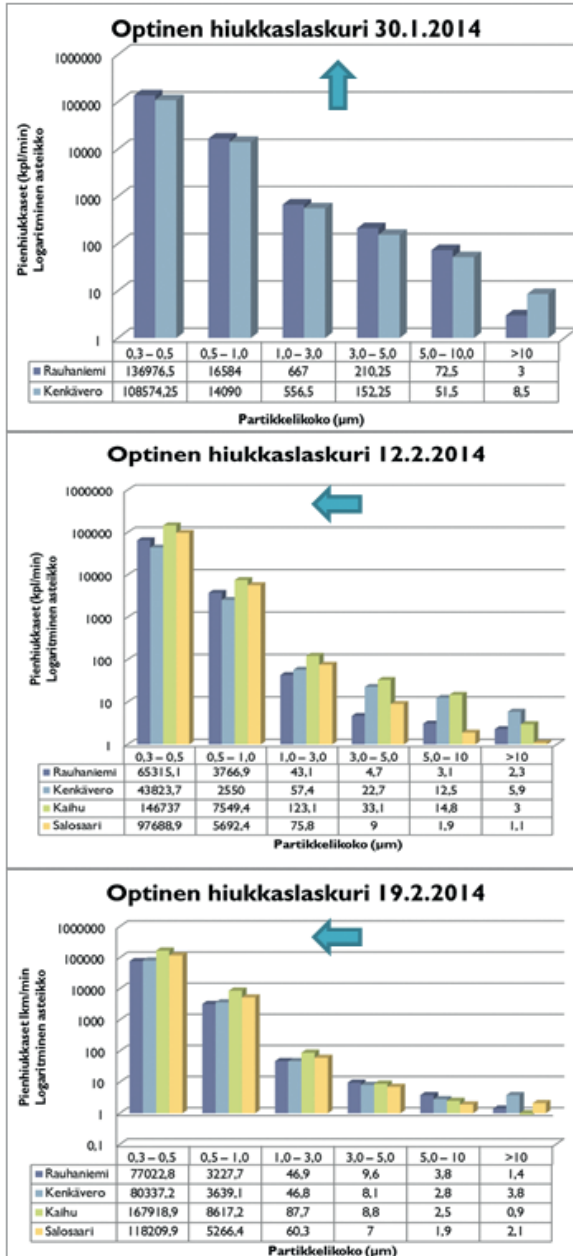
Nitraattityppeä oli hieman näytteissä, tosin hyvin vähän ja arvot olivat lähellä nollanäytteen arvoja. Suurimmat nitriittityppipitoisuudet olivat Kenkäveron mittauspisteessä. Nitriittityppeä näytteissä ei ollut käytännössä lainkaan. Myöskään elohopeaa tai kadmiumia ei todettu. Luminäytteiden tulokset ovat taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Luminäytteiden tulokset

Analyysi	Rauhaniemi	Kenkävero	Kaihu	Salosaari
pH	5,4	4,8	6,4	5,2
Nitraattityppi (ppm/m ² /kk)	4,20	7,32	5,47	5,54
Nitriittityppi (µg/m ² /kk)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Elohopea (µg/m ² /kk) DIN EN 1483	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Kadmium (µg/m ² /kk) DIN EN ISO 17294-2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

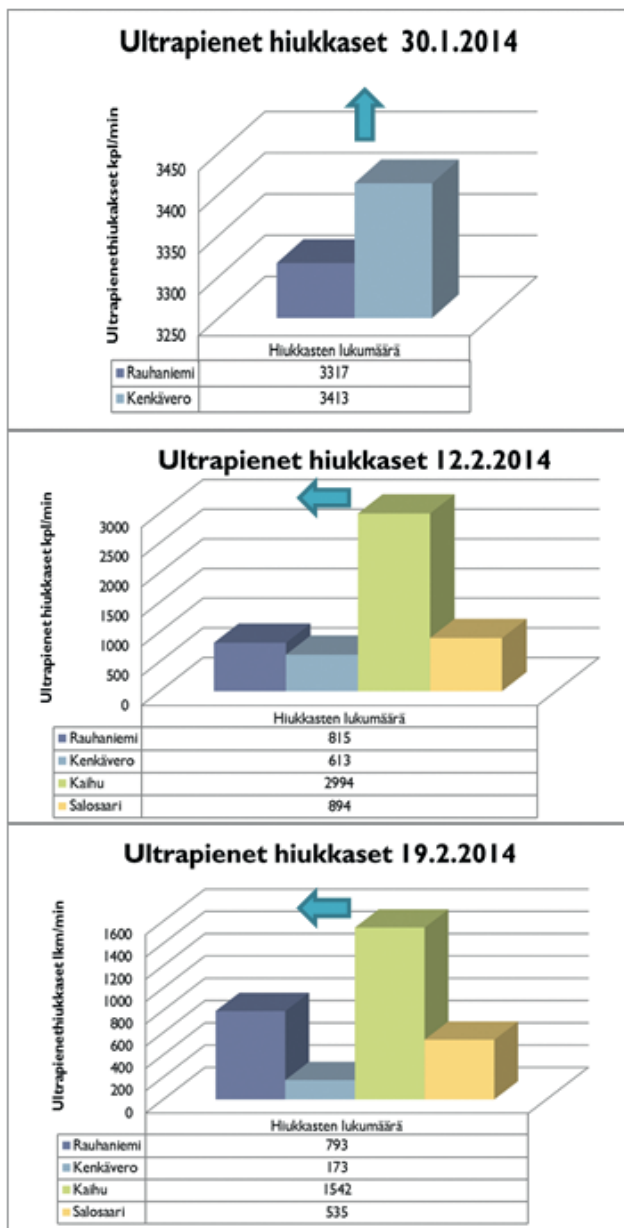
Laskeumanäytteiden tulokset sopivat yhteen talvella 2013–2014 vallinneiden tuulien kanssa, sillä kuluneena talvena tuuli suurimmaksi osaksi etelästä. Pursialan voimalaitoksen pohjoispuolella sijainneessa Kenkäveron mittauspisteessä mitattiin Rauhaniemen mittauspistettä korkeampia pitoisuuksia, joten tehtyjen tulosten perusteella voidaan olettaa Kenkäveroon tulleen saasteita etelästä eli Pursialasta päin. Tämän oletuksen perustana on, että saasteita ei tullut suurempina pitoisuuksina jostakin toisesta, vähemmän tuulisesta ilmansuunnasta.

Optisen hiukkaslaskurin eli AeroTrakilla mitatut hiukkaspitoisuustulokset on kuvattu pylväsdiagrammeihin kuvassa 6. Sininen nuoli kuvaa mittaushetkellä vallinnutta tuulen suuntaa. Pienhiukkasten lukumäärän mitta-asteikko on logaritminen, jotta tuloksia olisi helpompi lukea.



KUVA 6. 30.1.2014–19.2.2014 AeroTrakilla mitatut ilman hiukkaset, jossa nuoli kuvaa mittaushetkellä vallinnutta tuulen suuntaa

Kuvassa 7 on kuvattu P-Trakilla mitatut hiukkaspiitoisuudet. Tulokset on esitetty kuvassa pylväsdiagrammein samaa menetelmää käyttäen kuin optisen hiukkaslaskurin tuloksissa käytettiin. Y-akseli ei kuitenkaan ole logaritminen. Mittauspäivät ovat samat kuin AeroTrakilla.



KUVA 7. 30.1.2014–19.2.2014 P-Trakilla mitatut ilmassa olevat ultrapienet hiukkaset, jossa nuoli kuvaa mittaushetkellä vallinnutta tuulen suuntaa

Pursialan voimalaitoksen aiheuttamaa ympäristömelua mitattiin Rauhaniemessä neljällä toisistaan riippumattomalla mittauksella. Mittausten perusteella laskettu ekvivalentti A-äänitaso L_{Aeq} oli 44,8 dB ja aritmeettinen keskiarvo $L_{Aeq\Sigma}$ 44,7 dB. Tulokset on kirjattu taulukkoon 3. Pursialan voimalaitoksen ympäristömelu ei ylittänyt Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjeavoista (993/1992) asetettuja ohjearvoja.

TAULUKKO 3. Pursialan voimalaitoksen aiheuttama ympäristömelu Rauhaniemessä

Mittauspiste	Ekvivalentti A-äänitaso L_{Aeq} (dB)	Aritmeettinen keskiarvo L_{AeqZ} (dB)	Ohjearvo A-painotettu L_{Aeq} (dB)	
Rauhaniemi	44,8	44,7	55	päiväohjearvo (klo 7–22)
			50	yöohjearvo (klo 22–7)
Tulosten epävarmuus ± 4				

Johtopäätökset

Kenkäverossa mitatut korkeammat laskeumapitoisuudet sopivat yhteen talvella suurimmaksi osaksi vallinneiden etelätuulien kanssa, mikäli oletetaan päästöjen tulleen Pursialasta. Tuloksissa ei kuitenkaan ilmennyt ympäristölle haitallisia pitoisuuksia. Rauhaniemessä mitattu voimalaitoksen aiheuttama ympäristömelu ei ylittänyt Ympäristöministeriön asettamia ohjearvoja.

Mittausepävarmuutta aiheuttaa mittauksen lyhytkestoisuus. Mikäli asiaa halutaan selvittää tarkemmin, tulisi mittauksia tehdä pitkäkestoisesti. Mittauspisteiden määrää olisi myös hyvä lisätä, jotta todellinen päästölähde saataisiin selville. Helmikuussa 2014 toteutettiin Rauhaniemen asuinalueen lähistöllä Graanintiellä maaperän puhdistus massan vaihtona. Puhdistus ajoittui juuri mittauksen tekohetkelle, ja sillä näyttäisi olleen vaikutusta hiukkaspitoisuuksien kohoamiseen Kenkäveronniemessä itätuulen vallitessa. Lisäksi Kenkäverossa sijainnut laskeumankeräin oli päässyt kaatumaan mittauksen aikana roudan vaikutuksesta.

Tulosten perusteella ei voitu yksiselitteisesti todeta päästöjen kulkeutuvan Pursialan voimalaitoksen lähialueille juuri voimalaitokselta. Pursialan teollisuusalueella on paljon muuta yritys- ja teollisuustoimintaa energiantuotantolaitoksen lisäksi. Myös ympärillä sijaitsevat tiet sekä pienen mittakaavan poltto lisäävät ilmanhiukkaspitoisuuksia. Hiukkasia voi tulla ilmaan lisäksi suoraan luonnosta, esimerkiksi kasvillisuuden pölyämisestä. Mittausajankoh- ta sijoittui kuitenkin talveen, mikä vähentää tätä tekijää. Tutkimusongelma vaatisi tarkempia jatkotutkimuksia, jotta saatu tulos voitaisiin todeta täysin varmaksi.

LÄHTEET

Kivistö, Petra 2014. Energiatuotantolaitoksen vaikutukset alueen lähiympäristöön. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma 60 s. + liitteet 10 s.

NÄYTTEENOTTAJIEN SERTIFIOITUA KOULUTUSTA MAMKISSA

Arto Sormunen & Hannu Poutiainen

Ympäristönsuojelulain mukaan kaikki ympäristöä koskevat mittaukset, testaukset, selvitykset ja tutkimukset tulee tehdä pätevästi, luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin. Ympäristönäytteenottajien henkilösertifiointijärjestelmällä (CERTI) varmistetaan henkilön pätevyys näytteenottoon. Ympäristönäytteenottajien sertifiointia varten Suomen ympäristökeskus on asettanut sertifiointielimen, johon on koottu asiantuntijoita näytteenoton eri osa-alueilta. Elintä ohjaa sertifiointilautakunta, jossa ovat edustettuina muun muassa ympäristöministeriö, sosiaali- ja terveysministeriö, luonnonsuojelujärjestöt, näytteenottajien työnantajat, kuten vesilaitos, sekä konsultit ja kouluttajat.

Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan koulutus järjestää monipuolisesti ympäristönäytteenoton henkilösertifiointiin liittyvää koulutusta. Koulutuslupaa ollaan parhaillaan uusimassa neljälle eri pätevyysalueelle: vesi- ja vesistönäytteet; näytteet maaperästä ja kiinteistä jätteistä; talous- ja uimavesinäytteet, sekä uutena tulemme hakemaan melumittauskoulutusta. Edellisten lisäksi tarjonnassamme on kaikkien erikoistumisosioiden taustalle kuuluva peruskurssi. Viime vuosina näytteenottajakoulutukset ovat kiinnostaneet suuresti, ja saatu palaute on ollut hyvin myönteistä. Mamkilla on erinomaiset puitteet, mm. pohjavesiputki käytettävissä aivan kampusalueella. Lisäksi olemme esimerkiksi paikallisen jäteyhtiön kanssa sopineet yhteistyöstä esim. kaasu-, maaperä- ja jätenäytteisiin liittyvistä kohteista. Näin ollen Mamkilla on ollut mahdollisuus tarjota erinomaiset oppimisympäristöt näytteenottokoulutukseemme.

Kurssien sisällöt

Peruskurssin keskeisenä tavoitteena on ymmärtää näytteenoton erittäin merkittävä rooli koko tutkimusketjussa. Peruskurssilla perehdytään mm. erityyppisiin näytteenottokohteisiin ja niiden luonteeseen, näytteenoton suunnitteluun ja dokumentointiin, näytteiden laadunvarmennukseen ja käsittelyyn ja näytteenoton työsuojeluun. Peruskurssi on vapaaehtoinen, mutta tentti pakollinen.

Erikoistumisosioissa mennään näytteenoton otossa huomattavan pidemmälle. Esim. näytteenotto maaperästä ja kiinteistä jätteistä käsittelee näytteenottoa maaperästä, kaatopaikoilta, pohjavedestä (kuva 1), sedimentistä ja huokoskaasuista ja pitää sisällään luento-opetuksen lisäksi monipuoliset kenttädemonstraatiot. Vastaavasti vesi- ja vesistönäytteenoton erikoistumiskurssilla tutustutaan vesistö-, jätevesi-, pohjavesi-, pohjaeläin-, sedimentti-, levä- ja kalanäytteenottoon (kuva 3). Myös tämä erikoistumiskurssi sisältää näytteenottodemonstraatioita kentällä. Talous- ja uimavesinäytteenoton erikoistumiskurssi koskee näytteenottoa esim. talousvesistä, vesijohtoverkostovesistä, raakavesistä, kaivovesistä sekä käyttötarkkailunäytteitä uimahallien, kylpylöiden ja vastaavien pienempien yksiköiden allasvesistä ja uimarantavesistä (kuva 2). Uutena toteutuksena olemme parhaillaan hakemassa koulutuslupaa melumittauksille. Tämä kokonaisuus koskee melun kokonaistason mittauksia (äänenpainemittauksia) ja asumisterveyteen liittyviä mittauksia. Mittauksien melulähteinä voivat olla tie-, raide- ja vesiliikenne, lentoliikenne, teollisuus ja satamat, rakentaminen, ampuma- ja moottoriradat, muu vapaa-ajan toiminta, talotekniset laitteet ja tuulivoimaloiden melun mittaaminen altistuvassa kohteessa.



KUVA 1. Pohjavesinäytteenottoa PIMA-kohteessa (kuva Arto Sormunen)

Talous- ja uimavesinäytteenoton erikoistumiskurssilla teemme myös yhteistyötä paikallisten yritysten kanssa. Esim. keväällä 2014 tutustuimme Viihdeuimala Rantakeitaan toimintaan Mikkelin Rantakylässä. Perehdyimme uimalan henkilökunnan avustuksella uimavesinäytteenottoon, veden puhtaanapitoon ja vedenkäsittelyprosesseihin ja saimme hyvän käytännön kuvan näistä aiemmin luennolla teoriassa läpi käydyistä asioista. Opiskelijoille tarjoutui myös mahdollisuus esittää kysymyksiä, joihin saimmekin asiantuntevia vastauksia.



KUVA 2. Uimaveden puhdistuskierron hiekkasuodatus (kuva Hannu Poutiainen)

Koulutuksen edut

Näytteenottokoulutus on koettu tarpeelliseksi ja hyödylliseksi. Keskeisenä syynä lienee, että näytteenoton laatu paranee. Näytteenottaja tuntee epävarmuustekijät sekä tietää ja löytää keinoja niiden vähentämiseksi. Koulutuksella ja erityisesti sertifikaatilla näytteenottaja pystyy osoittamaan omaa osaamistaan. Laatutekijöiden merkitys on viime vuosina kasvanut lähes kaikissa organisaatioissa, ja tämä järjestelmä osaltaan on tuomassa uskottavuutta näytteenoton kentälle. Näytteenoton merkitystä koko tutkimusketjussa emme voi väheksyä. Huonoa näytettä ei voi paikata tutkimusketjun seuraavissa

vaiheissa. Toisin sanoen, huonoa tai virheellistä näytettä ei kannattaisi edes tutkia, koska se johtaa helposti virheellisiin johtopäätöksiin. Näyte on aina otos ympäristöstä, ja sen perusteella usein pyritään saamaan kokonaiskuva ympäristöstä tai kohteesta. Tästä lähtökohdasta emme kuitenkaan koskaan voi sulkea pois tosiasiaa, että näytteenotto on aina virheitä synnyttävä vaihe, vaikka kuinka huolellisesti siihen varaudumme. Lopputulos saattaa olla riippuvainen analyysistä, mutta tulos on aina riippuvainen näytteenotosta. Tästä syystä näytteenottajalla on iso vastuu koko tutkimuksen onnistumisesta.



KUVA 3. Sedimenttinäytteenottoa putkinoutimella (kuva Arto Sormunen). Vastaavan näytteenottimen toimintaa tutustutaan vesistö- ja vesistönäytteenoton erikoistutkimuskursseilla.

Osaamisen todentaminen

Ympäristönäytteenottajien henkilösertifointi on vapaaehtoinen järjestelmä, joka tarjoaa henkilölle mahdollisuuden todentaa pätevyys ympäristönäytteenottoon sekä ympäristömittaus- ja havainnointitoimintaan. Pätevyydellä tarkoitetaan sitä, että henkilö tuntee tälle toiminnalle asetetut yleiset laatuvaatimukset, ja että hänellä on järjestelmän mukaiset tiedot ja taidot. Henkilön

on mahdollisuus osoittaa ja todentaa pätevyytensä yhdellä tai useammalla erikoistumisalalla. Yhtä kaikki, pätevyystodistuksen myöntämisen edellytyksenä on sovittujen tieto- ja taitovaatimusten täyttyminen. Taitovaatimukset järjestelmässä henkilö osoittaa hankitulla työkokemuksella. Kun pätevyystodistus on myönnetty määräajaksi, näyttötoimittajan tulee huolehtia ylläpitokoulutuksesta ja täyttää muut sertifiointielimen asettamat velvoitteet. Jokaisen kurssin päätteeksi järjestetään kirjallinen koe, jolla tietovaatimukset pitää osoittaa. Koetilaisuuteen voi myös tulla uusimaan hylättyä peruskurssin suoritusta.

Tietovaatimukset

Tietovaatimusten täyttämisen edellytyksenä on sertifiointielimen hyväksymien koulutusten suorittaminen hyväksytyllä arvosanalla. Hyväksytyyn suoritukseen tarvitaan 70 %:n osaamista tentin kokonaispistemäärästä. Kaikki tentit lähetetään sertifiointielimen tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi ennen tenttiä. Henkilöltä vaaditaan siis vähintään peruskurssi, ja sen lisäksi vähintään yhden erikoistumisalan kurssi ja tentti tarvitaan. Mikäli hakija haluaa varmistaa pätevyytensä kahdella tai useammalla erikoistumisalalla, hänen tulee suorittaa kutakin erikoistumisosiota koskevat kurssit ja tentit. Suoritettu kurssi on voimassa viisi vuotta.

Taitovaatimukset

Taitovaatimukset perustuvat hakijan kokemukseen näyttötoimittajana. Taitovaatimusten täyttämisen edellytyksenä on hakemusta edeltävien viiden vuoden aikana tapahtunut vuoden mittainen päätoiminen tai kahden vuoden mittainen säännöllisesti toistunut ympäristönäytteenotto-, ympäristömittaus- ja/tai ympäristöhavainnointitehtävien hoitaminen. Hakijan edellytetään toimineen tästä ajasta vähintään vuoden sillä erikoistumisalalla, jolla hakija haluaa pätevyytensä varmistaa. Mikäli hakija haluaa varmistaa pätevyytensä kahdella tai useammalla erikoisalalla, hänen edellytetään toimineen vähintään vuoden kullakin näistä erikoistumisaloista. Työnantajan tulee lausunnollaan varmentaa hakijan toimiminen pätevyyttä haettavalla tavalla ympäristönäytteenotto- tai ympäristömittaus- ja ympäristöhavainnointitehtävissä.

Suomen ympäristökeskus SYKE:n asettama sertifiointielin myöntää pätevyystodistukset ja päättää näyttötoimittajille järjestettävien kurssien ohjelmista. Sertifiointielin pitää rekisteriä, johon talletetaan pätevyystodistuksen saajan nimi, syntymäaika, erikoispätevyden ala, työnantajan nimi ja pätevyystodistuksen voimassaoloaika. Tietoja rekisteristä luovutetaan voimassa olevan lainsäädännön mukaisesti.

Näytteenotto osana omaa opetussuunnitelmaa

Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan koulutusohjelma sekä Environmental Engineering -koulutusohjelma sisällyttävät ympäristönäytteenotokoulutusta opetussuunnitelmiinsa. Mikkelin ammattikorkeakoulusta ympäristötekniikan ja Environmental Engineering -koulutusohjelmista valmistuneilla insinööreillä on pätevyys hakea näytteenottoon liittyvät opintojaksot suoritettuaan ympäristönäytteenottajan sertifiointia sen jälkeen, kun näytteenottajan sertifiointiin liittyvä käytännön työkokemus täyttää sertifiointielimen vaatimukset.

Ympäristönäytteenotokoulutusta järjestetään tutkintoon johtavien koulutusten lisäksi myös Mikkelin avoimen ammattikorkeakoulun kautta sekä maksullisena täydennyskoulutuksena, johon voivat osallistua kaikki tahot, joiden työtehtäviin kuuluu ympäristönäytteenotto. Lisätietoja koulutuksesta löytyy osoitteesta www.mamk.fi/avoin.

JÄTEHUOLTOA HOLLANNISSA

Panu Jouhkimo & Sami Hirvonen

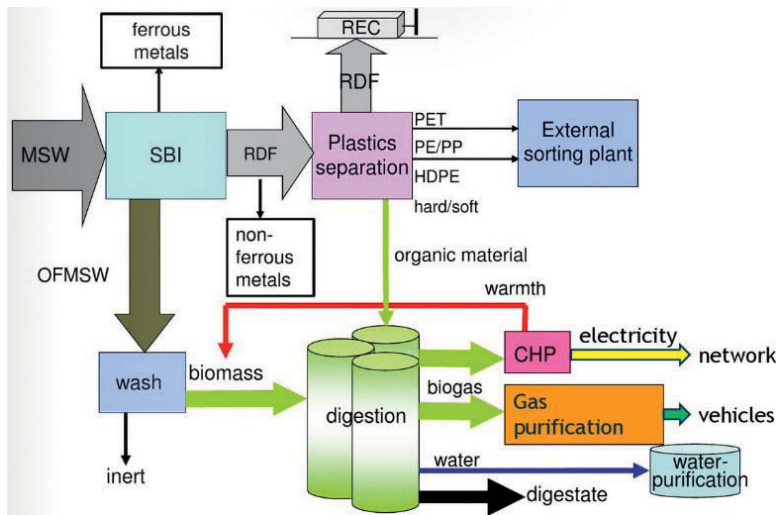
Jätehuoltoyhdistys on kaikille jätehuollossa ja sitä sivuavissa tehtävissä toimiville henkilöille ja yhteisöille avoin ammatillinen ja aatteellinen yhteisjärjestö. Yhdistys edistää jätehuollon tuntemusta, jätteen asianmukaista käsittelyä ja jätteen hyötykäyttöä Suomessa. Yhdistyksen koulutustoiminnan tavoitteena on antaa jäsenistölle alan uusinta tietoa ja välittää laajemmalle yleisölle tietoa jätealasta ja sen kehityksestä. Jätehuoltoyhdistys järjestää vuosittain kansalliset jätehuoltopäivät, joka on tärkein alan koulutus- ja seminaaritilaisuus. Yhdistys järjestää jäsenistölleen vuosittain myös opintomatkan. Tänä vuonna järjestetyn opintomatkan teemana oli ”Jätteestä raaka-ainetta”. Matkalle osallistui Mikkelin kunnallisesta jätehuoltoyhtiöstä Metsäsairila Oy:stä hallituksen varapuheenjohtaja Panu Jouhkimo, toimitusjohtaja Sami Hirvonen sekä kehityspäällikkö Jonne Gråsten. Paikallisoppaaksemme saimme suomalais-hollantilaisen Nathan Gasenbeekin Ramboll Finland Oy:stä. Matkalla tutustuttiin Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriöön Haagissa sekä jätteiden lajittelulaitoksiin Oudehaskessa ja Waalhavenissa.

Jätehuoltoyhtiö Omrinin lajittelulaitos Oudehaskessa

Ensimmäinen kohteemme oli jätehuoltoyhtiö Omrinin MRF-lajittelulaitos (Material Recovery Facility) Oudehaskessa Pohjois-Hollannissa Friisinmaalla. Laitosta meille esitteli yhtiön edustaja Martin Koopmans. Omrin on 26 kunnan omistama yhtiö, joka vastaa jätteen keräämisestä 16 kunnan alueella sekä ottaa vastaan ja käsittelee 34 kunnan tuottaman yhdyskuntajätteen, 190 000 tonnia vuodessa. Vuonna 2013 Omrinin MRF-laitoksella käsiteltävästä jättevirrasta erotettiin 13 500 tonnia muovijätettä, 40,3 kiloa kotitaloutta kohden. (Omrin 2014.)

Alueen kotitaloudet lajittelevat syntypaikalla erilleen biojätteen, paperin, kartongin, lasin, tekstiilit sekä vaarallisen jätteen. Lisäksi kunnallisissa palvelupisteissä vastaanotetaan rakennus- ja puutarhajätettä sekä elektroniikkaromua. Loput kotitalousjätteestä kerätään Omrinin MRF-laitoksella käsiteltäväksi ja edelleen raaka-aineena ja energiana hyödynnettäväksi. Laitoksella käsiteltävä jae sisältää esimerkiksi muoveja, metalleja, tekstiilejä, nuhraantuneita papereita ja kartonkeja ym. (Omrin 2014.)

Omrinin MRF-laitos koostuu jätteen vastaanottotilasta, lajittelulaitoksesta, pesuyskiköstä, biokaasulaitoksesta sekä CHP-laitoksesta. Vastaanottotilasta jäte jae siirretään pussinrepijään, jossa jätöpussit sisältöineen hajotetaan. Repijältä jäte siirtyy kuljettimin lajittelulinjastolle, jossa kiinteä jäte lajitellaan seularummuin, imusuulakkein, tuuliseuloin, magneettihihnoin, tärylajittimin, optisin NIR-erottimin (Near Infrared), pyörrevirtaerottimin sekä käsin lajittelemalla. Erotetuksi saadaan PET-, PE-, PP- ja HDPE-muovilaadut sekä metalleja edelleen käsiteltäviksi ja hyödynnettäviksi materiaalina. Jätteen kuitajakeesta valmistettu polttoaine (RDF) hyödynnetään CHP-laitoksessa ja orgaaninen jae biokaasulaitoksessa. Hyödynnettäväksi kelpaamattomat jakeet loppusijoitetaan kaatopaikalle. (Omrin 2014.)



KUVA 1. Omrin-yhtiön MRF-laitoksen toiminta (Omrin 2014)

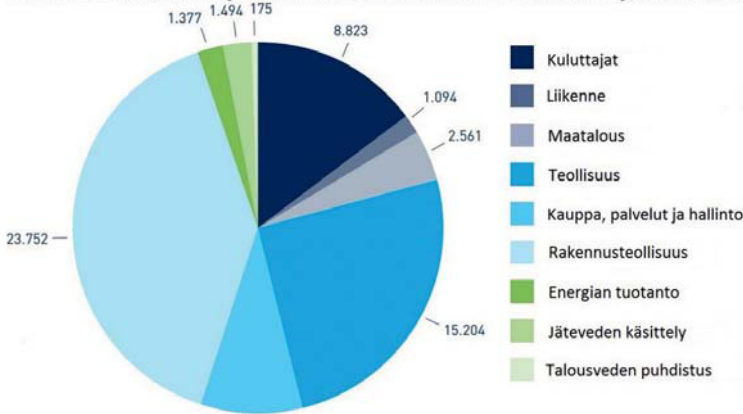
Lajittelulaitoksessa eroteltu orgaaninen aine pestään pesuyskikössä, jossa pestävästä jakeesta erottuu hiekkaa, kivimäisiä materiaaleja sekä lasia. Pesty orgaaninen jae yhdessä erilliskerätyn biojätteen kanssa johdetaan biokaasulaitokselle. Laitoksen tuottama kaasu hyödynnetään CHP-laitoksessa sekä jäteautojen polttoaineena. Määdte hyödynnetään edelleen maanparannusaineena. CHP-laitoksella tuotettu höyry, 80 MW, hyödynnetään läheisellä suolatehtaalla, ja tuotettu sähkö, 16 MW, syötetään verkkoon. (Omrin 2014.)

Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö Haagissa

Toinen vierailukohteemme oli Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö Haagissa. Ministeriössä Hollannin jätehuollon nykytilasta ja Hollannin hallituksen tavoitteesta siirtyä kohti kiertotaloutta kertoivat meille ministeriön jätehuollosta vastaava koordinaattori Marc Pruijn ja Hollannin jätehuoltoyhdistyksen puheenjohtaja Dick Hoogendoorn.

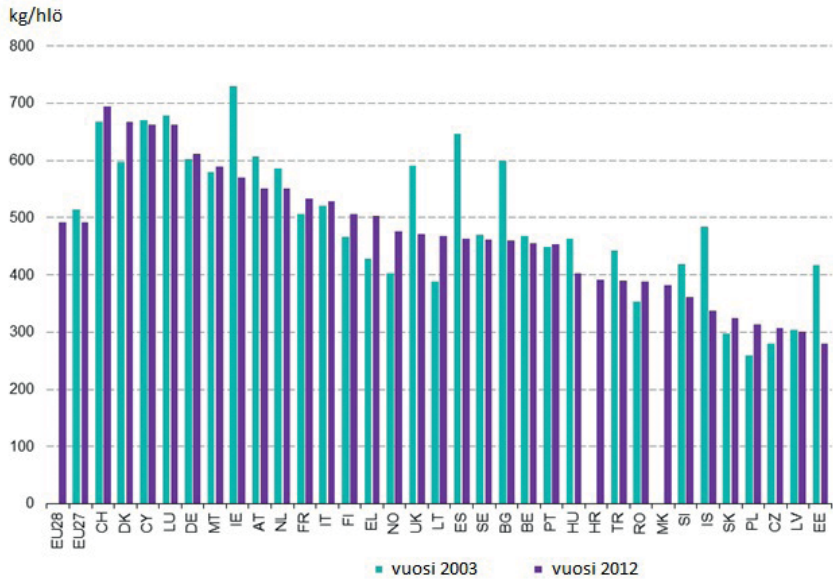
Hollannissa jätehuollon historian voidaan katsoa alkaneen 1875, jolloin säädettiin laki jätehuollon järjestämisestä. Uudistuksella haluttiin ehkäistä tartuntatautien leviämistä. Jo tuolloin kunnat määrättiin vastuulliseksi jätehuollon järjestämisestä. Sittemmin jätehuoltoa kehitettiin ehkäisemään myös ympäristön pilaantumista. Tultaessa 1990-luvulle tietoisuus materiaalitehokkuudesta lisääntyi ja jätelainsäädännöllä ryhdyttiin ohjaamaan resurssien tehokasta käyttöä. 1980-luvun puolivälissä Hollannissa tuotettiin jätettä kaikkiaan vajaat 50 miljoonaa tonnia, josta yli kolmannes loppusijoitettiin kaatopaikoille. Vuonna 2010 Hollannin tuotetun jätteen kokonaismäärä oli noin 60 miljoonaa tonnia, josta kierrätettiin noin 52 miljoonaa tonnia, poltettiin jätteenpolttolaitoksissa noin 6 miljoonaa tonnia ja loppusijoitettiin kaatopaikalle noin 2 miljoonaa tonnia. (Hollannin jätehuoltoyhdistys 2014.)

Vuonna 2010 tuotetun jätteen kokonaismäärä Hollannissa 60 miljoonaa tonnia



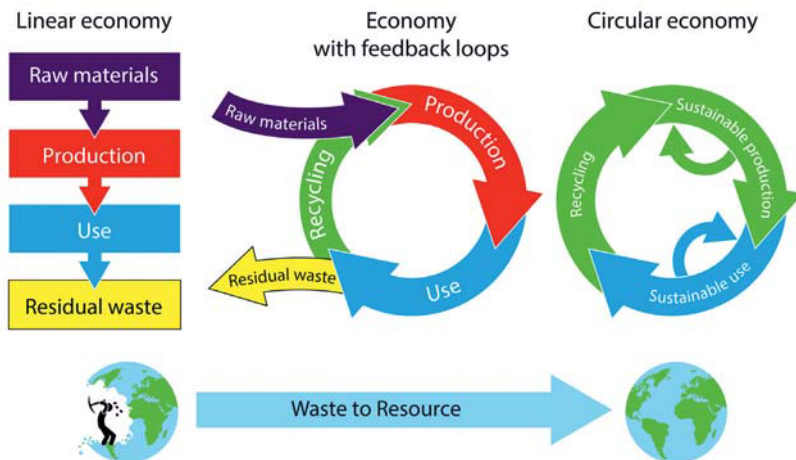
KUVA 2. Tuotetun jätteen kokonaismäärä Hollannissa vuonna 2010 (mukaillen Hollannin jätehuoltoyhdistys 2014)

Vuonna 2012 Hollannissa syntyi yhdyskuntajätettä 551 kiloa asukasta kohden ja yhteensä 9,2 miljoonaa tonnia, josta jätteenpolttolaitoksissa poltettiin 49 %. Samana vuonna Euroopan unionin jäsenmaissa yhdyskuntajätettä syntyi asukasta kohden 492 kg, yhteensä 247 miljoonaa tonnia, josta polttoon päätyi 24 %. (Eurostat 2014.)



KUVA 3. Tuotettu yhdyskuntajäte Euroopassa asukasta kohden (mukaan Eurostat 2014)

Nyt Hollanti on ottamassa seuraavaa askelta resurssitehokkuudessa, kun maan hallitus aloittaa ”Jätteestä raaka-aineeksi” -ohjelman toimeenpanon. Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriön lanseeraaman ohjelman tavoitteena on kannustaa ja ohjata yhteiskuntaa kohti kiertotaloutta. Kiertotaloudella tarkoitetaan hyvin suunniteltua taloutta, jossa materiaalien hukkaaminen ja jätteen syntyminen on minimoitu. Ohjelmalla on kahdeksan erillistavoitetta ja siinä kiteytyy Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriön harjoittama jäte- ja raaka-ainepolitiikka. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)



KUVA 4. Siirtyminen lineaarisesta taloudesta kiertotalouteen (mukaan Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014)

Ensimmäisessä erillistavoitteessa pyritään kestävyteen tuoteketjun alkupäässä edistämällä tuotteiden valmistusta ja markkinointia kiertotalouteen sopivaksi siten, että tuotteita ja raaka-aineita käytetään uudelleen ja niillä on luonnollinen suljettu kiertosykli. Esimerkiksi yhteistoiminnassa tuottajien kanssa pakkausmateriaalit suunnitellaan niin, että ne ovat erotettavissa jätevirrasta ja hyödynnettävissä uudelleen raaka-aineena. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Toinen tavoite keskittyy kulutustottumusten muuttamiseen kestävämmiksi. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi kehitetään malleja kestävämmälle kulutukselle, vahvistetaan kestävästä kulutuksesta edistävää vähittäiskauppaa sekä sovelletaan kestävästä kulutuksesta malleja kaikissa julkisissa hankinnoissa. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Kolmas tavoite liittyy jätteen lajitteluun ja keräämiseen. Ensimmäisenä toimenpiteenä on estää kierrätettävien materiaalien päätyminen jätteenpolttolaitoksille. Tämä tarkoittaa jätteen lajittelun tehostamista. Ohjelmassa saatetaan kunnat parantamaan jätteiden lajittelua ja keräämistä, kannustetaan kotitalouksia parantamaan jätteiden lajitteluun sekä edistetään jätteiden lajittelua toimistoissa, kaupoissa sekä julkisissa tiloissa. Syntypaikkalajittelua suositaan siellä, missä se on parhaiten järjestettävissä, mutta myös kerätyn jätteen jälkilajittelun tehokkuutta parannetaan. Alan teknologisia johtajia tuetaan, jotta uusista toimintamalleista ja teknologioista tulisi uusi normi koko sektorille. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Hollannissa on jätteenpolttokapasiteettia lähes 8 miljoonaa tonnia. Lajittelun ja kierrätyksen tehostuessa poltettavan jätteen osuus syntyvästä jätteestä laskee koko ajan. Jotta koko kapasiteetti saataisiin hyödynnettyä, tuodaan maahan jätettä ulkomailta. Jätteen loppusijoittaminen tai polttaminen ilman, että jäte hyödynnetään energiana, on yleinen käytäntö vielä monissa Euroopan maissa. Hollanti voikin tarjota hyvän vaihtoehdon tällaisille maille jätteidensä käsittelemiseksi ja hyödyntää jättemateriaalin energiasisällön korvaten fossiilisia polttoaineita. Myös jälkilajittelua voidaan tulevaisuudessa soveltaa ulkomaisiin jätevirtoihin raaka-aineiden hyödyntämiseksi. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Jätelainsäädännön tärkeimpänä tavoitteena tulisi olla materiaalien uudelleenkäytön tehostaminen. Usein kuitenkin lait ja asetukset ovat ristiriidassa tämän tavoitteen kanssa. **Neljäs tavoite** koskee lainsäädännön kehittämistä kiertotaloutta tukeväksi. Lainsäädännöstä pyritään tunnistamaan ja poistamaan tarpeettomat esteet resurssiviisaalle toiminnalle. Ohjelmassa selvitetään, aiheuttavatko esimerkiksi REACH-direktiivi, Hollannin kansallinen tai muiden Euroopan maiden kansalliset lainsäädännöt tarpeettomia esteitä arvokkaiden kierrätysmateriaalien erottamiseksi jätevirroista. Ohjelman tavoitteena on myös vaikuttaa Euroopan jätedirektiivin määritelmään jätteestä. Jätedirektiivi

tarjoaa mahdollisuuden antaa jätteelle raaka-aineen statuksen tietyn ehdon. Euroopan komissio on asettanut tätä varten niin sanotut End-of-Waste-kriteerit lasi-, metalli- ja kupariromulle. Uusien materiaalien End-of-Waste-kriteerit ovat valmistelun alla. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Viidentenä tavoitteena on luoda uusia ja vahvistaa olemassa olevia toimintamalleja yksittäisille materiaalien arvoketjuille ja jätevirroille. Kun keskitytään yhden yksittäisen materiaalin arvoketjuun, mahdollistetaan yhteinen lähestymistapa ja tavoite kaikille ketjun toimijoille. Julkinen hallinto auttaa toimijoita järjestämällä ohjeistusta ja neuvontaa, auttamalla muodostamaan yhteisiä tavoitteita sekä auttamalla määrittelemään, minkälaista yhteistyötä tavoitteiden saavuttamiseksi tulisi tehdä. Hyvä esimerkki olemassa olevasta toimintamallista on Hollannin hallituksen koordinoima projekti ”Phosphate Value Chain Agreement”, jossa luotiin malli lannoitefosfaatin kierrättämiseksi ja kierrätysfosfaatin markkinoille saattamiseksi. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Kuudennessa tavoitteessa kehitetään markkinaehtoisten kannustimien ja toimivien liiketoimintamallien syntymistä kiertotalouden edistämiseksi. Jotta markkinat tarttuisivat kiertotalouden tarjoamiin mahdollisuuksiin, tarvitaan inspiroivia esimerkkejä toimivista liiketoimintamalleista. Resurssien tehokas käyttö ja alhainen ympäristökuormitus on jo nyt trendi, joka on havaittavissa monilla toimialoilla. Resurssiviisaaseen toimintaan kannustaa esimerkiksi omistamisen kustannusten keskittäminen yhdelle arvoketjun toimijalle, jolloin siirrytään tuotteiden tarjonnasta palvelujen tarjontaan. Tällöin tuotteiden valmistamisessa on taloudellisesti kannattavampaa keskittyä määrän sijasta laadullisiin tekijöihin, pitkään elinkaareen sekä alhaisiin elinkaarikustannuksiin. Uusia kestävän talouden liiketoimintamalleja kehitetään Hollannin tiedejärjestön (NWO) vihreiksi aivoiksi (Het Groene Brein) nimetyssä uuden talouden strategioihin erikoistuneessa tutkijoiden verkostossa. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Seitsemännen tavoitteen tarkoituksena on yhdistää kiertotalous koulutukseen ja osaamiseen. Siirtyminen kiertotalouteen vaatii kokonaisvaltaista eri toimialat kattavaa innovaatiojärjestelmää, joka kattaa sekä tekniset innovaatiot että kulttuurilliset ja instituutionaaliset muutokset. Kiertotalouteen siirtyminen integroidaan Hollannin kärkialojen (Top Sectors Policy) tutkimusohjelmiin. Tavoitteena on luoda Hollannista kiertotalouden osaamiskeskus maailmassa. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Tuotteille ja palveluille asetetut kriteerit, indikaattorit ja laatumerkinnät sekä helposti saatavilla oleva ja ymmärrettävä informaatio auttavat kuluttajia, yrityksiä ja päätöksentekijöitä tekemään valistuneita päätöksiä. **Kahdeksantena erillistavoitteena** on edistää luotettavien ja yksiselitteisten mittausten menetel-

mien, indikaattoreiden sekä sertifiointijärjestelmien yksinkertaistamista, harmonisointia ja standardointia sekä parantaa jätevirroista tuotetun informaation laatua ja saatavuutta. (Hollannin infrastruktuuri- ja ympäristöministeriö 2014.)

Sitan pakkausmuovijätteenlajittelulaitos Waalhavenissa

Kolmas vierailukohtemme oli Sitan pakkausmuovijätteenlajittelulaitos Waalhavenissa Rotterdamissa. Laitoksella meidät otti vastaan prosesseista vastaava johtaja Martin van der Toorn sekä tehdaspäällikkö Albertino Pereira. Prosesseista vastaava johtaja van der Toorn kertoi meille laitoksen toiminnasta sekä Sitan toiminnasta ja strategiasta ja tulevaisuuden näkymistä laajemminkin. Alustuksen jälkeen tehdaspäällikkö Pereira vei meidät laitoskierrokselle.

Sita, aiemmin jätteen keräyksestä vastannut Ranskan valtionyhtiö, on osa kansainvälistä Suez Environnement -konsernia, jonka erikoisosaamisaluetta ovat vesi ja jätehuoltopalvelut. Suez Environnement toimii yli 70 maassa ja työntekijöitä sillä on yli 70 000. (Sita 2014.)

Waalhavenin lajittelulaitos aloitti toimintansa vuonna 2011 ja se on ensimmäinen tämän kokoluokan laitos Euroopassa. Peruseriaatteiltaan laitos toimii samoin kuten Omrinin laitos Oudehaskessa. Sitan laitos kuitenkin käsittelee erilliskerättyä pakkausmuovijätettä ja sen vuosittainen kapasiteetti on 30 000 tonnia. (Sita 2014.)

Pakkausmuovijätettä erilliskerätään Rotterdamin ja lähikuntien Barendrechtin ja Spijkenissen alueilta ja kuljetetaan lajittelulaitokselle lajiteltavaksi. Jätevirrasta erotetaan PET-, PE- ja PP-muovilaadut. Ensimmäisessä vaiheessa jätepussit sisältöineen hajotetaan pussinrepijällä, josta jäte siirtyy kuljettimin rumpuseulaan. Rumpuseulassa jäte lajitellaan koon mukaan. Rumpuseulan jälkeen jätevirrasta erotetaan ohuet ja kevyet muovikalvot imusuulakkeiden avulla. Lajittelu jatkuu ballistisesti koon ja painon mukaan tärylajittimilla, jossa pehmeimmät ja kevyimmät materiaalit erottuvat lajittimen yläosan ja pyörivät ja raskaammat kappaleet lajittimen alaosan kautta. Alaosan kautta erottuneet raskaammat kappaleet erotellaan optisesti NIR-erottimella, jossa haluttu muovilaatu tunnistetaan infrapunaskannerin avulla kuljettimelta, ja tunnistettu materiaali erotetaan jätevirrasta paineilman avulla. Erotellut jakeet varastoidaan automatisoituihin varastobunkkereihin, joista bunkkerin täytyessä materiaali ohjataan paalaimiin pakattavaksi, varastoitavaksi ja edelleen jatkojalostukseen kuljetettavaksi. Tällä hetkellä paaleja rahdataan muun muassa Saksaan, jossa lajiteltu materiaali pestään ja valmistetaan uusien muovipakkausten raaka-aineeksi. (Sita 2014.)



KUVA 5. Ballistinen erottelu Sita Waalhavenin lajittelulaitoksella (kuva Panu Jouhkimo)



KUVA 6. Optinen NIR-tekniikkaan (Near Infrared) perustuva erottelu Sita Waalhavenin lajittelulaitoksella (kuva Panu Jouhkimo)

Tutkimushankkeistaan ja tulevaisuuden suunnitelmistaan Sitan edustaja Martin van der Toorn kertoi muutamia esimerkkejä. Sitalla on meneillään esimerkiksi tutkimusprojekti, jossa tutkitaan eläinproteiinin tuottamista biojätteestä kärpäsentoukkia viljelemällä. Tällä menetelmällä 110 tonnista biojätettä saadaan 20 tonnia toukkia sekä 40 tonnia maanparannukseen kelpavaa lannoitetta. Höyrynä ilmaan haihtuu 50 kuutiota vettä. Toukkia hyödynnetään maailmalla jo nyt eläinten rehuna, mutta Sita on kiinnostunut proteiinin erottamisesta ja jatkojalostamisesta myös ihmisravinnoksi. (Sita 2014.)

Van der Toorn kertoi myös uusista liiketoimintamalleista ja yrityksen strategian kehittämisestä siten, että tulevaisuudessa Sita toimisi jätehuoltoyrityksen asemesta raaka-aineiden tuottajana. Esittelemässään visiossa van der Toorn kuvasi liiketoimintamallia, jossa Sita toimittaisi raaka-aineita tuottajille leasing-sopimuksella, siten että raaka-aineet palaisivat takaisin yrityksen käsiteltäväksi ja uuteen kiertoon toimitettaviksi. Tällaisesta mallista yrityksellä on meneillään kokeilu liuottimia käyttävän kemianteollisuuden tuotantolaitok-

sen kanssa, jossa tuotantolaitos toimittaa käytetyt liuottimet takaisin Sitalle reformuloitavaksi ja uudelleen käytettäviksi. Neuvotteluja vastaavanlaisen mallin kehittämisestä ja luomisesta käydään parhaillaan myös muovipakkaus-teollisuuden kanssa. (Sita 2014.)

Pohdinta

Opintomatka Hollantiin ja tutustuminen Hollannin jätehuoltoon antoi ajatteleminen aihetta myös jätehuollon kehityksestä Suomessa. Hollannissa on aloitettu toimenpiteet siirtymiseksi kohti kiertotaloutta jätteen materiaali-hyötykäyttöä lisäten ja polttamista vähentäen. Hollannin sijainti Euroopan kartalla on logistisesti edullinen ja Hollannissa sijaitsee myös Euroopan suurin satama. Myös maan sisäiset etäisyydet ovat lyhyitä ja asukastiheys suuri verrattuna Suomeen. Tämä tuo erityispiirteensä molempien maiden jätehuollon suunnitteluun ja toteutukseen. Hollannin on esimerkiksi helppo paikata jätteenpolttolaitostensa ylikapasiteettia ulkomaisilla jätevirroilla. Myös jätevirroista erotettujen uusioraaka-ainevirtojen jatkojalostukseen tarvittavat logistiikka ja infrastruktuuri ovat keskisessä Euroopassa paremmin saatavilla ja tehokkaammin hyödynnettävissä. Suomessa vuonna 2012 tuotetusta noin 2.7 miljoonasta tonnista yhdyskuntajätettä energiana hyödynnettiin kolmannes, raaka-aineena kolmannes ja kaatopaikalle loppusijoitettiin kolmannes (Tilastokeskus 2014). Suomessa jätteen energiahyötykäyttöä puoltaa lämmitysenergian tarve sekä energiasisällön tehokas hyödyntäminen CHP-laitoksissa. Pohdittavissa on, millä keinoilla syntyvän jätteen määrää on mahdollista vähentää, ja miten nyt kaatopaikalle loppusijoitettava osuus tulevaisuudessa hyödynnetään ympäristön kannalta kestävimällä mahdollisella tavalla.

JÄTTEEN ENERGIAHYÖDYNTÄMISTÄ VIROSSA

Panu Jouhkimo & Sami Hirvonen

Metsäsairila Oy:n hallitus vieraili 23.10.2014 Eesti Energian Irun jätevoimalaitoksella. Tallinnassa. Irun jätevoimalaitoksella meidät otti vastaan käyttösinsööri Dmitri Širokov. Kontaktihenkilönämme Irun voimalaitokselle toimi jätejakeita välittävän GemiFin Oy:n Pasi Saarinen. Ekskursiolla saimme nähdä viimeisintä tekniikkaa hyödyntävän jätevoimalaitoksen toiminnassa sekä kuulimme mielenkiintoisia näkökantoja jätetoimialasta Virossa, Suomessa ja Euroopassa yleensä.

Energiatoimiala Virossa

Vierailumme aluksi käyttösinsööri Dmitri Širokov kertoi meille Viron energiatoimialasta, Eesti Energiasta yhtiönä sekä itse Irun voimalaitoksesta. Alustuksen jälkeen Širokov johdatti meidät laitoskierrokselle.

Eesti Energia on kansainvälisesti toimiva Viron valtion omistama energiayhtiö. Se on maailman suurin öljyliuskeesta energiaa tuottava yhtiö. Sen päätoimialat ovat öljyliuskeen tuotanto sekä sähkön ja lämmön tuotanto, jakelu ja myynti. Yhtiöllä on 7 000 työntekijää, 400 000 henkilöasiakasta ja 26 000 yritysasiakasta. Yhtiön suurin voimalaitosyksikkö, Narvan yksikkö, tuottaa 9 TWh/a sähköenergiaa. Tämä vastaa 90 prosenttia Virossa tuotetusta sähköenergiasta. (Eesti Energia 2014.)

Yhtiön toiminta ja koko Viron energian tuotanto perustuu pitkälti ”palavan kiven”, eli öljyliuskeen käyttöön. Maan öljyliuskevaranto sijaitsee Koillis-Virossa Narvan seudulla noin 3 000 km² alueella, josta tähän mennessä 425 km² on louhittu. Öljyliusketta esiintyy 10–70 metrin syvyydessä ja varannon suuruus vastannee noin 16 miljoonaa barrelia öljyä. Maailmanlaajuisesti öljyliuskevarantojen on arvioitu olevan 2,8–3,3 biljoonaa barrelia. Yritys onkin kirjannut visiokseen viedä öljyliuskeosaamistaan maailmalle sekä kehittää liuskeöljyn tuotantoa ja jalostusta globaalisti. (Eesti Energia 2014.)

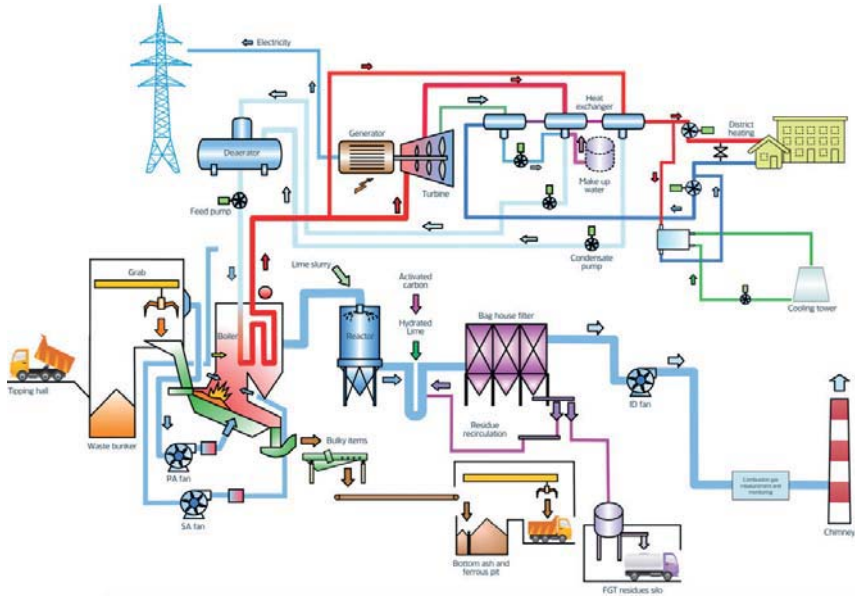
Irun jätevoimalaitos

Vierailumme kohteena oleva Irun jätevoimalaitos on sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos (CHP-laitos, kuva 1), joka pääasiallisena polttoaineenaan käyttää yhdyskuntajätettä sekä varapolttoaineenaan maakaasua tai nestemäisiä polttoaineita. Irun voimalaitos on Viron suurin lämmöntuottaja ja tarjoaa kaukolämpöä Tallinnan kaupungille ja Maardun kunnalle. Viron lämpömarkkinoista Irun jätevoimalaitoksella on noin 20 %:n markkinaosuus. (Eesti Energia 2014.)



KUVA 1. Irun jätevoimalaitosyksikkö on rakennettu maakaasua hyödyntäneen voimalaitoksen yhteyteen parasta saatavilla olevaa tekniikkaa hyödyntäen (kuvat Panu Jouhki-mo)

Irun voimalaitos on toiminut paikallaan jo neuvostoajoista, mutta uuden CHP-laitoksen valmistuttua 2013 tuli Irun voimalaitoksesta Baltian ensimmäinen jätteitä energiantuotannossa hyödyntävä voimalaitos (kuva 2). Jätevoimalaitos pystyy käsittelemään polttamalla 220 000 tonnia jätettä, tuottaen 330 MWh lämpöä ja 136 GWh sähköä vuodessa. Energiämäärä vastaa noin 70 miljoonaa kuutiota maakaasua ja uusi CHP-yksikkö korvasikin kapasiteetiltaan vastaavan maakaasua hyödyntävän yksikön. (Eesti Energia 2014.)



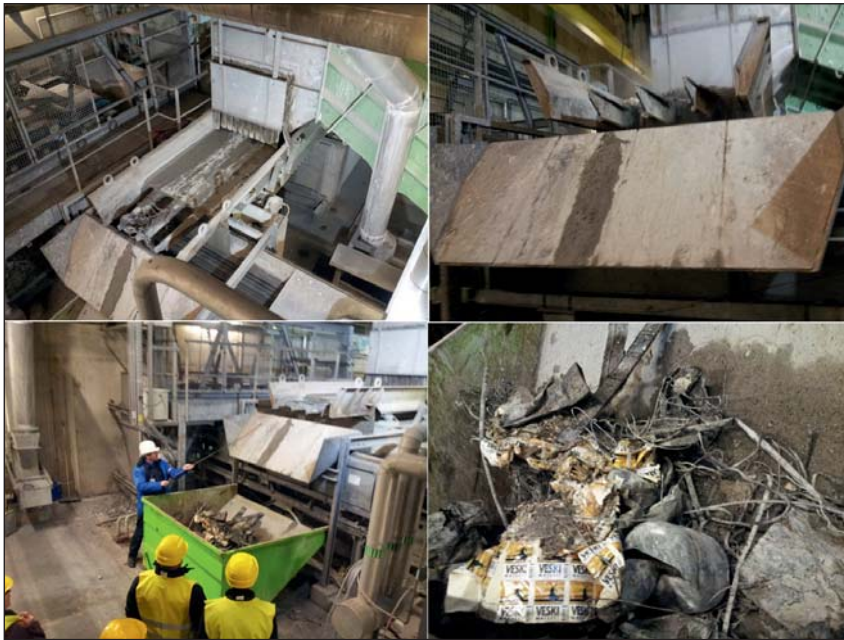
KUVA 2. Prosessikaavio Irun jätevoimalaitoksesta (mukailten Eesti Energia 2014)

Jätevoimalaitokselle saapuu ja laitoksella käsitellään keskimäärin 660 tonnia, noin 80 jäteautollista, lajittelematonta yhdyskuntajätettä päivässä. Jätettä ei tarvitse esikäsitellä tai murskata ennen polttamista. Jätteet puretaan autoista bunkkeriin, jossa jätteet sekoitetaan lämpöarvoltaan tasalaatuisiksi ja annostellaan arinakattilaan käyttäen kahta manuaali- ja automaattiohjattua kahmariä. Bunkkeriin mahtuu jätettä viiden päivän tarpeiksi (3 500 tonnia). Jätteen vastaanottoalue (kuva 3) ja jätebunkkeri on alipaineistettu ja tiloista imetty ilma johdettu paloilmaksi kattilaan niin, ettei ympäristöön aiheudu hajuhaittaa. (Eesti Energia 2014.)



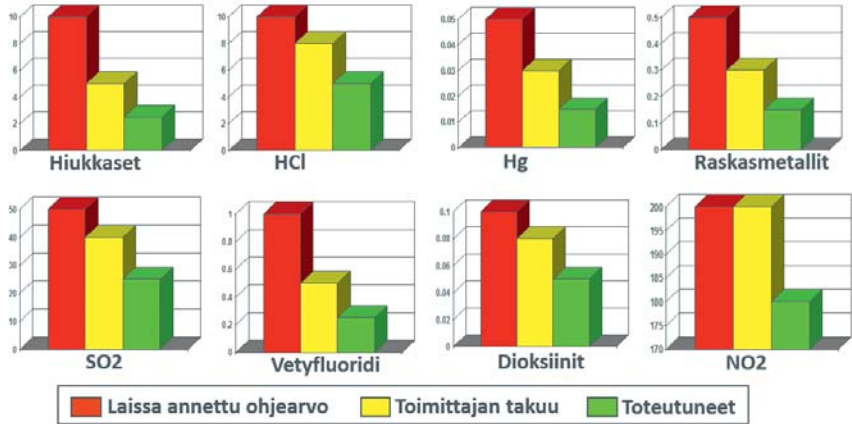
KUVA 3. Jätteiden vastaanottoalue (kuva Panu Jouhkimo)

Arinan liikkuvat elementit annostelevat jätettä palotilaan siten, että ensin jäte kuivuu, sitten höyrystyy ja palaa tehokkaasti varsinaisessa palamisvaiheessa ja lopuksi jälkipalovaiheessa. Jäte palaa kattilassa aina vähintään 850 °C:n lämpötilassa, tarvittaessa apupolttoaineena käytetään öljyä. Jätteen palamisesta syntyvällä lämpöenergialla tuotetaan tulistettua höyryä höyryturbiineille generaattoreiden käyttövoimaksi. Generaattoreiden tuottama sähkövoima johdetaan sähköverkkoon ja höyryturbiineilta tuleva lämpö lämmönvaihtimin kaukolämpöverkkoon. Pohjatuhkat ja palamattomat jakeet erotellaan, pohjatuhkat ohjataan tuhksiiloon ja palamattomat jakeet siirtolavoille (kuva 4). (Eesti Energia 2014.)



KUVA 4. Käyttöinsinööri Dmitri Širokov esittelee pohjatuhkien erottelua. Kuvassa lajitin, kuljetin ja siirtolava palamattomille jakeille (kuvat Panu Jouhkimo)

Savukaasujen puhdistukseen Irun jätevoimalaitoksella on panostettu erityisesti (kuva 5). Laitoksella on käytössään puolikuivaan prosessiin perustuva savukaasujen puhdistusjärjestelmä. Järjestelmässä lentotuhka esierotetaan sähkösuodattimin ja erotettu lentotuhka ohjataan tuhksiiloihin. Tämän jälkeen savukaasut ohjataan suihkupesuriin, jossa veteen sekoitettu kaliumhydroksidi, eli kalkkimaito reagoi kuumien savukaasujen kanssa. Veden haihtuessa savukaasut jäähtyvät ja reaktiotuotteet, niin sanottu kaasunpuhdistusjäte poistuu pesurista savukaasuvirtaan sekoittuneena pölynä, jonka jälkeen pöly erotetaan pussisuotimilla. Ennen pussisuotimia savukaasuvirtaan puhalletaan hienoja-koista aktiivihiiltä elohopean ja dioksiiniyhdisteiden sitomiseksi. (Eesti Energia 2014.)



KUVA 5. Toteutuneet savukaasujen päästöt ilmaan verrattuna laissa annettuihin ohjearvoihin ja laitetoimittajan antamiin suoritusarvoihin (mukaillen Eesti Energia 2014)

Pussisuotimilta savukaasuista erotettu kaasunpuhdistusjäte ohjataan osittain takaisin puhdistusprosessiin, osittain ylijäämäsiiloon (kuva 6). Tällä hetkellä Virossa ei ole mahdollisuutta tuhkien tai kaasunpuhdistusjätteiden käsittelemiseksi, joten tuhkat toimitetaan Suomeen Riihimäelle Ekokem Oy:n käsiteltäväksi. (Eesti Energia 2014.)



KUVA 6. Vasemmalta oikealle Irun jätevoimalaitoksen 202,4 metriä korkea piippu, savukaasujen puhdistusyksikkö sekä purkujärjestelmä kaasunpuhdistusjätteille sekä lento- ja pohjatuhkille (kuvat Panu Jouhkimo)

Jätteestä energiaa

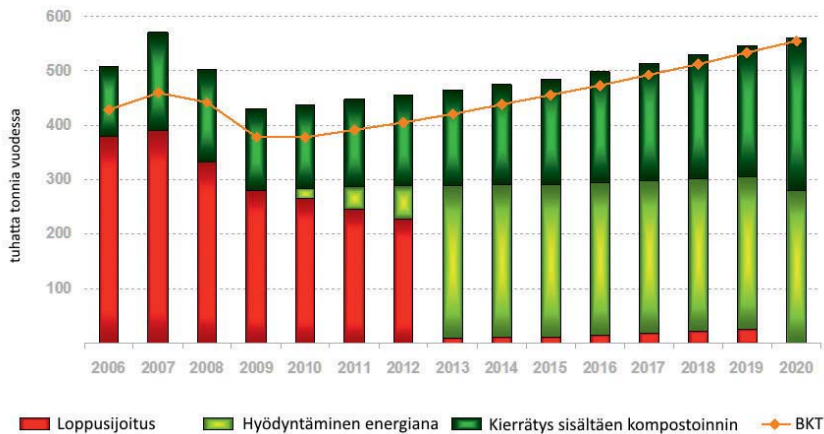
Jätteestä tuotettu lämpö on hinnaltaan keskimäärin 25 % maakaasusta tuotettua lämpöä edullisempaa. Laitoksen tulos muodostuu jätteen toimittajilta perittävistä porttimaksuista sekä myytävästä sähköstä ja lämmöstä saatavasta tuotosta. Isäntämme käyttöinsinööri Dmitri Širokov kertoi kuitenkin mielenkiitoisen erikoisuuden, johon voimalaitoksen uuden yksikön käytössä oli

törmäty ensimmäisen vuoden aikana. Koska Eesti Energia ei omista Tallinnan kaupungin kaukolämpöverkkoa, joutuu Irun voimalaitos kilpailemaan lämpöasiakkaistaan muiden lämmöntuottajien kanssa. Tämä on johtanut ajoittain tilanteeseen, jossa maakaasun hinnan ollessa matalalla, on kaukolämpöverkkoon tuotettu viereisellä lämpölaitoksella lämpöä maakaasusta, kun samaan aikaan jätevoimalasta on lauhdutettu lämpöä taivaalle (kuva 7). (Eesti Energia 2014.)



KUVA 7. Irun jätevoimalaitoksen lauhdetorni (kuva Panu Jouhkimo)

Eesti Energian näkemys on, että jätteen energiahyötykäyttö on vaihtoehto jätteen loppusijoitukselle. Jätteen syntypaikkalajittelua ja jättemateriaalin hyödyntämistä raaka-aineena pidetään tärkeänä, eikä jätteen hyödyntämistä energiana nähdä uhkana tälle. Irun voimalaitoksen jätteenkäsittelykapasiteetti, 220 000 tonnia vuodessa, vastaa noin puolta Virossa syntyvästä lajittelemattomasta jätteestä. Tällä hetkellä yhdyskuntajätteestä lajitellaan vain 26 %, kun jätehuoltoasioissa edistyneemmissä Euroopan maissa lajitteluaste on 55–60 %. Yhtiö näkee, että vaikka Virossa päästäisiin jätteen lajittelussa samalle tasolle edistyneempien Euroopan maitten kanssa, jäisi Irun jätevoimalaitokselle silti riittävästi polttoainetta hyödynnettäväksi. Seuraavasta kuvasta 8 käy ilmi Eesti Energia näkemys jätteen käsittelystä ja energiahyödyntämisestä Virossa. (Eesti Energia 2014.)



KUVA 8. Toteuma ja ennuste yhdyskuntajätteen muodostumisesta ja käsittelystä Virossa (mukaillen Eesti Energia 2014)

Jäte liikkuu Euroopassa

Jätteen energiahyödyntämistä ja jätevirtoja säätelee jätteen loppusijoittamisesta jätteen haltijalle aiheutuva kustannus verrattuna jätteen energiahyödyntämisestä muodostuvaan kustannukseen. Porttimaksu jätevoimalaitokselle, riippuen esimerkiksi jätteen laadusta ja lämpöarvosta, vaihtelee 25–40 €/n välillä tonnia kohden. Virolaisen yhdyskuntajätteen lämpöarvo on tyypillisesti noin 9 MJ/kg, kun puolestaan huolellisemmin syntypaikkalajitellun suomalaisen jätteen lämpöarvo on yli 10 MJ/kg. Virossa loppusijoituksen kustannus tällä hetkellä on noin 50 €/t ja jäteveron nousun myötä kustannus nousee ensi vuonna noin 55 euroon tonnilta. (Eesti Energia 2014.)

Tässä kohden mukaan kuvioon astuu myös ekskursiomme toisen isännän Pasi Saarisen edustama GemiFin Oy. GemiFin Oy on norjalaisen GemiNor AS:n tytäryhtiö. Konserniin kuuluu myös tytäryhtiöt GemiUk Iso-Britanniassa ja GemiDan Tanskassa. Yhtiö tarjoaa asiakkailleen palveluita jätejakeiden energiahyödyntämiseen eri puolilla Eurooppaa ja se tekee yhteistyötä yli 40 jätevoimalaitoksen kanssa. Jätteen käsittelyyn liittyviin palveluihin kuuluvat myös jätteen paalaus ja murskaus, pilaantuneiden maa-ainesten käsittely sekä vaarallisten jätteiden käsittely. Yhtiö voi ottaa hyödynnettäväkseen yhdyskuntajätettä, kierrätyspuuta, vaarallista jätettä, REF/RDF/SRF-jätepoltoaineita, saastuneita maa-aineksia, pahvia, paperia, metsähakkeita, pellettejä ja metalleja. Yhtiö on markkinajohtaja Pohjoismaissa rajojen välisissä jätteen siirroissa ja jätteen hyödyntämisessä. (GemiFin 2014.)

Tänä vuonna Irun jätevoimalaitokselle on Viron ulkopuolelta tuotu hyödynnettäväksi 40 000 tonnia jätettä. GemiNor-konserni toimittaa jätettä hyödynnettäväksi Irun jätevoimalaitokselle myös Suomesta. Tällä hetkellä Suomessa kannetaan jäteveroa kaatopaikalle loppusijoitetusta jätteestä 50 euroa tonnia kohden. Suomen hallitus on esittänyt (HE 126/2014) jäteveron korottamista 55 euroon tonnilta. Tämä osaltaan voi tehdä jätteen viemisestä muualle hyödynnettäväksi entistä houkuttelevamman vaihtoehdon Suomessakin. Esimerkiksi jos jätteen loppusijoituksen hinta kaikkine kustannuksineen lähennee 100 euroa tonnilta, voi GemiFin tarjota kunnalliselle jätehuoltoyhtiölle palvelua jätteen välittämisestä energiahyödyntämiseen vaikkapa Irun jätevoimalaitoksella. Yhtiö tarjoaa jätteenhyödyntämiskäytösä kokonaisvaltaisena palveluna, asiakkaan tarvitsee vain kuormata jäte autoihin. Kun vastaanottavan jätevoimalaitoksen porttimaksuun, vaikkapa 40 €/t, lisätään logistiset ja muut kustannukset sekä jätettä välittävän yrityksen kate, muodostuu jätteen käsittelylle hinta, jota jätteen haltija joutuu vertaamaan jätteen loppusijoituksen hintaan lähtömaassa. (GemiFin 2014.)

LÄHTEET

Eesti Energia 2014, käyttöinsinööri Dmitri Širokovin alustus, laitosesittely ja Eesti Energian materiaalit.

GemiFin 2014, projektipäällikkö Pasi Saarisen alustus ja GemiFin Oy:n materiaalit.

Eduskunta 2014. Hallituksen esitys HE 126/2014, www.eduskunta.fi, luettu 13.11.2014.

SUURI YLEISÖTILAISUUS YMPÄRISTÖTERVEYDEN PROJEKTITYÖNÄ

Laura Heikkinen & Mari Järvenmäki & Maria Rahkola

Työelämälähtöinen opiskelu on tämän päivän keskeisiä teemoja. Mitä useampiin työelämälähtöisiin projekteihin ja toimeksiantoihin opiskelija pääsee opintojensa aikana osallistumaan, sitä valmiimmat valmiudet hän saa työelämään siirtyessään. Työelämäprojekteissa opiskelija pääsee soveltamaan aiemmin oppimaansa ja oppimaan uutta. Osan työelämäprojekteista opiskelijat hankkivat itse ja ehdottavat niitä sovellettaviksi opintoihin korvaamaan opintojaksoja. Partiolaisten suurjuhlan ympäristöterveydellisten seikkojen varmentaminen ja vastaaminen niistä on yksi esimerkki tällaisesta opiskelijaprojektista.

Partiolaisten suurjuhla

Suurjuhla on Suomen partiolaisten seitsemän vuoden välein järjestettävä kaupunkitapahtuma, joka kerää viikonlopuksi yhteen tuhansia partiolaisia ympäri Suomen. Kesällä 2014 Suurjuhla järjestettiin ensimmäistä kertaa Kymenlaaksossa, tapahtuman keskittyessä Kouvolaan. Osallistujia Suurjuhlassa oli noin 8500 ja tapahtumapisteitä oli useita ympäri kaupunkia. Osallistujat yöpyivät tapahtuman ajan lähialueen kouluilla sekä nuoris- ja seurakuntataloilla. Ruokailut hoidettiin aamu- ja iltapaloja lukuun ottamatta tapahtumapisteissä kenttäruokailuna.

Ympäristöterveydessä suureksi yleisötilaisuudeksi lasketaan tapahtumat, joihin odotetaan yli 500 osallistujaa yhtä aikaa, joten Suurjuhlaa suunniteltaessa kiinnitettiin huomiota samoihin asioihin kuin mitä tahansa muuta suurta yleisötilaisuutta järjestäessä. Partiotapahtuma ei vastaa aivan perinteisiä suuria tapahtumia, vaan osallistujat kiertävät erilaisia toimintapisteitä ja esimerkiksi ruokailevat ohjatusti. Tapahtuman partiomaisen luonteen ja suuren osallistujamäärän vuoksi jätehuoltoon, hygieniaan ja elintarvikkeiden turvallisuuteen tuli kiinnittää erityistä huomiota.

Ympäristöterveydellä tarkoitetaan ihmisten suojelemista elinympäristön haitallisilta tekijöiltä. Tässä tapauksessa ympäristöterveydelliset näkökulmat tuli huomioida muun muassa majoitusjärjestelyissä, jätehuollossa ja käymäläjärjestelyissä, melussa ja elintarviketurvallisuuksessa sekä muissa viranomaisten edellyttämässä seikoissa. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, ettei kenttäruekailuissa lautasille päädy hiekkaa tai etteivät tapahtuman jätteet leviä ympäristöön.

Majoitusjärjestelyissä huomioitavaa

Majoitusta suunnitellessa tulee huomioida alueelliset, tässä tapauksessa Kymenlaakson pelastuslaitoksen tilapäismajoitusohjeen vaatimukset. Tapahtumalle laadittavassa pelastussuunnitelmassa on kerrottava, miten tilapäismajoitus järjestetään turvallisesti ja mitä riskejä siihen liittyy. Kaikissa tiloissa sekä uloskäytävillä on oltava palovaroittimet ja kaikista tiloista on oltava kaksi poistumistietä. Majoittujille on varattava tilaa alle 200 m² tiloissa 3 m²/henkilö ja suuremmissa tiloissa 10 m²/henkilö. Majoituksen järjestämisessä tehtiin yhteistyötä muun muassa Kouvolan kaupungin ja Kymenlaakson Pelastuslaitoksen kanssa. Suurjuhlan majoituksen suunnittelu aloitettiin kartoittamalla kaikki Kouvolan alueen koulut, nuorisotalot ja muut vastaavat majoitukseen soveltuviksi arvelut tilat. Tiloissa tuli erityisesti huomioida pelastusteiden riittävyys ja lisäksi niiden soveltuvuutta arvioitiin aistinvaraisesti. Huomiota kiinnitettiin asumisterveydellisiin seikkoihin, kuten mahdollisiin kosteusvaurioihin, haittaaviin hajuihin ja ilmanvaihdon toimivuuteen. Epäilyttävissä kohteissa tehtiin pintakosteusmittauksia ja havaittiin poikkeamia. Muutamia kohteita hylättiin mittauksissa saatujen poikkeavien tulosten sekä näkyvien vaurioiden takia. Tapahtuman aikana majoituksesta huolehti erillinen majoitustiimi.

Jätehuolto ja käymälät

Jätehuollon ja hygienian järjestelyiden tulee perustua sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetukseen 405/2009 suurten yleisötilaisuuksien hygieenisistä järjestelyistä ja jätehuollosta. Asetuksen mukaan hygieenisistä järjestelyistä eikä jätehuollosta saa aiheutua terveyshaittaa. Suurjuhlan osallistujamäärä oli noin 8500 henkilöä, joten asetuksen määritelmä täyttyi moninkertaisesti. Käymälöiden määrää ohjaa edellä mainittu STM:n asetus ja jätehuoltoa puolestaan jäte- ja terveydensuojelulainsäädäntö sekä alueelliset jätehuoltomääräykset. Kouvolan kaupungin laatiman tapahtumajärjestäjän oppaan mukaan tapahtuman järjestäjä on vastuussa alueen siisteydestä ja riittävästä jätteiden lajittelusta ja kuljetuksesta.

Käymälät

Käymälöiden osalta Suurjuhlan järjestely erosi esimerkiksi musiikkifestivaalista siten, että ohjelmapisteitä oli useita ympäri kaupunkia ja jokaisessa osallistujamäärä oli suuri. Toisaalta tapahtumassa ei ollut alkoholitarjoilua, joka nostaa aina WC:iden tarvetta.

Lauantai-illan pääjuhla ja sunnuntainen paraatin päätös olivat eri puolilla kaupunkia, joten käymälöitä oli varattava kaksinkertaisesti osallistujamäärään nähden. Yhteensä käymälöitä oli 122, joista kolme inva-WC:tä ja lisäksi 36 pisuaaripaikkaa. Ne sijoitettiin eri ohjelmapisteille niin, että isommissa ohjelmapisteissä oli enemmän käymälöitä ja pienissä vähemmän. Ruokailupaikkojen yhteyteen sijoitettiin eniten käymälöitä, 10 - 15 kumpaankin lauantaipisteeseen (kuva 1) ja yli 30 sunnuntaiseen ruokailuun. Käymälöiden sijoittelu ja määrä tuntuivat järkeviltä, eikä pahoja jonoja päässyt muodostumaan. Käymälöiden siisteydestä ja paperin riittävydestä huolehdittiin tapahtumapäivien aikana ympäristötiimin voimin, lisäksi käymälät tyhjennettiin ja huollettiin palveluntarjoajan toimesta kerran. Käymälöistä tehtiin sunnuntaamuna huollon jälkeen pintapuhtausnäytteenotto, jonka tulosten perusteella käymälöiden hygieniataso puhdistuksen jälkeen oli erittäin hyvä.



KUVA 1. Käymälät lauantaipuhtausalueella. Pisuaarit on sijoitettu näkösuojan koppivessojen taakse. (kuva Toni Sakki)

Jätehuollon järjestäminen

Jätehuolto järjestettiin ostopalveluna, jolloin palveluntarjoaja toimitti tarvittavat roska-astiat ja jätesäkit sekä huolehti jäteastioiden tyhjentämisestä ja jätteiden kuljetuksesta. Jäteastioita oli yhteensä noin 200 kappaletta ja ne tyhjennettiin tapahtumapäivien välissä sekä tarvittaessa. Tapahtumassa haluttiin toteuttaa partion arvomaailmaa ja panostaa lajitteluun vähimmäismääräyksiä laajemmin. Jäteastioita toimitettiin jokaiseen ohjelmapisteeseen, ja jätehuoltoa suunniteltaessa otettiin huomioon eri ohjelmapisteissä syntyvät erilaiset jätelajit. Tapahtumassa kerättiin erikseen energijätettä, biojätettä, loppujätettä ja pahvia. Lisäksi palautuspulloille oli omat keräysastiat kioskien ja kahviloiden yhteydessä.

Lajittelun onnistuminen haluttiin varmistaa selkeillä, kuvallisilla ohjeilla (kuva 2), mutta käytännössä suulliset ohjeet tai kädestä pitäen opastaminenkaan eivät taanneet onnistunutta lopputulosta. Koska kotitalouksissa lajittelu saattaa poiketa kaupungittain, eivät Suurjuhlassa käytettyjen jäteastioiden värit tai ohjeet tuntuneet tutuilta. Myös biohajoavan näköiset lautaset aiheuttivat hämmennystä, koska ne tuli lajitella energijätteeseen biojätteen sijaan. Lautasen mukana energijätteeseen meni myös paljon ruoan tähteitä, vaikka biojäteastia oli parin askelen päässä.



KUVA 2. Lajittelulinja ohjeineen (kuvat Maria Rahkola)

Elintarvikkeiden turvallisena säilyminen kuljetuksen ja jakamisen aikana

Elintarviketurvallisuuden suurimman haasteen toi ruokailujen sijoittuminen ulos, kenttäolosuhteisiin. Kaksi kolmesta ruokailupaikasta oli pohjaltaan hiekkaa, joten pölyn joutuminen ruokaan oli etukäteen suurin huolenaihe. Ruokailujen lisäksi joissakin ohjelmapisteissä oli kahviloita/kioskeja, joissa kylmälaitteiden toiminta oli aggregaattien varassa.

Ruokailuille ja kahvilatoiminnalle laadittiin omavalvontasuunnitelma, joka sisälsi myös siivoussuunnitelman. Omavalvontasuunnitelman runkona käytettiin Kouvolan kaupungin pohjaa kahviloiden ja ravintoloiden omavalvontasuunnitelmalle, mutta muutoksia tehtiin tapahtuman erityisyyden huomioon. Muun muassa ruokailualueiden pölyämättömyys ja ruuan suojaaminen tuli ottaa huomioon, sillä ruuanjako tapahtui joko hiekka- tai asfalttikentällä ja ulkona ollessa oli varmistuttava myös siitä, etteivät esimerkiksi linnut pääse saastuttamaan ruokaa.

Ruoat tilattiin valmiina ulkopuoliselta toimijalta ja ne kuljetettiin Juvalta, noin kahden tunnin ajomatkan päästä, lämpiminä suoraan ruokailupaikoille. Ruuan lämpötilaa seurattiin matkan aikana, kuorman saapuessa ruokailupaikalle, sekä useamman kerran ruokailun aikana. Lämpötilat eivät kertaakaan alittaneet vaatimusten mukaista + 60 °C rajaa (kuva 3). Kustakin ruokailupaikasta otettiin kaksi rinnakkaisnäytettä kaikilla ruokailukerroilla. Näytteet pakastettiin ja niitä säilytettiin kolme viikkoa ruokamyrkytyspäilyiden varalta.



KUVA 3. Ruuat pysyivät laatikoissa lämpiminä (kuva Maria Rahkola)

Lauantaina ruokailut järjestettiin kahdessa erillisessä pisteessä, joissa kummasakin ruokaili kerrallaan noin 4300 osallistujaa porrastetusti. Sunnuntain lounas oli kaikille osallistujille yhteinen. Ruuan jako tapahtui telttakatosten alle sijoitetuilta linjastoilta. Jakolinjastojen alustan pölyämättömyys varmistettiin sijoittamalla linjat asfaltille tai peittämällä hiekka-alusta pressuilla (kuva 4). Lisäksi hiekka-alustat kasteltiin ennen tapahtumaa Kouvolan kaupungin toimesta.



KUVA 4. Ruuanjakolinjasto, hiekkakentällä linjaston alusta on peitetty pressuilla pölyämisen estämiseksi (kuva Toni Sakki)

Kaikki ruuat olivat laktoosittomia ja lähtökohtaisesti mahdollisimman monelle allergisellekin sopivaa. Erityisruokavalioidelle oli kaikissa ruokailupaikoissa oma jakolinjansa, joka oli merkitty selkeästi. Aikuiset huolehtivat, että heidän vastuullaan olevat lapset saivat sopivaa ruokaa. Jakajat annostelivat ruuan lämpöastioista ruokailijoille (kuva 5).



KUVA 5. Ruuan jako (kuva Laura Heikkinen)

Ruokailuissa käytettiin kertakäyttöastioita muista partiotilaisuuksista poiketen, koska tiskausmahdollisuutta ei ollut. Osallistujia oli ohjeistettu ottamaan omat lusikat ja mikit mukaan, mutta niitäkin sai tarvittaessa kertakäyttöisinä jakolinjalta. Ruokailu tapahtui partiomaisesti kentällä, pääasiassa istuinalueilla tai kuormalavoilla istuen (kuva 6).



KUVA 6. Kenttäruokailu partiomaiseen tyyliin (kuva Maria Rahkola)

Yhteistyö viranomaisten kanssa

Suuri yleisötilaisuus vaatii järjestäjältä monien ilmoitusten ja suunnitelmien tekemistä ja viranomaisen puolelta näiden käsittelemistä ja hyväksymistä. Mikäli kyseisenlainen tapahtuma järjestetään hyvin harvoin, tai sillä on muita erityispiirteitä, tulee viranomaisellekin eteen mahdollisesti täysin uusia näkökulmia.

Viranomaiselta ja järjestävältä taholta vaaditaan sujuvaa yhteistyötä, jotta järjestäjä pystyy hoitamaan vaaditulla tavalla kaikki luvanvaraiset tai ilmoitusta vaativat asiat. Samoin viranomainen saa järjestäjältä tietoa siitä, miten tapahtuman erityispiirteet vaikuttavat. Esimerkiksi suurjuhlan ruokailuiden osalta ympäristöterveysvalvontaviranomaisten kanssa keskusteltiin siitä, voivatko ruokailijat syödä maassa istuen. Koska partiossa tämä ei ole mitenkään poikkeuksellista, vaan enemmänkin itsestäänselvyys, katsottiin menettely sopivaksi.

Ympäristö- ja terveysvalvontaan liittyen Suurjuhlaan tehtiin ilmoitus suuresta yleisötilaisuudesta, meluilmoitus ja melunmittausuunnitelma, ilmoitus elintarvikkeiden tilapäisestä myynnistä, omavalvontasuunnitelma, jätehuoltosuunnitelma sekä kuluttajaturvallisuuslain mukainen ilmoitus ohjelmapalvelusta. Melua mitattiin partiokylässä Kouvolan keskustan kävelykadulla, sekä kaikille yhteisissä juhlissa KSS Areenalla. Mittaustulokset ilmoitettiin välittömästi miksauskoppiin, jossa tehtiin tarvittavat muutokset äänenvoimakkuuteen. Kouvolan kaupungin ympäristö- ja terveysvalvonnan kanssa tehtiin tiivistä yhteistyötä edellä mainittujen asioiden kuntoon saamiseksi.

Millaista oppimista projektityöskentelystä saa

Projektissa opiskelijat pääsivät soveltamaan hyvin laajasti teoriassa opintojaksoilla läpikäytyjä asioita. Samalla päästiin testaamaan oman osaamisen tasoa ja oppimaan uutta. Yhteistyö viranomaisten kanssa ja muiden Suurjuhlajärjestelyissä mukana olevien tahojen kanssa antaa hyvää kokemusta siitä, miten käytännön työelämässä asioista joutuu neuvottelemaan ja tarvittaessa hakemaan kaikille sopivaa kompromissiratkaisua.

Näin suuren yhden kokonaisuuden projektia ei kovinkaan usein opiskelijoille ole tarjolla. Tässäkin tapauksessa aiheen löysivät Heikkinen ja Rahkola itse ja tarjosivat sitä projektikevään 2014 opintoihin heidän opinnoikseen. Ohjaajan kannalta tällainen toiminta on ihanteellista, sillä näin opiskelija saa itseään aidosti kiinnostavan projektiaiheen ja osoittaa omaa aktiivisuuttaan etsimällä itse aiheensa. Tähän suuntaan projektiopintoja voisi jatkossa kehittää enemmänkin.

BIOKAASUSTA LIIKENNEPOLTTOAINEITA

Panu Joubkimo & Sami Luste & Hanne Soininen

Iso osa vuoden 2013 lopussa toiminnassa olleista biokaasulaitoksista oli yhteismädätykseen perustuvia mesofilisiä märkämädätyslaitoksia, joiden kannattavuus perustui investointitukiin sekä raaka-aineen käsittelystä saataviin porttimaksuihin. Alan tämän hetken kehityssuuntana on kuitenkin uusien liiketoimintamahdollisuuksien käyttöönotto, kuten esimerkiksi biokaasun hyödynnys liikennepolttoaineena. Biokaasun liikennekäyttö kasvoikin Suomessa viime aikana 168 % (Huttunen & Kuittinen 2014).

Huhtikuussa 2014 BioSaimaa-klusteri järjesti tutustumisretken biometaanin tuotantoon ja liikennekäyttöön liittyen. Retki kohdistui Joutsaan Joutsan Ekokaasu Oy:n biokaasulaitokselle ja tankkausasemalle. Biosaimaa on eteläsaavolainen bioenergiaklusteri, jonka toimintaa koordinoi Innovaatio- ja teknologiakeskus Miktech Oy.

Yleistä biokaasun tilanteesta Suomessa

Biokaasu on energian tuotantomuoto, jonka yleistymistä on Suomessa ennustettu aina 70-luvulta lähtien. Tällä hetkellä käynnissä on kuitenkin useita rakennushankkeita, ja yhä useammat yhtiöt ja julkiset toimijat kehittävät biokaasusta uutta liiketoimintaa. Useat jo käytössä olevat laitokset ovat tehostaneet toimintaansa investoiden laajemman materiaalikirjon (ja tehostetun biokaasuntuoton) mahdollistavaan esikäsittelyyn tai lopputuotteiden lisääntyneeseen jalostamiseen ja hyödynnykseen liikennekäytössä tai ravinnetuotteina (Laitinen 2014).

Biokaasulaitosrekisterin mukaan Suomessa toimi vuoden 2013 lopussa yhteensä 39 biokaasulaitosta, joista 12 oli maatilakohtaisia biokaasulaitoksia, kiinteitä yhdyskuntajätettä käsiteltiin 11 biokaasulaitoksessa, ja 16 biokaasureaktoria sijaitsi yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä. Laitoksissa tuotettiin biokaasua 59 milj.m³ (261 GWh). Tämän lisäksi 40 kaatopaikalla otettiin talteen jätepenkasta vapautuvaa biokaasua noin 95 milj.m³ (295 GWh). (Huttunen & Kuittinen 2014.)

Reaktori- ja kaatopaikkabiokaasua käytettiin vuonna 2013 liikennepolttoaineena 11 GWh, joka vastaa ~2 % tuotetun biokaasun käytöstä. Kehityssuunta on kuitenkin erittäin positiivinen, sillä biokaasun liikennekäyttö kasvoi vuoden 2013 aikana 168 % vuoden 2012 tasoon verrattuna. Biokaasujouneuvojen lukumäärä oli vuoden 2013 lopussa noin 1600 kappaletta. Vuoden 2014 aikana on (syyskuun alkuun) valmistunut neljä uutta biokaasujalostamo, mikä johtaa biokaasun liikennekäytön kasvutrendin jatkumiseen myös vuoden 2014 aikana (Huttunen & Kuittinen 2014).

Case - Joutsan Ekokaasu Oy

Joutsan Ekokaasu Oy:ssä meidät otti vastaan yrityksen toimitusjohtaja Petri Parhiala, joka esitteli meille biokaasun tuotantolaitosta sekä liikennepolttoaineen tankkausasemaa. Teknisenä asiantuntijana tutustumiskierroksellamme oli mukana myös laitostoimittaja Metener Oy:n edustaja projekti-insinööri Jussi Läntelä. Joutsan Ekokaasu Oy on viiden kunnan alueen, Joutsan, Hartolan, Kangasniemen, Hankasalmen ja Laukaan jätehuoltoalan yrittäjien ja biokaasuyrittäjä Erkki Kalmarin perustama yhtiö. Osakkaana yhtiössä on lisäksi yksityisiä rahoittajia sekä Suomessa bio- ja maakaasuliiketoimintaa harjoittava Gasum Oy. Laitoksen rakentamista ovat lisäksi tukeneet Finnvera, Joutsan kunta sekä Suur-Savon Energiasäätiö. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)

Joutsan Ekokaasu Oy:n tuotantolaitoksen rakennustyöt alkoivat kesällä 2013 ja vierailimme aikaan huhtikuussa 2014 laitoksella oli koeajo käynnissä. Myös tankkausasema oli juuri otettu koekäyttöön. Joutsan Ekokaasu Oy:n tankkausasema on toinen maakaasuverkon ulkopuolinen julkinen biokaasun tankkausasema Suomessa (kuva 1). Joutsan Ekokaasu Oy:n biokaasulaitos ja kaasunpuhdistamo tuottaa biometaania noin 390 tonnia vuodessa, josta biokaasulaitoksen oman energian kulutuksen jälkeen biometaania liikennekäyttöön jää noin 300 tonnia. Tämä vastaa noin 450 000 litraa bensiiniä. Virallisesti Joutsan biokaasulaitoksen avajaisia vietettiin 4.10.2014. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)



KUVA 1. Toimitusjohtaja Parhiala demonstroi aseman toimintaa tankkaamalla paineistettua biometaania Hummer-maastokuorma-autoonsa Joutsan Ekokaasu Oy:n biometaanin tankkausasemalla (kuvat Hanne Soininen ja Panu Jouhkimo)

Biokaasulaitos hyödyntää puhdistamolietettä ja biojätettä

Joutsan Ekokaasu Oy:n biokaasun tuotantolaitos rakennettiin toimitusjohtaja Parhialan mukaan paikalliseen biojätteen ja puhdistamolietteen käsittelytarpeeseen. Laitoksen sijainti määräytyikin siten samalle kiinteistölle Joutsan kunnallisen jätevedenpuhdistamon kanssa, josta puhdistamoliete johdetaan biokaasulaitoksen raaka-aineeksi. Puhdistamolietteen lisäksi laitos käsittelee rasvakaivo-, sako- ja umpikaivolietettä, lantaa sekä kotitalouksien, kauppojen ja ravintoloiden biojätettä sekä rasvoja ja öljyjä. Puhdistamolalta lietettä tulee 2000 tonnia, erilliskerättyä biojätettä 1000 tonnia, sako-, umpi- ja rasvanerotuskaivojen lietettä 1750 tonnia, yhteensä 4750 tonnia vuodessa. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)

Laitoksen lopputuotteina ovat peltolevitykseen maanparannusaineeksi ja lannoitteeksi menevä prosessijäännös, 4358 tonnia vuodessa, sekä liikennepolttoaineeksi jalostettava biometaani, 392 tonnia vuodessa. Biokaasulaitoksen prosessi on suljettu, eikä sitä ole liitetty vesi- ja viemäriverkkoon, eikä jätevesiä prosessin aikana synny. Laitoksella esimerkiksi pesuihin ja puhdistuksiin käytettävä vesi tulee kunnan vesijohdosta ja jätevedet ohjataan biokaasuprosessiin. Biokaasulaitos käyttää itse tuottamastaan energiasta 15–25 % ja loppu on hyödynnettävissä laitoksen ulkopuolella liikennepolttoaineena. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)

Reaktoreissa biomateriaali muuttuu biokaasuksi

Prosessiin käytettävät materiaalit syötetään reaktoriin katetun 200 m³:n syöttösäiliön kautta (kuva 2). Matalan kiintoainepitoisuuden omaavat jakeet, kuten lietteet, kipataan suoraan syöttösäiliöön. Kiinteät biojätteet kipataan



KUVA 2. Matalan kiintoainepitoisuuden omaavat jakeet, kuten lietteet, kipataan suoraan katettuun syöttösäiliöön (kuva Hanne Soininen)

materiaalien vastaanottotilassa sijaitsevaan vastaanottosiiloon. Varastosiihosta kiinteä biojäte johdetaan murskattavaksi seulakauhalla 12 mm:n palakokoon. Murskaamalla kiinteä biojäte pienempään palakokoon hajoaa se mikrobien käsittelyssä nopeammin ja tehokkaammin. Murskattu biojäte johdetaan syötösäiliöön sekoitettavaksi. Tarvittaessa säiliöön voidaan lisätä nestettä biokaasureaktorista materiaalin kuiva-ainepitoisuuden alentamiseksi. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)

Laitoksen primäärireaktori on jatkuvatoiminen, täyssekoitteinen upposekoittimin varustettu 700 m³ biokaasureaktori. Jatkuvatoimisessa reaktorissa reaktoriin pumpataan ja reaktorista pumpataan materiaalia jatkuvasti siten, että panoksen määrä pysyy koko ajan vakiona. Keskimääräinen viipymä primäärireaktorissa on 60–70 vuorokautta. Jatkuvatoimisen reaktorin etuja ovat esimerkiksi syötteiden lisäämisen automatisointi ja suhteellisen vakaa kaasuntuotto. Reaktori rakentuu kahdesta, maanalaisesta ja maanpäällisestä osasta ja on perustettu siten, että reaktorin maanalainen betonirakenteinen säiliöosa sisältää reaktorin käyttölaitteet ja maanpäällinen osa muodostuu kaasutiivistä kaksikerroksisesta hupusta, niin kutsutusta kaasukellosta, joka toimii myös kaasuvaramona. Reaktorin prosessilämpötila pidetään mesofilisellä alueella 35–45 °C. Tarvittaessa reaktoria lämmitetään reaktorin sisällä olevan lämmönvaihdinputkiston avulla. Primäärivaiheessa orgaanisen aineen hajoamisesta metaanin muodostumisesta tapahtuu noin 85 %. Primäärireaktori on varustettu yli- ja alipaineventtiilein (kuva 3). (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)



KUVA 3. Primäärireaktorin maanpäällinen osa, kaasukello, toimii myös kaasuvaramona (kuva Hanne Soininen)

Hygienisoinnilla varmistetaan lannoitetuotteen jatkohyödyntämisen turvallisuus

Primäärireaktorista materiaali johdetaan hygienisointiyksikköön, joka on lämpöeristetty pumppusekoituksella varustettu 20 m³:n säiliö. Säiliötä lämmitetään ulkoisella lämmönvaihtajalla, johon lämpö tuotetaan prosessissa syntyvällä biokaasulla. Automatisoitu lämpötilan monitorointi ja ohjaus varmistavat, että panos saavuttaa vaaditun 70 °C:n lämpötilan 1 tunniksi ennen pumppausta jälkikaasureaktoriin. Prosessi on mitoitettu siten, että hygienisointi suoritetaan kerran vuorokaudessa. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)

Lietteen johtaminen hygienisointiyksiköstä 700 m³:n jälkikaasureaktoriin tapahtuu pumppupoistona. Pumppauksen yhteydessä hygienisointiyksiköstä vapautuvat hönkäkaasut puhdistetaan aktiivihiihuodattimin. Jälkikaasureaktori on toteutukseltaan primäärireaktorin kaltainen. Materiaalin laskennallinen viipymä on 60–70 vuorokautta. Loput, noin 15 % tuotetusta biokaasusta muodostuu jälkikaasutuksessa. Jälkikaasutuksella parannetaan prosessin saantoa, vähennetään kasvihuonekaasupäästöjä sekä ravinnehävikkiä ja hajuhaittoja. Jälkikaasureaktoria voidaan hyödyntää myös lietteen vuodenaikavarastointiin. Jälkikaasureaktorin yhteydessä oleva 590 m³:n kaasuväkästö mahdollistaa vajaan vuorokauden kaasun tuotannon varastoinnin.

Jälkikaasureaktorista prosessijäännös siirretään 2000 m³:n varastosäiliöön, joka tyhjenetään kahdesti vuodessa. Prosessijäännös hyödynnetään peltoviljelyksessä lannoitteena ja maanparannusaineena. Kaikkien säiliöiden pinnan korkeutta tarkkaillaan päivittäin ja ylitäyttö ehkäistään pinta-anturein ja etähälytysjärjestelmällä. Lisäksi laitos on varustettu kahdella erillisellä, itsenäisellä kaasunkäyttölaitteella, joita käyttämällä voidaan välttyä ylijäämäkaasun päästämistä ilmakehään. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)

Raakakaasusta liikennepolttoainetta puhdistamalla ja kuivaamalla

Primäärireaktori ja jälkikaasureaktori toimivat kaasuväkästöina, ja niistä kerätty biokaasu johdetaan kaasunpuhdistusyksikköön puhdistettavaksi. Kaasunpuhdistusyksikkö on konttirakenteinen ja perustuu vesipesutekniikkaan. Raakakaasu puhdistuu 10 metriä korkeassa kaasunpesutornissa, jossa raakakaasun sisältämä hiilidioksidi sitoutuu tornissa kierrätettävään veteen 7 baarin paineessa. Veteen sitoutunut hiilidioksidi vapautuu desorptiosäiliössä, josta se johdetaan taivaalle. Puhdistuksen jälkeen kaasu kuivataan ja hajustetaan ja sen metaanipitoisuus on 92–98 %. (Metener Oy 2014.) Kuvassa 4 on biometaanin välivarastointisäiliö, johon kaasu johdetaan puhdistamisen jälkeen.



KUVA 4. Biometaanin välivarastointisäiliö (kuva Hanne Soininen)

Puhdistuksesta kaasu johdetaan 6 baarin paineessa 15 m³:n välivarastosäiliön kautta, osa laitoksen lämpökattilan polttoaineeksi sekä osa tankkausasemalle pullovarastoon. Tankkausasemalla biometaani paineistetaan korkeapainepulloihin 270 baarin paineeseen (kuva 5). Tankkausaseman pullovaraston kapasiteetti on 2,7 m³ paineistettua biometaania ja riittää noin 20 henkilöauton perättäiseen tankkaukseen. Tankatessa biometaanin paine alennetaan 200 baarin paineeseen. Varsinainen tankkauspiste sijaitsee paineenkorotusaseman ja pullovaraston läheisyydessä. Tankkausasemalla paineistettu liikennekaasu mitataan ja laskutetaan kiloissa. Asemilla on lisäksi nähtävillä vertailuhinta bensiinilitraan. Maksaminen tankkausasemalla onnistuu pankki- ja luottokorteilla. (Joutsan Ekokaasu Oy 2014.)



KUVA 5. Tankkausaseman yhteydessä oleva kaasun paineistamo, kuivausyksikkö ja korkeapainepullovarasto (kuva Hanne Soininen)

LÄHTEET

Markku Huttunen, Ville Kuittinen 2014. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17. Tiedot vuodelta 2013. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences. ISBN 978-952-61-1566-5.

Joutsan Ekokaasu Oy 2014. Toimitusjohtaja Petri Parhialan laitosesittely ja Joutsan Ekokaasu Oy:n materiaalit.

Jarno Laitinen 2014. Biokaasuteknologian nykytila ja kehitystrendit Suomessa. Biokaasu-lehti 2/2014.

Metener Oy 2014. Projekti-insinööri Jussi Lätelän laitosesittely ja Metener Oy:n materiaalit.

METSÄNKÄSITTELYTAPOJEN MITATTAVAT KUORMITUSTEKIJÄT JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET PUULAN ALUEELLA

Arto Sormunen & Heli Lämsä

Metsätalouden toimenpiteet aiheuttavat vesistöihin hajakuormitusta, ja kuormitus huomataan parhaiten pienten purojen sekä lampien vedenlaadussa. Opinnäytetyössä selvitettiin metsänhakkuiden sekä ojitusten vaikutusta Puulaveden vedenlaatuun, ja opinnäytetyö liittyi Puulaveden luoteisosan hankkeeseen. Vedenlaatumuuttujina on käytetty fosforia, typpeä, värilukua, alkaliniteettia, happamuutta, nitraattityppeä ja kemiallista hapenkulutusta.

Maalajit ja hakkuutavat vaikuttavat ravinteiden kulkeutumiseen maaperässä. Puulaveden tutkimusalueen maalajeista suurin osa oli kivennäismaalajia sekä hakkuutavoista uudistus- ja avohakkuut olivat yleisimmät. Metsänhakkuiden vaikutus selvisi neljälle tutkimuskohteelle. Puulaveden yksittäiset metsänhakkuut olivat kuitenkin pienialaisia, joten niiden vesistövaikutukset olivat vähäisiä. Sen sijaan ojitusten vesistövaikutukset selvisivät neljälle tutkimuskohteelle. Turvemaiden ojitukset lisäävät ravinteiden vedenlaadun muutoksia, jolloin vesistövaikutukset voimistuvat. Puulaveden alueelle kohdistuvia suojelutoimia on syytä lisätä, sillä metsänhakkuut ja ojitukset lisäävät latvavesistöjen ravinne-, humus- ja happamuuskuormitusta. Metsänhakkuutapojen painopistettä tulisi siirtää enemmän harvennushakkuihin, jolloin autetaan hillitsemään ravinne- ja humuksen huuhtoutumia.

Johdanto

Metsätaloustoimenpiteet aiheuttavat vesistövaikutuksia lähinnä avo- ja uudistushakkuiden sekä ojitusten välityksellä. Kuormitustekijät koostuvat ravinne-, humus- ja happamuuskuormituksesta. Esimerkiksi avohakkuun jälkeen paljas maaperä altistuu eroosiolle, ja sadevedet vievät mukanaan niin humusta kuin ravinteita. Ympäristö- ja vesistövaikutukset näkyvät ravinteiden lisääntymisenä vesistöissä kasvattaen vesistöalueen levätuotantoa ja nostaten ravinteisuustasoa. Myös veden värin tummeneminen ja happamuuden aleneminen voivat olla merkkejä metsätalouden aiheuttamista vesistövaikutuksista. Metsätaloudesta tulevat ravinne- ja humuskuormat laimenevat vesistöjen suuriin

vesimassoihin, joten metsätalouden toimenpiteiden vaikutukset näkyvät parhaiten pienten jokien ja purojen sekä lampien vedenlaadussa. Vaikka vaikutukset näkyvät hiukan kohonneina tasoina pienissä vesistöissä useina vuosina, isommat aluetason vaikutukset jäävät vähäisiksi.

Metsänkäsittelytapojen ympäristövaikutukset

Metsätaloustoimenpiteiden, kuten avohakkuiden tai ojitusten, vaikutukset näkyvät parhaiten puhtaiden ja hyväkuntoisten vesialueiden vedenlaadussa. Puulaveden aineistossa vedenlaatumuuttujina käytettiin kokonaisfosforin- ja -tyypenpitoisuuksia, värilukua, alkaliniteettiä, happamuutta (pH), kemiallista hapenkulutusta (COD) sekä nitraattityppeä.

Fosfori on typen ohella rehevöitymiseen vaikuttava tärkeä ravinne, ja sitä käytetään vesistöjemme ekologisen luokittelun tukena (taulukko 1). Tyypillisesti metsätalouden toimenpiteistä johtuva kasvinravinnekuormitus vesistöihin on hajakuormitusta. Muita hajakuormalähteitä ovat maatalous, haja-asutus ja hulevedet. Hajakuormitus tulee useista kuormituslähteistä ja laajalta alueelta, joten hajakuormituksen arviointi sekä vedenlaadun tarkkailu on hankalaa.

TAULUKKO 1. Järvien fosfori- ($\mu\text{g/l}$) ja typpi- ($\mu\text{g/l}$) rehevyystasot (Vedenlaatuluokituksen raja-arvot ja lähteet)

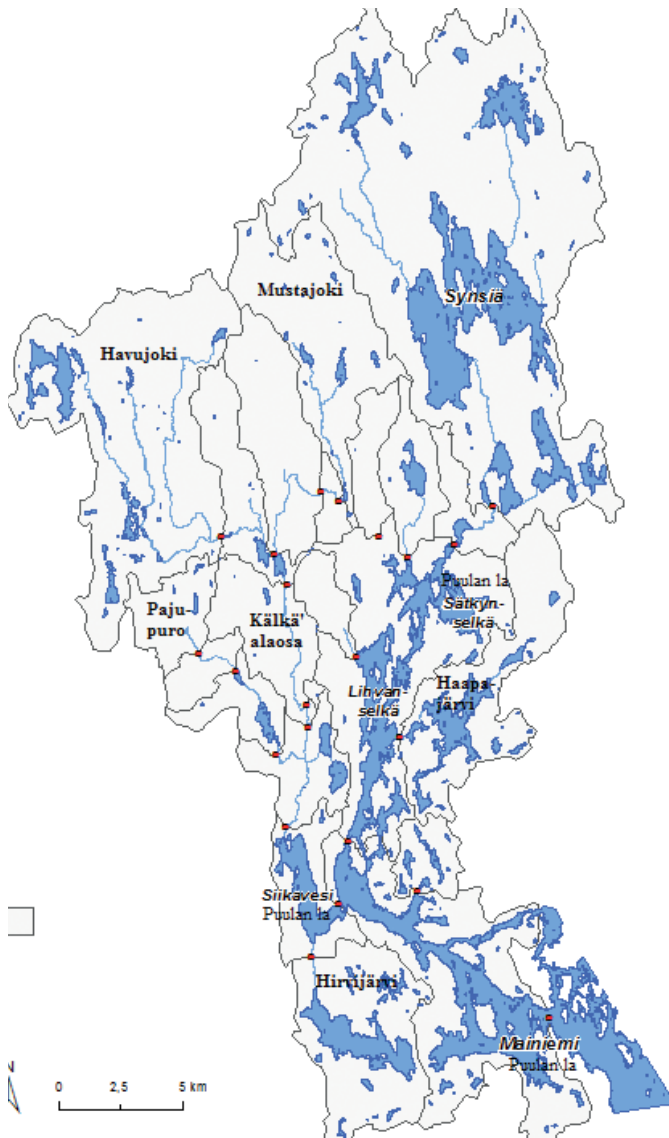
Fosforipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)	Vedenlaatu	Typpipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)
< 15	Karu	< 400
15–25	Lievästi rehevä	400–600
25–100	Rehevä	600–1 500
> 100	Erittäin rehevä	> 1 500

Toisaalta esim. väriluku vaihtelee valumaolojen mukaan, ja runsaat sateet aiheuttavat väriarvojen kohoamisen. Valuma-alueella sijaitsevien suoalueiden runsas määrä vaikuttaa värilukuun, eli mitä enemmän alueella on soita, sen ruskeampaa on veden väri. Vesistön humuspitoisuutta kuvaava kemiallinen hapenkulutus (COD) kertoo vedessä olevien kemiallisesti hapettavien orgaanisten aineiden määrästä. Suomen vesistöille on tyypillistä lievä happamuus johtuen juuri vesistöjen humuskuormasta. Ensisijaisesti avohakkuut lisäävät orgaanisen aineen huuhtoutumia, jolloin turvemaan humushuuhtouma saattaa lisääntyä huomattavasti.

Vaikutukset Puulaveden alueella

Puulaveden vedet ovat tunnettuja puhtaudestaan ja alueen vesistöjen kunto on herättänyt runsaasti keskustelua viime vuosina. Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristöteknologia koulutusohjelmassa opiskelija Heli Lämsä teki

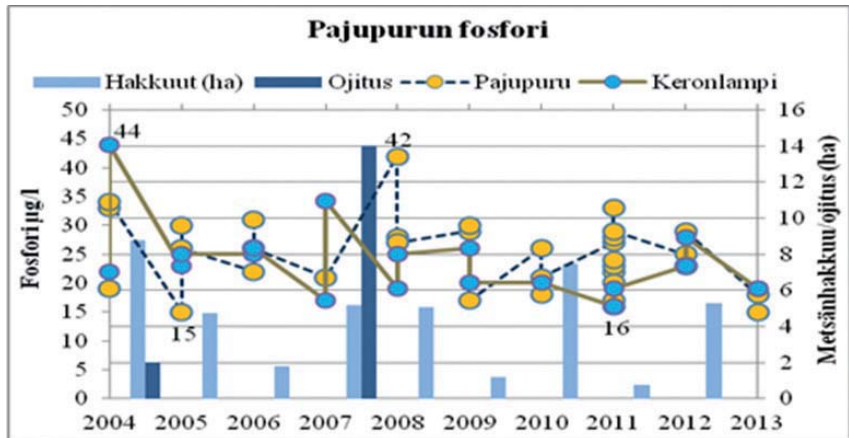
opinnäytetyönä selvityksen metsätaloustoimien vaikutuksista Puulaveden vesistöalueilla (kuva 1). Opinnäytetyössä selvitettiin Puulaveden luoteisosan metsänhakkuiden ja ojitusten aiheuttamaa vaikutusta alueen vedenlaatuun. Puulaveden tutkimuskohteita oli 22 kpl ja näiden pinta-ala oli yhteensä 61 385 ha. Tutkimusaineistot koostuivat Kangasniemen, Hirvensalmen, Joutsan ja Toivakan kuntien alueilta. Työssä käytettävä aineisto saatiin Mikkelin seudun ympäristöpalvelulta sekä hyödyntämällä vesianalyysejä Valtion ympäristöhallinnon palvelusta. Metsäkeskuksen ja Etelä-Savon ELY-keskuksen aineistot käsittivät metsänhaku- ja ojitustiedot, Corine Land Cover 2006-aineistot sekä ojametrit.



KUVA 1. Puulaveden luoteisosan tutkimusalue

Puulavedelle ravinteiden muutokset olivat lyhytaikaisia, ja pitoisuudet kasvoivat jo luonnostaan tulva-aikoina keväällä ja syksyllä. Lumien sulamisvedet ja rankkasateet vaikuttavat myös veden värilukuun ja kemialliseen hapenkulutukseen. Toisin sanoen, useat eri vedenlaatutekijät ovat riippuvaisia toisistaan. Esimerkkinä Puulan Havujoen alueelta havaittiin kohonneita fosfori-, typpi-, väriluku- ja COD-pitoisuuksia, koska vedenlaatumuuttajat olivat sitoutuneet humukseen ja tämä näkyi useissa eri laatutekijöissä.

Suuret vesimassat ja vaihtuvat veden virtaukset parantavat sekä laimentavat ravinne- ja humuskuormia. Joet, purot ja pienet lammet ottavat vastaan niin metsätaloudesta kuin muista maankäyttömuodoista tulevaa kuormitusta. Vedenlaatumuuttajien sekoittuminen isoon Puulaveden vesimassaan hidastaa muuttajien pitoisuuksien kohoamista. Useissa Puulaveden kohteissa oli näkyvissä ravinteiden ja humuskuorman lisääntymistä (kuva 2). Puulavedellä, kuten muuallakin, ravinne-, humus- ja happamuuskuormitukseen vaikuttavat valuma-alueen profiili ja hydrologia. Metsähakkuiden ja ojitusten ympäristövaikutukset ovat kokonaisuus, johon ovat vaikuttamassa monet tekijät.



KUVA 2. Pajupurun fosforipitoisuuden (µg/l), metsänhakkuiden (ha) ja ojitusten (ha) kuvaaja ajanjaksolla 2004–2013 (Lämsä 2014)

Ympäristövaikutuksiin ja ravinteiden kulkeutumiseen maalajilla on merkittävä osuus. Esimerkiksi turvemaat ja kivennäismaalajit eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan ja koostumukseltaan. Jos turvemaan osuus alueella oli korkea, olivat ravinteiden vedenlaadun muutokset voimakkaita. Turvemaille kohdistuneet suometsien avohakkuut vaativat usein rinnalleen ojituksia, jolloin ravinnehuuhtoumat lisääntyvät. Alueen korkea turvemaan osuus näkyy myös kohonneina humuspitoisuuksina ja tummempana värinä vesistöissä. Kivennäismailla on taas fosforia pidättävä vaikutus. Karkeilla maalajeilla, kuten hiekka ja sora, valunta ja huuhtouma voi olla määrällisesti suurta. Hienojakoi-

sisä maalajeissa veden liikkeet ovat hitaampia ja ravinteet ovat kiinnittyneet maaperän hiukkasiin ja niiden huuhtoutumisriski on pienempi. Yhtäkaikki, maaperän ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus metsätaloustoimien ympäristövaikutuksiin.

Yhteenveto

Metsätalouden vaikutukset näkyvät ensisijaisesti vesistön vedenlaadussa avo- ja uudistushakkuiden sekä ojitusten kautta. Metsänhoidon suunnitellulla hakkuutapojen painopistettä voidaan siirtää kohti harvennushakkuuta, jolloin vedenlaadun muutokset Puulavedellä olisivat vähäisiä. Kivennäismaiden avohakkuut lisäävät tulevaa valuntaa ja ravinnekuormitusta väliaikaisesti, varsinkin jos toimenpidealueet ovat hyvin laajoja. Toisaalta, myös ojitusten vesiensuojelua on syytä lisätä Puulavedellä, sillä turvemaille kohdistuneet suometsien avohakkuut ja ojitukset voivat aiheuttaa vedenlaadun muutoksia laajalla alueella.

LÄHTEET

Lämsä Heli 2014. Metsänhakkuu- ja ojitustoiminnan vaikutus vesistön vedenlaatuun Puulaveden luoteisosassa. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologia. Opinnäytetyö.

Vedenlaatuokituksen raja-arvot ja lähteet. Liite 3. Valtion ympäristöhallinto. PDF-dokumentti. Luettu 15.6.2014.

MYCOMETER-MENETELMÄN KÄYTETTÄVYYS OSANA TERVEYSHAITAN ARVIOINTIA

Sini-Sisko Kilpeläinen & Pia Haapea

Rakennusten sisäilmaongelmat ovat lisääntyneet viimeisten vuosikymmenten aikana merkittävästi. Tämän vuoksi myös terveydensuojeluviranomaisille tulee hoidettavaksi tuhansia terveyshaittaepäilyjä vuosittain. Epäiltäessä asunnoissa ja oleskelutiloissa olevan terveyshaittaa aiheuttavia tekijöitä tulee terveydensuojeluviranomaisen tehdä selvityksiä, tarkastuksia ja mittauksia sen toteamiseksi tai poissulkemiseksi. Kosteus- ja homevauriot ovat yksi suurimmista syistä huonoon sisäilman laatuun. Tällä hetkellä ainoastaan perinteinen, ns. viljelymenetelmä on ainoa hyväksytty mikrobivaurioiden todentamismenetelmä. Viljelymenetelmä on hidas, tuloksien saamiseen menee aikaa useita päiviä, joten on kehitetty uusia vaihtoehtoisia tutkimusmenetelmiä. Yksi tällainen on Mycometer-pikatesti, jonka soveltuvuutta homesienten määrälliseen mittaamiseen osana terveyshaitan arviointia tutkittiin tässä Ympäristöteknologian YAMK-opinnäytetyössä

Sini-Sisko Kilpeläisen opinnäytetyössä tutkitaan Mycometer-pikatestin toimivuutta ja käytettävyyttä erilaisissa tilanteissa ja kohteissa homevaurioepäilyksen todentamiseksi. Työ on erinomainen esimerkki YAMK-tutkintoon kuuluvan opinnäytetyön integroinnista työelämän vaatimuksia palvelemaan selvitystyöhön. Työn painoarvoa lisää tiivis yhteistyö Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) kanssa. THL määrittä mm. kohteista otetuista vertailunäytteistä mikrobipitoisuudet perinteisellä viljelymenetelmällä. THL jatkaa vielä menetelmän tutkimusta.

Yleistä

Sisäilman terveellisyyteen vaikuttavat monet asiat, kuten erilaiset fysikaaliset tekijät (ilmanvaihto, sisäilman lämpötila ja kosteus). Myös rakennusmateriaaleista peräisin olevat kemialliset epäpuhtaudet ja sisäilman hiukkaspitoisuus voivat heikentää sisäilman laatua. (Valvira 2014). Terveydensuojelulain mukaan terveyshaitalla tarkoitetaan ”*ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä*”. Tämä voidaan tulkita myös niin, että terveyshaittana pidetään myös altistumista terveydelle haitalliselle tekijälle. Mikrobin aiheuttaman terveyshaitan toteamiseksi tulee mikrobikasvusto

olla silmin havaittavissa tai mikrobiologisilla tutkimuksilla todennettu. (STM 2003, 76.) Hyväksytyt mikrobivaurioiden tutkimusmenetelmät on määritelty Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeessa. Asumisterveysohjeen mukaan mikrobien pitoisuudet voidaan määrittää viljelymenetelmin pinta-, rakennusmateriaali- ja ilmanäytteestä. Ohjeessa korostetaan ohjeiden mukaisista näytteenottoa ja näytteiden tutkimista. (STM 2003, 77.)

Mycometer-menetelmä

Rovakaaren ympäristöterveydenhuollon käyttöön hankittiin syksyllä 2013 Mycometermenetelmä. Mycometer on pikatesti homesienten määrälliseen mittaamiseen ja sillä voidaan analysoida pinta-, materiaali- sekä ilmanäytteitä. Mycometer-menetelmän ovat kehittäneet tohtorit Morten Reeslev ja Morten Miller yhdessä tutkimusryhmänsä kanssa Kööpenhaminan yliopistossa vuonna 1998. Testi perustuu useissa homesienissä esiintyvän beta-N-acetylhexosaminidase-entsyymin (NAHA-entsyymi) aktiivisuuden mittaamiseen fluorometrisesti. Kyseistä entsyymiä on muun muassa laitevalmistajan tutkimuksissa todennettu monista eri homelajeista. Yhteenveto näistä homelajeista on esitetty taulukossa 1. Jo tutkittujen homelajien lisäksi on todennäköistä, että NAHA-entsyymiä esiintyy myös monissa muissakin homelajeissa. Mycometer-testillä voidaan mitata sekä elävän että kuolleen sienikasvuston kokonaismäärä, kun nykyisin Suomessa käytössä olevalla viljelymenetelmällä saadaan selvitettyä ainoastaan elinkykyisten mikrobien määrä. Mycometermenetelmällä ei voida kuitenkaan määrittää aktinomykeettien määrää, eikä se myöskään erittele homesienten lajistoa. (Reeslev 2013a).

TAULUKKO 1. Mikrobisuvut, joissa NAHA-entsyymien esiintyminen on tutkimuksin osoitettu (Reeslev 2013a)

<i>Alternaria tenuissima</i> IBT.		<i>Agaricus bisporus</i>
<i>Absidia</i> sp.	<i>Mortirella</i> sp. AGM 17	<i>Aspergillus nidulans</i>
<i>Acremonium inflatum</i> AAS – Mk001	<i>Mucor hiemalis</i> AGM 27	<i>Aspergillus niger</i>
<i>Artrobotrys</i> sp.	<i>Mucor racemosus</i> AAS 310	<i>Aspergillus oryzae</i>
<i>Ascobolus crenulatus</i> AAS	<i>Ophiostoma ulmi</i> AGM 20	<i>Aspergillus tamaril</i>
<i>Aspergillus flavus</i> AGMf19	<i>Paecilomyces farinosus</i> AGM 5	<i>Beauveria bassiana</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i> IBT 18111	<i>Penicillium commune</i> IBT 13713	<i>Bipolaris sorokiniana</i>
<i>Aspergillus niger</i> AGM802	<i>Penicillium chrysogenum</i> Wisconsin 54-1255	<i>Botrytis cinerea</i>
<i>Aspergillus ochraceus</i>	<i>Penicillium solitum</i>	<i>Coccidioides immitis</i>
<i>Aspergillus oryzae</i> AGM 11.	<i>Penicillium soppii</i> AGM 15	<i>Gliocladium virens</i>
<i>Aspergillus versicolor</i> IBT 13738	<i>Phoma</i> sp. IBT 8996	<i>Metarrhizium anisopliae</i>
<i>Aureobasidium pullulans</i> QM 3092	<i>Rhizomucor pusillus</i> AAS 300	<i>Mucor rouxii</i>
<i>Beauveria</i> sp AGMf35.	<i>Rhizopus oryzae</i> AGM 804	<i>Nomuraea rileyi</i>
<i>Botrytis cinerea</i> CBS 121.39	<i>Schizophyllum commune</i> AGM 24	<i>Penicillium chrysogenum</i>
<i>Candida albicans</i> 898 A	<i>Scopulariopsis</i> sp.	<i>Penicillium oxalicum</i>
<i>Cladosporium herbarum</i> AGM 8	<i>Sordaria fimicola</i> AAS 17	<i>Scizophyllum commune</i>
<i>Eurotium repens</i> AAS 36	<i>Stachybotrys chartarum</i> IBT 9694	<i>Sclerotinia fructigena</i>
<i>Fusarium graminearum</i> A 3/5	<i>Trametes versicolor</i> AGM 24	<i>Talaromyces emersonii</i>
<i>Fusarium graminearum</i> C-106	<i>Trichoderma polysporum</i> AGM f31	<i>Trichoderma harzianum</i>
<i>FuGeotrichum candidum</i> AGM 3.	<i>Trichoderma viride</i> IBT 9150	<i>Verticillium lecanii</i>
<i>Humicola</i> sp. AGMf19	<i>Ulocladium</i> sp. IBT 9297	<i>sarium solani</i> AGMf15

Mycometer-testin etuja on, että vaikka näytteenoton periaatteet ovat samantyyppiset kuin nykyisin käytössä olevilla menetelmillä, analysointi laitteella on nykyistä huomattavasti nopeampaa ja yksinkertaisempaa. Koulutettu näytteenottaja voi tehdä analysoinnin itse, ja siihen kuluu valmisteluineen noin 45 minuuttia. Laitetoimittajan toimittamaan testiliuokseen uutettua näytettä pipetoidaan kehittäjäliuokseen, josta NAHA-entsyymien aktiivisuuden määrä mitataan fluorometrisesti. Mitattu entsyymien aktiivisuus on suoraan verrannollinen mikrobien määrään. Kuvassa 1 on valokuva Mycometer-laitteista ja näytteen käsittelyyn liittyvää tarpeistoa. Lopullinen tulos saadaan MV-arvona. Menetelmän kehittäjä on määritellyt raja-arvot erikseen pintanäytteille sekä erilaaisille materiaalinäytteille (huokoiset ja sementtiä sisältävät).



KUVA 1. Mycometer-laitteisto ja näytteiden käsittelyalusta

Menetelmän käytettävyyden arviointi

Menetelmän käytettävyyttä terveyshaitan arvioinnin tukena tutkittiin ottamalla näytteitä todellisista terveyshaittaepäilykohteista viranomaistyön yhteydessä sekä kohdekohtaisilla kokonaisvaltaisilla selvityksillä hyvin erilaisista todellisista kohteista. Mycometerin antaman tuloksen luotettavuutta ja merkitystä arvioitiin kohteesta myös muilla menetelmillä eri havaintojen perusteella. Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen ympäristömikrobiologian yksikkö aloitti samaan aikaan Mycometer-menetelmän tutkimusprojektin, johon Rovakaaren ympäristöterveydenhuolto lähetti ottamiaan rinnakkaisia pintasively- ja materiaalinäytteitä tutkittavaksi viljelymenetelmällä. Näytteitä otettiin rinnakkain 14 kohteesta, yhteensä 43 kappaletta. Materiaalinäytteitä oli yhdeksän kappaletta ja pintasivelynäytteitä 34 kpl. Näytteitä otettiin myös ainoastaan Mycometer-menetelmällä 38 kohteesta, yhteensä 99 kpl. Näytteenottokohteina oli erilaisia kohteita, pääosin tavallisia asuinhuoneistoja, mutta myös joitakin työtiloja sekä koululuokkia.

Koska terveyshaitan arvioinnissa tarvitaan usein tietoa mahdollisista piilevistä mikrobivaurioista, päätettiin tutkimuksessa ottaa pintanäytteitä asumisterveysohjeen mukaisten menetelmien lisäksi myös rakenteiden ilmapuotokohdistta. Ilmapuotokohtien näytteille ei virallisesti voida soveltaa asumisterveysohjeen pintanäytteiden tulkintaohjeita, joten tässä tutkimuksessa määriteltiin tulosten vertailua varten suuntaa antavat raja-arvot viljelymenetelmän tuloksille. Mycometer-menetelmän tulosten raja-arvot on niin ikään määritetty vauriokohdista otetuille näytteille, mutta tässä tutkimuksessa niitä sovellettiin myös ilmapuotokohdista otetuille näytteille.

Viljelymenetelmän raja-arvoina käytettiin asumisterveysohjeen mukaisia raja-arvoja siten, että vertailunäyte jätettiin huomioimatta. Lisäksi viljelynäytteiden luokitteluun määriteltiin tätä tutkimusta varten ”lisätutkimuksia vaativa” luokka, jolloin viljelymenetelmän tulosten vastaavuuden vertailu Mycometer-tuloksiin oli mahdollista (katso taulukko 2). Näytetulosten vastaavuuden vertailu tehtiin siten, että vastaavuus on hyvä, jos molempien analyysien tulos osui samaan luokkaan. Jos luokitteluissa oli yhden luokan ero, vastaavuus oli melko hyvä, ja kahden luokan ero tarkoitti huonoa vastaavuutta. Näytetulosten luokittelu on merkitty värein siten, että vihreä on normaali tulos, keltainen tarkoittaa lisätutkimuksien tarvetta ja punainen kuvastaa vaurioon viittaavaa tulosta.

TAULUKKO 2. Tutkimuksessa käytetyt analyysitulosten raja-arvot (MV-arvo = Mycometer value)

Viljelymenetelmä pintanäytteet	Yksikkö	
	cfu/cm²	Lisäehto
Normaali tulos	0 – 1000	ei kosteusvauriomikrobeja
Lisätutkimuksia vaativa	0 – 1000	sisältää kosteusvauriomikrobeja
Vaurioon viittaava	1000 -->	
Viljelymenetelmä materiaalinäytteet		
	cfu/g	Lisäehto
Normaali tulos	0 - 10 000	ei kosteusvauriomikrobeja
Lisätutkimuksia vaativa	0 - 10 000	sisältää kosteusvauriomikrobeja
Vaurioon viittaava	10 000 -->	
Mycometer pintanäytteet		
	MV –arvo	
A Normaali tulos	0 – 25	
B Lisätutkimuksia vaativa	25 – 450	
C Vaurioon viittaava	450 -->	
Mycometer materiaalinäytteet		
<i>Eristemateriaalit</i>	MV –arvo	
A Normaali tulos	0 – 150	
B Lisätutkimuksia vaativa	150 – 450	
C Vaurioon viittaava	450 -->	
<i>Sementtiä sisältävät materiaalit</i>	MV –arvo	
A Normaali tulos	0 – 60	
B Lisätutkimuksia vaativa	60 – 200	
C Vaurioon viittaava	200 -->	

Mycometer-testitulosten vastaavuus

Pintanäytteiden tulosten vertailussa todettiin, että 71 %:ssa näytteistä vastaavuus eri analyysimenetelmien kesken oli hyvä ja 29 %:ssa melko hyvä. Huonoa vastaavuutta ei todettu yhdenkään näyteparin kohdalla. Materiaalinäytteitä otettiin ja analysoitiin rinnakkaisilla menetelmillä yhdeksän kappaletta. Näytteistä 33 %:ssa vastaavuus oli hyvä, 56 %:ssa melko hyvä ja 11 %:ssa huono. Otettujen Mycometer-näytteiden tulosten vastaavuus viljelymenetelmän tulosten kanssa oli siis pintasivelynäytteiden osalta erittäin hyvä. Materiaalinäytteiden osalta tulosten vastaavuudessa oli enemmän hajontaa. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että analyysissä käytettävä koeputki ja näytemäärä on pieni, joten näytteestä ei saatu riittävän edustavaa. Mycometer-menetelmä näyttääkin soveltuvan paremmin pintasivelynäytteiden kuin materiaalinäytteiden analysointiin.

Myös rakenneavausten löydökset olivat vertailukelpoisia Mycometerilla saatujen tuloksien kanssa. Tapauksissa, joissa rakenneavauksissa oli todettu vaurio, kyseisestä kohdasta aiemmin otettujen näytteiden tulokset sijoittuivat luokkiin ”vaurioon viittaava” tai ”lisätutkimuksia vaativa”. Tulosten ja kohdekohtaisten päätelmien perusteella näyttäisi siltä, että Mycometer-menetelmä on jopa viljelymenetelmää tarkempi analyysi, muun muassa siksi, että se analysoi myös kuivuneen, elinkyvyttömän mikrobimassan. Muutamassa kohteessa löydettiinkin vanha kosteus- ja mikrobivaurio rakenteen sisältä Mycometer-tuloksen perusteella. Näissä kohteissa viljelymenetelmän tuloksen perusteella ei olisi ryhdytty jatkotutkimuksiin, sillä tuloksissa oli vain vähäinen määrä mikrobeja.

Yhteenveto

Mycometer-menetelmässä pätevät samat näytteenoton haasteet kuin muissakin menetelmissä. Näytteenotokohdan valinta tulee tehdä huolella mahdollisimman edustavan näytteen saamiseksi. Tässä tutkituista näytteistä suurin osa otettiin rakenteiden ilmavuotokohdista, jolloin mikrobien määrä näytteenotopinnalla on yleensä alhaisempi kuin vauriopinnalla. Eräs tulosten vertailussa todettu yksityiskohta oli, että kaikissa ilmavuotokohdan näytteissä, joiden Mycometer-tulos ylitti arvon 100 MV, esiintyi myös vertailunäytteissä kosteusvauriomikrobeja. Tulosten tulkinnassa tuleekin pohtia muitakin vaurioon viittaavia seikkoja ja tehdä johtopäätöksiä huomioiden eri osatekijät.

Mycometer-tulosten luokittelussa erityisesti ”keltainen alue” ($MV=25-450$) on suhteellisen hankalasti tulkittavissa. Tällä välillä olevia tuloksia tulisi tarkastella kokonaisuutena muiden havaintojen, kuten haju- tai muut aistinvaraiset havainnot, kanssa. Toisaalta näytetulos tukee näiden havaintojen perusteella tehtäviä johtopäätöksiä ja antaa vahvistusta jatkotutkimuskehotuksille. Myös vihreä alue ($MV < 25$) ei ole, erityisesti ilmavuotonäytteiden kohdalla, täysin

pitävä. Tässä pitää huomioida se, että syy ei ole itse Mycometer-menetelmä, vaan se, ettei mikrobien kulkeutumista näytteeseen voida varmistaa. Ilmavuotokohdan näytetuloksista ”punaisen alueen” (MV>450) tuloksien voidaan todeta olevan luotettavimpia. Ilmavuotokohdista otettavien näytteiden tulosten tulkintaa tulisikin täsmentää ja selvittää, olisiko ilmavuotokohdan näytteille mahdollista määritellä omat raja-arvonsa. Tulosten tulkinnassa on myös huomioitava näytteenottopinnan puhtaus. Visuaalisesti likaiseksi havaitulta pinnalta otetusta näytteessä voi olla mukana muuta orgaanista materiaalia tai muualta kulkeutuneita homeitiöitä sisältävää pölyä, jotka voivat vääristää tulosta. Näytteet onkin suositeltavaa ottaa aina visuaalisesti puhtaalta pinnalta.

Kokonaisuutena voidaan todeta, että tässä tutkimuksessa Mycometer-menetelmä osoittautui luotettavaksi terveyshaitan arviointia tukevaksi menetelmäksi, erityisesti pintanäytteiden osalta. Materiaalinäytteiden osalta tutkimusta on syytä jatkaa, jotta näytteenottoon liittyvät epävarmuudet saadaan ratkaistua. Pintanäytteiden tulokset ovat kokonaisuutena katsottuna linjassa vertailunäytteiden tulosten, aistinvaraisten havaintojen sekä muiden menetelmillä saatujen tietojen (esim. rakenneavaukset) kanssa. Mycometer-menetelmää voidaan hyvin hyödyntää terveyshaitan arvioinnissa, kun huolehditaan, että näytteet otetaan visuaalisesti puhtailta pinnoilta, näytteenottokohta valitaan huolella ja tuloksia tulkitaan oikein. Vauriokohdista otettujen näytteiden tulosten tulkinta voidaan tehdä suoraan laitevalmistajan raja-arvojen perusteella, mutta ilmavuotonäytteiden tuloksia, erityisesti keltaista aluetta, tulee tarkastella kokonaisuutena.

LÄHTEET

Pesonen, Reijo & Kaarnattu, Risto. 2012. Piilevien kosteusvaurioiden aiheuttamat terveyshaitat. Itä-Suomen Yliopisto. Opinnäytetyö.

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira. 2014. Asumisterveys. WWW-sivusto. http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys.

Sosiaali- ja terveysministeriö STM 2003. Asumisterveysohje. Helsinki: Edita Prima Oy.

Sosiaali- ja terveysministeriö STM. 2014. Kosteus- ja homevauriot. WWW-sivusto. http://www.stm.fi/hyvinvointi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/kosteus_ja_homevauriot.

MITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU LASIKUITU- LUJITTEIDEN PERMEA- BILITEETTIMITTAUKSEEN

Markus Bruun & Kari Dufva & Tero Karttunen

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli kehittää laitteisto lasikuitulujitteiden permeabiliteetin mittaamiseen. Permeabiliteetin määrittäminen perustuu Darcyn lakiin, jonka avulla permeabiliteetti voidaan selvittää mitattavien suureiden avulla. Mitattavia suureita ovat nesteen nopeus väliaineessa, nesteen viskositeetti ja paine. Permeabiliteetin mittaustavoista on paljon erilaisia variaatioita, mutta varsinaista standardia ei ole olemassa. Permeabiliteetillä tarkoitetaan materiaalin nesteen läpäisykykyä. Lujitemuovituotteiden valmistuksessa permeabiliteettitietoa voidaan käyttää valmistusprosessin simulointiin.

Lasikuitulujitteiden permeabiliteetin määrittämiseen suunniteltiin ja toteutettiin laitteisto. Mittausmenetelmäksi valittiin menetelmä, jossa neste syötetään koemuottiin keskeltä ja se virtaa lujitteessa säteen suunnassa. Virtauksen etenemistä väliaineessa ja muotissa valitsevia paineita mitataan. Käytössä laitteisto osoittautui toimivaksi, mutta tuloksiin liittyy hajontaa ja epävarmuustekijöitä.

Lujitemuovin valmistus

Lujitemuovin valmistusmenetelmät voidaan jakaa moneen eri ryhmään. Injektiomenetelmissä matriisi, yleensä hartsi syötetään muottiin paineen avulla tai valamalla. Paineinjektiossa hartsi injektoidaan muottiin ylipaineella ja alipaineinjektiossa hartsi imetään alipaineella suljettuun muottiin. (Airasmaa et. al. 2003.) Näissä valmistusmenetelmissä lujitteiden permeabiliteettitietoa voidaan käyttää hartsin virtauskäyttämisen ja muotin täyttymisen ennustamiseen. Valmistusprosessin simulointiin on olemassa erilaisia ohjelmistoja, joiden avulla prosessia voidaan optimoida nopeammaksi tai selvittää mahdollisia ongelmakohtia. Permeabiliteetin mittausta on oleellista myös erilaisia lujitemateriaaleja kehitettäessä. Hyvät virtausominaisuudet omaavilla lujitteilla voidaan saada aikaan kustannussäästöjä nopeutuneen valmistusprosessin an-

sioista. Joissain tapauksissa hyvät virtausominaisuudet omaava lujite mahdollistaa aikaisempaa lujitepitoisemman laminaatin valmistamisen, tällöin myös laminaatin lujuus kasvaa. (Rudd et. al. 1997)

Permeabiliteetti

Permeabiliteetti on suure jolla kuvataan kuinka neste virtaa huokoisessa väliaineessa. Permeabiliteetin selvittämiseen voidaan käyttää Darcyn lakia, jos neste on kokoon puristumatonta. Paineen muutos tulee olla pieni, jotta materiaali ei liiku kokeen aikana. Permeabiliteetti on riippuvainen ainoastaan väliaineen rakenteesta.

Darcyn laki voidaan kirjoittaa yleisessä muodossa:

$$v_i = \frac{K_i}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (1)$$

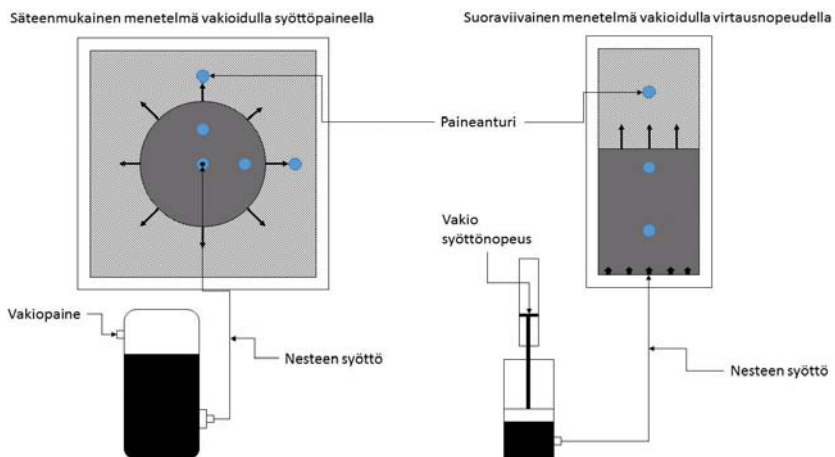
missä v on nopeus, K on permeabiliteetti, μ viskositeetti ja p paine. Alaindeksi i viittaa tarkasteltavaan tason suuntaan. (Lundström et. al. 1999)

Permeabiliteetti voidaan mitata eri suuntiin (x,y,z). Lujitemuovikappaleiden valmistuksen kannalta tason suuntaiset permeabiliteetit ovat tärkeimpiä. Paksuusuunta on oleellinen ainoastaan paksuja kappaleita valmistettaessa.

Injektio menetelmät ovat menetelminä yksinkertaisia, mutta mikroskooppisella tasolla tutkittaessa virtaus lujitteen läpi on monimutkaista. Permeabiliteettiin vaikuttaa fyysikaalinen rakenne, kuten huokoisuus, karheus ja kanavien pituus. Nämä tekijät ovat taas riippuvaisia kokoonpuristumis paineesta, lasikuidun tilavuudesta, kuidun rakenteesta, paksuudesta ja lujitekerrosten suunnista. (Rudd et. al. 1997.)

Testimenetelmät

Permeabiliteetin tasonsuuntaiset mittausten menetelmät voidaan jakaa kahteen eri ryhmään. Suoraviivaisessa testissä käytetään suorakulmaista muottia. Neste syötetään muottiin sen yhdeltä reunalta ja neste kulkee lujitteen läpi muotin toiselle puolelle. Säteenmukaisessa testissä neste syötetään muottiin keskeltä ja neste etenee muotissa säteen suuntaan. Laitteisto koostuu muotista, jonka toinen puoli on yleensä valmistettu lasista tai läpinäkyvästä muovista, jotta rintaman etenemistä voidaan mitata. Permeabiliteetin perusmittausmenetelmät on esitetty kuvassa 1. (Rudd et. al. 1997.)



KUVA 1. Säteen ja lineaarisen mittauksen periaatteet (mukaillen Rudd et. al. 1997)

Suoraviivainen menetelmä

Suoraviivaisen testimenetelmän etuja ovat yksinkertainen koejärjestely. Myös permeabiliteetin laskenta testituloksista on yksinkertaisempaa kuin säteenmukaisessa menetelmässä. Menetelmä on kuitenkin herkkä reunailmiöille. Lujite tulee asettaa muottiin huolellisesti, jotta neste kulki mahdollisimman paljon lujitteen läpi, eikä kiertäisi reunoja pitkin. Nesteen lämpötilaa mitataan viskositeetin määrittämistä varten. Menetelmä antaa lujitteelle permeabiliteettiarvon vain yhteen suuntaan. (Rudd et. al. 1997.)

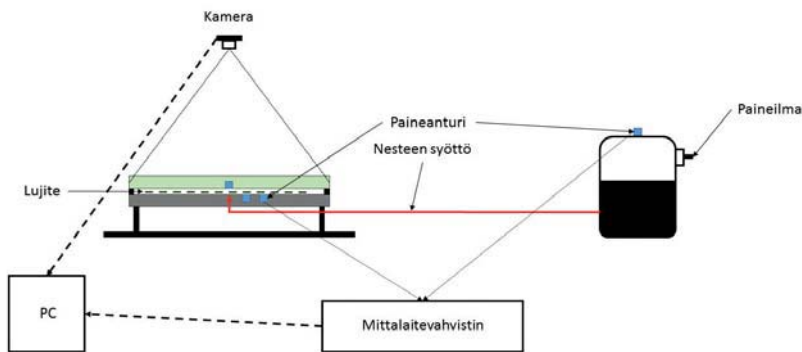
Säteenmukainen menetelmä

Säteenmukainen menetelmä voidaan toteuttaa kahdella tavalla. Vakiopaine-menetelmässä nesteen syöttö tapahtuu vakiopaineella ja nesteen virtausnopeutta, perustuen nesterintaman etenemään ja aikaan lujitteessa mitataan. Vakiovirtausmenetelmässä neste syötetään muottiin muuttuvalla paineella ja muotin sisäistä painegradienttia mitataan. (Rudd et. al. 1997.)

Vakiopaineella tehdyn kokeen hyviä puolia on yksinkertainen koejärjestely. Permeabiliteetin laskenta mittaustuloksista on sen sijaan monimutkaisempaa kuin suoraviivaisessa menetelmässä. Menetelmä antaa lujitteelle permeabiliteetin kahteen suuntaan, jolloin voidaan tutkia onko lujite isotrooppista. (Rudd et. al. 1997.)

Permeabiliteetin mittauslaitteiston suunnittelu ja toteutus

Kirjallisuuskatsauksen perusteella valitsimme säteensuuntaisen menetelmän permeabiliteetin mittaamiseen. Menetelmässä hartsi syötetään vakio-paineen avulla suljettuun muottiin muotin keskeltä ja sen eteneminen kuvataan videokameralla. Muotin sisällä olevia paineita mitataan paineantureilla, samoin kuin hartsin syöttöpainetta. Laitteisto voidaan tarvittaessa muokata myös vakiosyöttönopeusmenetelmää varten. Kuvassa 2 on esitetty periaatekuva mitausjärjestelystä ja kuvassa 3 valmismittauslaitteisto.



KUVA 2. Suunniteltu mittauslaitteisto (kuva Markus Bruun)



KUVA 3. Permeabiliteetin mittauslaitteisto (kuva Markus Bruun)

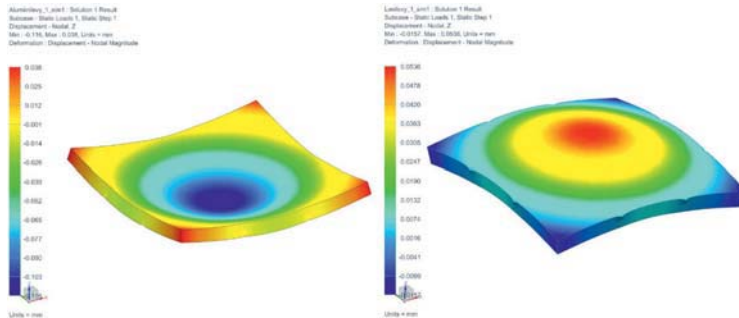
RTM-muotti

RTM-muotti koostuu alumiinisesta alamuotista ja lasisesta ylämuotista. Ylämuotti on lasia, jotta hartsirintaman eteneminen voidaan kuvata. Rintaman etenemistä voidaan seurata myös lasissa olevan asteikon avulla. Muottionkalon paksuus säädetään kiilateräksestä valmistetuilla välilevyillä. Kuvassa 4 on koelaitteistoa varten valmistettu muotti, jonka sisällä testattava lujitematto.



KUVA 4. RTM muotti valmiina koetta varten (kuva Markus Bruun)

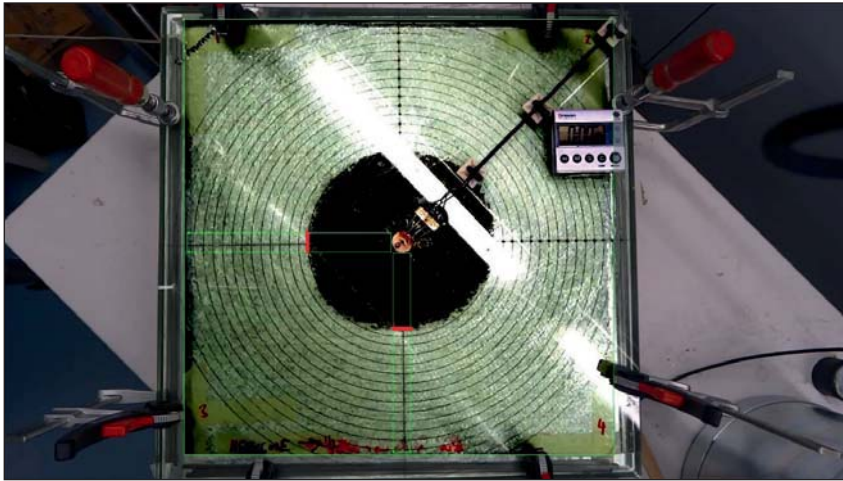
Muotin tulee olla tarpeeksi jäykkä, jotta muottionkalon paksuus olisi vakio koko testin ajan paineesta huolimatta. Molempien muottien lujuutta ja taipumaa tarkasteltiin FEM-laskennalla. Alumiinilevyn paksuudeksi valittiin 40 mm. Lasilevy valmistettiin laminoimalla kolme 10 mm:n lasilevyä yhteen. Tällaisen konstruktion suurin taipuma on laskennan mukaan alle 0.1 mm, jonka katsoimme olevan riittävän pieni tähän tarkoitukseen. Kuvassa 5 on esitetty molempien muottien siirtymätarkastus.



KUVA 5. Alumiini- ja lasimuottien siirtymät (kuva Markku Tanttu)

Hartsirintaman seuranta

Hartsirintaman eteneminen kuvataan videokameralla ja kuvattu video käsitellään National Instruments *Vision Builder* -konenäköohjelmistolla. Konenäköohjelmistossa kuvaa säädetään, jotta hartsirintaman eteneminen olisi havaittavissa. Ohjelmistossa on toiminto jolla hartsirintaman paikka voidaan määrittää. Kuvassa 6 on Vision Builder -ohjelmiston käsittelemä kuva. Hartsirintama erottuu kuvasta selkeästi tummana alueena, punainen viiva tumman ja vaalean alueen rajalla on ohjelmiston määrittämä hartsirintaman paikka. Eteneminen määritetään lujitteelle kahteen suuntaan.



KUVA 6. Konenäköohjelmiston käsittelemä kuva hartsirintaman etenemisestä muotissa (kuva Markus Bruun)

Paineen mittaus

Koelaitteistossa mitataan paineita kuudella eri paineanturilla. Yksi anturi on hartsia syöttävässä paineastiassa, ja lopulla viidellä tutkitaan paineita muotissa. Permeabiliteetin laskennan kannalta tärkein paineanturi on muotin keskellä oleva anturi, joka kertoo paine-eron muotin ja ulkopuolen välillä. Paineanturiritietoa luetaan mittalaittevahvistimella.

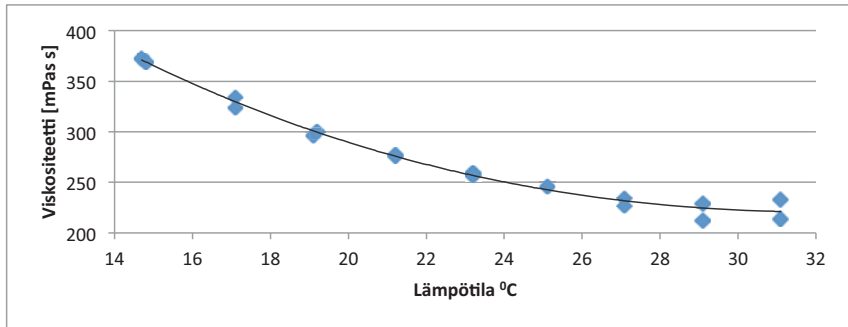
Nesteen valinta

Käytettävän nesteen tulisi kuvata mahdollisimman hyvin normaalissa lujite-muovituotannossa käytettävää hartsia. Tällä tavoin koejärjestely kuvaa mahdollisimman tarkasti normaalia valmistusprosessia. Testauksen kannalta hartsien käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia. Itse mittaustapahtuma on nopea,

mutta hartsin tulee antaa kovettua ennen seuraavaa koetta. Hartsin kovettumiseen menee useampi tunti. Hartsien käyttö tulee ottaa huomioon myös työturvallisuutta arvioitaessa. Hartsit voidaan tarvittaessa korvata esimerkiksi erilaisilla öljyillä, joiden viskositeetti vastaa hartsien viskositeettia.

Nesteen viskositeetti

Nesteen viskositeetti vaikuttaa permeabiliteettiin Darcyn lain mukaisesti. Viskositeetti on lämpötilariippuvainen, joten permeabiliteetin laskentaa varten on tärkeää tietää viskositeetin arvo kokeen aikana. Kuvassa 7 on erään polyesterihartsin viskositeetin muutos lämpötila-alueella 15–30 °C. Viskositeetti on mitattu viskosimetrillä. Kuvaajasta nähdään, että lämpötilan vaikutus viskositeettiin on suuri ja näin ollen lämpötilan seuranta kokeen aikana on erittäin tärkeää. Myös testausolosuhteet tulisi järjestää siten, että laboratorion lämpötila pysyisi mahdollisimman tasaisena.



KUVA 7. Lämpötilan vaikutus erään polyesterihartsin viskositeettiin

Näytteiden valmistelu

Testattavan lujitematon maksimikoko on 450 x 450 mm. Näytteen keskelle tehdään 6 mm:n reikä, jotta hartsi pääsee virtaamaan lujitteeseen. Lujitenäytteet punnitaan ja paksuus mitataan näytteen eri osista, tällä tavoin voidaan varmistua näytteiden tasalaatuisuudesta.

Permeabiliteetin laskenta

Permeabiliteetin laskenta perustuu yksinkertaistettuna kaavaan 1. Kaikki laskentaan tarvittavat suureet voidaan selvittää edellä mainitun koejärjestelyn avulla. Virtausnopeus saadaan laskettua konenäköohjelman määrittämästä nesterintaman paikkatiedosta, syöttöpainetieto saadaan mittalaitte vahvistimelta ja viskositeetti voidaan arvioida lämpötilan perusteella. Laskennan luotetta-

vuotta voidaan arvioida simuloimalla koejärjestely ja käyttämällä laskennassa mitattua permeabiliteettiä. Permeabiliteetin laskennan tulosta voidaan pitää luotettavina, jos simuloitu muotin täyttymisaika vastaa kokeessa mitattua muotin täyttymisaikaa. Vertailutulos ei kuitenkaan vahvista mittausjärjestelyn luotettavuutta, sillä simulointimalli ei huomioi mittauksen virheitä.

Johtopäätökset

Toteutetulla laitteistolla pystytään määrittämään lujitteiden permeabiliteetti. Mittausjärjestelyyn liittyy kuitenkin epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustulosten toistettavuuteen. Paineenmittaus osoitti, että paine-ero muotin keskikohdan ja ulkoreunan välillä muuttuu kokeen aikana. Painetiedolla on oleellinen vaikutus permeabiliteetin laskentaan. Nyt havaittu paineen muutos hankaloittaa laskentaa. Jatkokehittelyä tarvitaan, jotta voidaan varmistua hartsin syötön luotettavuudesta ja koejärjestelyn toistettavuudesta. Mittausjärjestelyt paineen ja hartsirintaman etenemisen seurantaan osoittautuivat luotettaviksi.

LÄHTEET

Lundström, T.S., Stenberg, R., Bergström, R., Partanen, H. & Birkeland, P.A. 1999. In-plane permeability measurements: a nordic round-robin study. *Composites: Part A* 31 (2000) 29–43.

Rudd, C., Long, A., Kendall, K. & Mangin. 1997. *Liquid moulding technologies*. Woodhead Publishing, Cambridge. ISBN 978-1-85573-242-1.

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2003. *Komposiittirakenteet*. Muoviyhdistys ry. Helsinki. 483s. ISBN 951-9271-27-9.

TYÖTURVALLISUUDEN HUOMIOON OTTAMINEN LIIMAUSALAN KOULUTUKSESSA

Maritta Valtonen & Kari Dufva

Mikkelin ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan tutkimusryhmän hankkeessa ”Vaativien hybridirakenteiden liimaliitosmenetelmien kehitys teknologiateollisuuden eri sovelluksissa” on kartoitettu kotimaisen liimausalan nykytilaa ja koulutuksen kehittämistä ammattikorkeakoulussa. Alalla käytettävät materiaalit ja menetelmät ovat usein terveydelle vaarallisia ja työturvallisuuteen liittyvien tekijöiden huomioiminen toimintaa suunniteltaessa on ensiarvoisen tärkeää. Tässä julkaisussa kerrotaan niistä työturvallisuuteen liittyvistä asioista, joiden katsotaan olevan olennainen osa koulutuksen järjestämistä ja laboratoriotyöskentelyä.

Laboratoriotyöskentelyssä ovat voimassa normaalit työturvallisuuslait. Työturvallisuuslain säädöksiä sovelletaan sekä työpaikkojen työturvallisuuteen että oppilaitoksissa tapahtuvaan opetus- ja oppilastyöhön. Sekä työpaikalla teollisuudessa että oppilaitoksessa työskenneltäessä kemiallisten aineiden, kuten liimojen kanssa, on työturvallisuus oleellinen osa työtä. Liimojen sisältämien kemikaalien ja yhdisteiden käyttäytyminen, altistumisen ehkäiseminen sekä ensiapu- ja paloturvallisuusohjeet on oltava jokaisen tiedossa. Kemikaalien varastointi ja käsittely sekä jätehuolto varmistavat turvallisen työskentelyn.

Käyttöturvallisuustiedote

Kemikaalin valmistajan, maahantuojan, jakelijan tai muun toiminnanharjoittajan on laadittava ja toimitettava käyttöturvallisuustiedote kemikaalin vastaanottajalle:

- a) vaaralliseksi luokitellusta aineesta ja seoksesta
- b) aineesta, joka on hitaasti hajoava, biokertyvä ja myrkyllinen (PBT) tai erittäin hitaasti hajoava ja erittäin voimakkaasti biokertyvä (vPvB)
- c) erityistä huolta aiheuttavasta aineesta eli luvanvaraisten aineiden kandidaattilistan aineesta. (REACH.)

Käyttöturvallisuustiedote on asiakirja, joka kemikaalin myyjän on toimitettava myymänsä kemikaalin mukana vastaanottajalle. Käyttöturvallisuustiedotteesta selviävät:

- aineen tai seoksen ja sen valmistajan tai maahantuojan tunnistetiedot
- aineen tai seoksen aiheuttaman vaaran yksilöinti
- koostumus ja tiedot vaaraa aiheuttavista aineosista
- ensiapu- ja palontorjuntatoimenpiteet sekä toimenpiteet onnettomuuspäästöissä
- käsittely ja varastointi
- altistumisen ehkäiseminen ja henkilönsuojaimet
- fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet
- stabiilisuus ja reaktiivisuus
- myrkyllisyyteen liittyvät tiedot
- tiedot vaarallisuudesta ympäristölle ja jätteiden käsittelyyn liittyvät näkökohdat
- kuljetustiedot
- lainsäädäntöä koskevat tiedot.

Työnantajalla on velvollisuus laatia luettelo työpaikalla käytettävistä kemikaaleista ja pitää se ajan tasalla. Luettelo ja käyttöturvallisuustiedotteet on säilytettävä työntekijöiden nähtävillä. (Työsuojeluhallinto.) Käyttöturvallisuustiedote kertoo kaikille kemikaalia käyttäville ja sen kanssa työskenteleville muun muassa sen, minkälaisia suojarusteita kunkin aineen kanssa on käytettävä. Käyttöturvallisuustiedotteessa kerrotaan paljon asioita, jotka kaikki ovat tärkeitä, mutta varsinaisen työskentelyn kannalta tärkeää on ymmärtää aineen altistava vaikutus ja se, miten altistusta ehkäistään ja millaisia suojaimeja käytetään. Aineen stabiilisuus ja reaktiivisuus sekä myrkyllisyyteen liittyvät tiedot liittyvät selkeästi aineen käsittelyyn ja varastointiin. Myös ensiapuohjeet ovat tietoja, jotka jokaisen aineita käsittelevän tulee tietää.

Henkilönsuojaimet

Suojaimet ryhmitellään kolmeen ryhmään sen mukaan, miten vakavilta vaaroilta ne suojaavat.

Ryhmä I: Vain vähäisiltä vaaroilta suojaavat suojaimet (esimerkiksi työssä käytettävät astianpesukäsineet, sadevaatteet, aurinkolasit, puutarhakäsineet).

Ryhmä II: Muilta kuin vähäisiltä tai vakavilta vaaroilta suojaavat suojaimet (esimerkiksi kypärät, kuulon- ja silmiensuojaimet, suojajalkineet).

Ryhmä III: Vakavilta vaaroilta tai hengenvaaralta suojaavat suojaimet (esimerkiksi hengityksensuojaimet, äärimmäiseltä kuumuudelta suojaavat suojaimet, kemikaalisuojakäsineet). (Työturvallisuuskeskus.)

Henkilönsuojainten on oltava CE-merkittyjä ja täytettävä suojaimia koskevat Henkilönsuojaindirektiivin 89/686/EEC vaatimukset. Direktiivissä määritellään ne oleelliset terveyttä ja turvallisuutta koskevat vaatimukset, jotka henkilönsuojaimille on annettu. **Valmistajan ja maahantuojan on** testattava ja tyyppitarkastutettava Suomeen tai Euroopan talousalueen markkinoille myyntiin tulevat tuotteet. Tällaiset tarkastetut tuotteet tunnustetaan CE-merkinnästä, ja kussakin tuotteessa on tuotetta koskevan standardin numero. Kun henkilönsuojaimia hankitaan, on syytä tarkistaa, että mukana on myös käyttöohje. Vakavilta vaaroilta suojaavissa suojaimissa eli ryhmän III suojaimissa on CE-merkinnän lisäksi suojaimen tasalaatuisuutta valvovan ilmoitetun laitoksen numero. Suojaimille on valmiina tai valmisteilla lähes 300 eurooppalaista standardia (tunnus EN). Standardinmukaisessa tuotteessa on CE-merkinnän lisäksi muitakin merkintöjä, kuten käyttötarkoitusta tai testauksia ilmaisevat kuvatunnukset, valmistaja, valmistusajankohta, suojainmalli, suojausluokka ja EN- standardin numero. (Työturvallisuuskeskus, Työsuojeluhallinto 2010.)

Kemikaalialtistumiselta suojautuminen

Liimat ovat kemikaaleja tai kemikaaliseoksia, jotka voivat olla ihmisen terveydelle haitallisia tai vaarallisia. Teollisuudessa työturvallisuus- ja työsuojelumääräyksillä suojellaan työntekijää tai yleensä henkilöitä, jotka työskentelevät vaarallisten tai haitallisten kemikaalien kanssa tai oleskelevat kemikaalien läheisyydessä. Liimat aiheuttavat useimmiten iho-oireita, mutta voivat hengitettynä aiheuttaa erilaisia oireita tai jopa sairastumista. Henkilönsuojaimista suojalasit, hengityssuojaimet ja suojakäsineet ovat tärkeimpiä suojarusteita. Työskentelytilojen on oltava ilmanvaihdoltaan sellaisia, että liimoista haihtuvat yhdisteet eivät pääse leviämään työpaikan ilmaan, vaan ne ohjataan esimerkiksi paikallispoistoilla ulos tiloista. Lämpöhajoamistuotteiden muodostuminen on usein riippuvainen työstölämpötilasta. Tällaisia kemiallisia aineita ovat esimerkiksi polystyreenit, joiden hajoamistuotteiden muodostumiseen vaikuttaa työstölämpötila, ja sitä kautta suojautuminen muodostuvilta päästöiltä on tärkeää.

Ihokosketusten ja roiskeiden suojaamiseksi liimojen kanssa työskentelevän on käytettävä kullekin kemikaalille soveltuvia suojaimia. Kunkin aineen käyttöturvallisuustiedote on se asiakirja, jossa luetellaan myös suojautuminen kemiallisille yhdisteille. Ennen aineen käyttöönottoa on tarkistettava aineen koostumus ja tarvittava suojautuminen. Seuraavana on esimerkkejä eri liimatyyppien vaatimista suojarusteista. Listat eivät ole varmennettuja, joten suojainten käyttö on varmistettava tuotekohtaisesti.

MS-polymeerit

POP(polyoksipropyleeni)-pohjainen liima, joka ei sisällä liuottimia tai esimerkiksi isosyanaatteja. Ei edellytä erityistä suojautumista. (Fixall.)

Epoksiliimat

Käsien suojaukseen soveltuvat synteettisestä kumista valmistetut käsineet, esimerkiksi monikerroskäsine 4H, jonka päällä voidaan käyttää esim. butyylikumikäsineitä. Soveltuvan käsinetyypin valikoima ei riipu yksinomaan materiaalista, vaan myös muista laatuominaisuuksista ja vaihtelee eri valmistajilla. Koska tuote on valmiste, joka koostuu eri aineista, ei suojakäsine materiaalin kestävyys ole ennalta arvioitavissa, vaan pitää tarkistaa ennen käyttöä. Suojakäsineen läpäisy aika on aina tarkistettava suojakäsinevalmistajalta. Tarvittaessa käytetään kertakäyttöisiä suojavaatteita. (Axson.)

Epoksien kanssa on käytettävä hengityssuojainta (suojausluokka tarkistettava tuotekohtaisesti), mikäli ilmastointi on riittämätöntä.

Syaaniakrylaattiliimat

Hengityssuojain on oltava A-tyypin kaasusuodatin (EN 141). Silmien suojaukseen käytetään suojalaseja tai tarvittaessa kasvonsuojainta. (EN 166). Käsiin suojaukseen on käytettävä suojakäsineitä esim. butyylikumista valmistetut. (EN 374, luokka 2 tai korkeampi). Läpäisy aika on > 2 tuntia. (Norgen.)

Silaanipohjaiset polymeerit

Hengityksensuojaus ei ole tarpeen ilmaston ollessa riittävä. Tarvittaessa on käytettävä suodattimella AX-varustettua hengityssuojainta pienessä ja huonosti ilmastoidussa tilassa. Ihokosketusta on vältettävä ja käytettävä suojakäsineitä, mikäli tuotetta voi joutua iholle (esim. nitrilikumi). Puuvillakäsineitä voidaan käyttää nitrilikäsineiden alla. Mikäli tuotetta asennetaan saumuspistoolilla tai saumoja viimeistellään, voidaan työskennellä ilman suojakäsineitä edellyttäen, että voidaan välttää ihokosketusta.

Tuotteen joutumista silmiin on vältettävä. Työssä on käytettävä sopivaa silmiensuojauksia roiskevaaran yhteydessä. Ihokosketusta on vältettävä ja on käytettävä sopivaa suojavaateetusta. (Dana Lim.)

Uretaaniliimat

Työtiloissa on huolehdittava hyvästä ilmanvaihdosta. Kohdepoistoa tai muuta teknistä toimenpidettä on käytettävä pitämään ilmassa olevat höyrypitoisuudet alle työterveydellisten raja-arvojen. Työ on suunniteltava niin, että suorakosketus tuotteeseen vältetään. Käsiteltävistä määristä ja työskentelyolosuhteista johtuen on käytettävä seuraavia suositeltavia suojavälineitä:

Jos ilmanvaihto käyttöpaikalla on puutteellinen, on käytettävä puoli- tai kokonaamaria varustettuna kaasunsuodattimella (A1 standardin EN14387 mukaan). Työssä on käytettävä suojakäsineitä: polyeteeni (PE) tai muita käsine-toimittajan suosittelemia käsineitä, roiskeilta tiiviisti suojaavia suojalaseja sekä tarkoitukseen sopivaa täysin suojaavaa suojavaatetusta. (Casco.)

Työturvallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä ja säädöksiä

Työturvallisuuslain 37. §:ssä on velvoitteita työnantajalle. *”Työnantajaa velvoitetaan toimimaan niin, että altistuminen ilman epäpuhtauksille (esim. pöly, savu, kaasu ja höyry) sekä 38. §:ssä mainituille kemiallisille tekijöille ei aiheuta myrkytystä, hapen puutetta tai vastaavaa vaaraa.”*

Edelleen työturvallisuuslailla (38. §) suojellaan: *”... työntekijän altistuminen turvallisuudelle tai terveydelle haittaa tai vaaraa aiheuttaville kemiallisille tekijöille on rajoitettava niin vähäiseksi, ettei näistä tekijöistä aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymisterveydelle. Erityisesti on huolehdittava myrkytyksen, hapen puutteen tai muun vastaavan vakavan vaaran ehkäisemiseksi tarpeellisista suojelutoimenpiteistä. Käsiteltäessä, säilytettäessä tai siirrettäessä räjähtäviä, tulenarkoja, syövyttäviä tai muita vastaavaa vaaraa aiheuttavia aineita on noudatettava erityistä varovaisuutta. Työntekijöille on annettava vaarallisista aineista työnteon kannalta tarpeelliset tiedot.”*

REACH, Registration, Evaluation, Authorization and Restrictions of Chemicals

Liimat ovat kemikaaleja ja niiden seoksia ja kemikaaleista säädetään muun muassa kemikaalilaissa. Kemikaalilain tarkoituksena on terveyden ja ympäristön suojelu kemikaalien aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta. Kemikaalilailla säädetään myös Euroopan unionin kemikaalilainsäädännön täytäntöönpanosta sekä eräistä kemikaaleja koskevista kansallisista velvoitteista. Kemikaalien rekisteröinti- ja arviointi- sekä rajoitus- ja lupamenettelyistä säädetään REACH-asetuksella.

REACH-asetus on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista. Asetus tuli voimaan kesäkuun 1. päivänä 2007. Lyhenne REACH tulee sanoista **R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and **R**estriction of **C**hemicals. REACH-asetuksella yhtenäistetään kemikaaleista annettuja säädöksiä. Asetuksella onkin korvattu noin 40 eri säädöstä ja se on suoraan jäsenmaita sitovaa lainsäädäntöä, eli kansallisesti EU-valtiot eivät laadi omia asetuksiaan. REACH-asetuksen tärkeimpänä tavoitteena on varmistaa ja turvata terveyden- ja ympäristönsuojelun korkea taso sekä tehostaa EU:n kemianteollisuuden kilpailukykyä. (REACH.)

REACH asettaa entistä enemmän vastuuta teollisuudelle, kun on kyse riskeistä, joita kemikaalit saattavat aiheuttaa terveydelle ja ympäristölle. Asetus koskee kaikkia osapuolia, jotka ovat tekemisissä aineiden elinkaareissa. Vastuu aineiden riskien arvioinnista ja niiden edellyttämistä turvallisuustoimenpiteistä on siirtynyt ensisijaisesti yrityksille. Aikaisemmin vastuu oli viranomaisella, nyt vastuu kemikaalin turvallisuuden todistamisesta siirtyy teollisuudelle. Kemiallisten aineiden **valmistajilla**, **maahantuojilla**, esineiden valmistajilla (esineen tuottajia) ja maahantuojilla, aineiden **jatkokäyttäjillä** ja **jakelijoilla** on omat tehtävänsä ja velvollisuutensa riskien arvioinnissa ja turvallisuustoimenpiteissä (taulukko 1). Selviytyäkseen velvoitteistaan yrityksen on tunnistettava, missä roolissa/rooleissa se toimii suhteessa REACH-asetukseen. Käsiteltävistä aineista riippuen yrityksellä voi olla useampia rooleja ja sen velvoitteet voivat vaihdella ainekohtaisesti. (REACH; Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.)

TAULUKKO 1. Alla olevassa taulukossa on esitetty kunkin toimijan tehtävät ja velvollisuudet (Kemikaalineuvonta.fi)

VELVOITTEET	Valmistaja	Maahantuoja	Esineen tuottaja/ maahantuoja	Jatkokäyttäjä	Jakelija
Aineiden rekisteröinti (ECHAan)	X	X (tai ainoa edustaja)	X (tarkoituksella vapautuvat aineet)		
SVHC-aineet, ilmoitus (ECHAan)			X		
Tietojen säilytys ja tiedottamisvelvollisuus toimitusketjussa (KTT, SVHC-aineet ym.)	X	X	X	X	X
Velvollisuus hakea lupaa liitteen XIV aineiden käytölle (ECHAalta)	X	X	X (tuottajat)	X	
Rajoitusten noudattaminen (liite XVII)	X	X	X	X	X
Tunnistetut käytöt, ilmoitus (rekisteröijälle/ ECHAan)				X	

REACH-rekisteröinnillä tarkoitetaan Euroopan kemikaalivirastoon (ECHA) tehtävää kemikaalin rekisteröintiä silloin, kun yritys valmistaa tai tuottaa EU-maissa vähintään 1 000 kilogrammaa vuodessa kemikaalia. Rekisteröinti on tapahtunut asteittain REACHin voimaan tulon jälkeen niin, että viimeinen rekisteröintijankkohta on 2018. REACH-rekisteröinti maksaa yritykselle 10 000 eurosta miljoonaan per aine riippuen siitä, kuinka suuri joukko yrityksiä ainetta on rekisteröimässä. Pienille yrityksille, jotka kehittävät ja tuovat markkinoille uuden aineen, voi rekisteröinnistä koitua suuret kustannukset erityisesti siinä tapauksessa, jos ainetta rekisteröivien yritysten määrä on pieni.

Jatkokäyttäjät ovat yritykset tai henkilöt, jotka käyttävät kemiallista ainetta joko sellaisenaan tai seoksessa teollisten tai ammatillisten toimiansa yhteydessä. Tähän jatkokäyttäjien joukkoon kuuluvat myös oppilaitokset, jotka opeutuksessaan käyttävät kemiallisia aineita, muun muassa liimoja. Jatkokäyttäjillä on keskeinen tehtävä kemikaalien turvallisen käytön edistämiseksi: niiden on käytettävä kemikaaleja turvallisesti omissa toimipaikoissaan ja välitettävä oleelliset tiedot sekä toimittajilleen että asiakkailleen. (REACH.)

Jatkokäyttäjät, joiden toimipaikka on teollisuusalueella – joka voi olla pieni tai suuri –, kutsutaan **teollisiksi käyttäjiksi**. Työntekijöitä, jotka käyttävät ainetta tai seoksia teollisen ympäristön ulkopuolella, kutsutaan **ammattimaisiksi käyttäjiksi**. Ammattimaiset käyttäjät voivat työskennellä esimerkiksi työpaikassa, asiakkaan tiloissa, oppilaitoksessa tai terveydenhoitoalalla. Teollisten ja ammattimaisten käyttäjien välisessä erotuksessa viitataan tavanomaisiin käytöolosuhteisiin. Työntekijää, joka tekee ruiskumaalauksia autotehtaalla, kutsutaan teolliseksi käyttäjäksi, mutta rakennustyöläistä, joka ruiskumaalaa siltaa, kutsutaan ammattimaiseksi käyttäjäksi. (REACH.)

Jatkokäyttäjän tehtävänä on

- **ilmoittaa** valmistajalle tai maahantuojalle käyttämänsä aineen käyttötavoista
- **noudattaa** KTT:n eli käyttöturvallisuustiedotteessa olevia turvallisuusohjeita eli altistusskenaarioita
- **laatia** turvallisuusraportti, jos käyttö ei ole tunnistettu tai käyttöä ei haluta paljastaa
- **ilmoittaa** tarvittaessa käyttämistään aineista tietoja kemikaalivirastoon
- **toimittaa** tarvittaessa omille asiakkailleen tietoja aineen käyttöturvallisuudesta
- **hakea** tarvittaessa lupa ja ilmoittaa luvanvaraisen aineen käytöstä kemikaalivirastoon.

Käyttöturvallisuustiedote on tärkeä ja oleellinen asiakirja kun jatkokäyttäjä käsittelee vaarallisia aineita ja seoksia. Sen avulla jatkokäyttäjä välittää vaarallista ainetta tai seosta koskevat tiedot alaspäin toimitusketjussa. Jatkokäyttäjän tulee myös tarvittaessa laatia itse käyttöturvallisuustiedote valmistamastaan

seoksesta ja toimittaa tiedote omille asiakkailleen. Jatkokäyttäjän on toiminnassaan noudatettava kemikaalin toimittajalta saamassaan käyttöturvallisuustiedotteessa sekä sen liitteenä mahdollisesti olevassa altistumisskenaariossa esitettyjä turvallisen käytön varmistavia käyttöolosuhteita ja turvallisuustoimenpiteitä. Mikäli jatkokäyttäjä havaitsee käyttämänsä aineen tiedoissa tai käyttöturvallisuustiedotteen tiedoissa puutteita, on sen velvollisuus antaa aineen toimittajalle uudet tiedot aineen vaaraominaisuuksista eli päivittää käyttöturvallisuustiedotteen tiedot ajan tasalle. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.)

CLP, Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures

CLP-asetus on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008 kemikaalien luokituksista, merkinnöistä ja pakkaamisesta ja on sellaisenaan sovellettavaa, voimassa olevaa lainsäädäntöä. Järjestelmän tavoitteena on, että kemikaalien luokituksessa ja merkinnöissä käytettäisiin samoja periaatteita kaikkialla maailmassa, sekä vaarallisten aineiden kuljetuksessa että kemikaalien käytössä. Järjestelmän tavoitteena on kemikaaliturvallisuuden parantaminen ja kemikaalikaupan helpottuminen yli rajojen. CLP-asetuksessa on huomioitu sekä GHS-järjestelmän (kemikaalien uusi merkintäjärjestelmä) keskeiset osat että joitakin EU:n väistyvän kemikaalien luokitusta ja merkintöjä koskevan lainsäädännön (ainedirektiivi 67/548/ETY ja seosdirektiivi 1999/45/EY) osia, joita ei YK:ssa ole yhdenmukaistettu. (REACH.)

CLP-asetuksessa säädetään kriteereistä, joiden perusteella kemikaali (aine tai aineiden seos) luokitellaan vaaralliseksi. Tällainen vaaralliseksi luokiteltu kemikaali voi olla esimerkiksi syttyvä, jolloin puhutaan fysikaalisesta vaarasta tai välittömästi myrkyllinen, jolloin se voi aiheuttaa ihmiselle terveysvaara. Jos vaaralliseksi luokiteltu kemikaali on vesiliöille vaarallinen, puhutaan ympäristövaarasta. CLP-asetuksella annetaan myös säännöt tavasta, jolla vaaralliseksi luokiteltu kemikaali pitää merkitä ja pakata, jotta sitä voi käyttää turvallisesti. Varoitusmerkintöihin kuuluu lisäksi erilaisia vaara- ja turvalausekkeita sekä huomiosanoja. CLP-asetukseen sisältyy sekä ainedirektiivin (67/548/ETY) että CLP-asetuksen mukaiset aineluettelot harmonisoiduista luokituksista ja merkinnöistä. Tämän lisäksi ECHA (kemikaalivirasto) ylläpitää luokitusten ja merkintöjen luetteloa (inventaarior), joka sisältää teollisuuden ilmoitukset vaarallisten aineiden luokituksista ja merkinnöistä sekä yhdenmukaistetut luokitukset. (REACH.)

CLP-asetuksen tultua voimaan 20.1.2009 yhdenmukaistettu luokitus ja merkinnät annetaan tavallisesti aineille, jotka ovat:

- a) hengitysteitä herkistäviä, kategoria 1
- b) sukusolujen perimää vaurioittavia, kategoria 1A, 1B tai 2
- c) syöpää aiheuttavia, kategoria 1A, 1B tai 2
- d) lisääntymiselle vaarallista, kategoria 1A, 1B tai 2.

Muiden vaaraluokkien osalta on esitettävä perustelut sille, että yhdenmukaistaminen yhteisön tasolla on tarpeen. (REACH.)

CMR, Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic

CMR-aineilla tarkoitetaan syöpää aiheuttavia, perimää vaurioittavia tai lisääntymiselle vaarallisia aineita. Työsuojeluviranomaisten tekemissä tarkastuksissa yleisimpiä työpaikoilla käytössä olevia CMR-aineita ovat syöpäsairauden vaaraa aiheuttavat aineet ja lisääntymisvaaralliset aineet, esimerkiksi epoksikovettimet ja pesuaineet. Työpaikoilla on tarkastuksissa löydetty myös vähäinen määrä aineita, jotka ovat perimälle vaarallisia. Osa CMR-aineista voi olla luokiteltu myös useamman CMR-ominaisuuden suhteen. (REACH; Työsuojeluhallinto.)

Reach-asetus tekee CMR-aineiden käytön työpaikoilla luvanvaraiseksi. Lupamenettelyn tavoitteena on varmistaa riittävä riskin hallinta syöpävaarallisten aineiden käsittelyssä sekä edistää näiden korvaamista turvallisimmilla aineilla ja menetelmillä. (Työturvallisuuskeskus; Tekniikka ja Talous.)

LÄHTEET

Axson Technologies. Käyttöturvallisuustiedote. pdf-dokumentti.

Casco. Käyttöturvallisuustiedote. pdf-dokumentti

Dana Lim. Käyttöturvallisuustiedote. pdf-dokumentti.

Fixall. Verkkodokumentti. http://www.fixall.eu/fixall/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=33&lang=fi

Norgen olje Ab. Käyttöturvallisuustiedote. pdf-dokumentti.

REACH, CLP, Biosidi Neuvonta. Verkkodokumentti. <http://kemikaalineuvonta.fi/fi/Saadosalue/>

Tekniikka ja talous. Verkkodokumentti. <http://www.tekniikkatalous.fi/tyo/syopaavaaralliset+aineet+tunnistetaan+teollisuudessa++puutteitakin+on/a379399>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. Verkkodokumentti. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Teollisuus--jakuuluttajakemikaalit/REACH---asetus/>

Työsuojeluhallinto. Verkkodokumentti. <http://www.tyosuojelu.fi/>

Työsuojeluhallinto 2010. Aluehallintovirasto. Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 11. Henkilönsuojainten valinta ja käyttö työpaikalla. pdf-dokumentti.

Työturvallisuuskeskus TTK. Verkkodokumentti. <http://www.ttk.fi/toimialat/>. Päivitetty 22.5.2014. Luettu 22.5.2014.

ELINKAARIARVIOINTI KUITU- LUJITETUILE LAMINAATEILLE

Noora Pesonen & Kari Dufva

Vuosina 2013 ja 2014 Mikkelin ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan laitoksella toteutettiin Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittama Biolujite-hanke: Alueellisen tutkimusyhteistyön kehitys luonnonkuitupohjaisten materiaalien tutkimuksessa (2012–2014). Yksi hankkeen keskeisistä tavoitteista oli kehittää teknologiaa ja lujitekuituja, joiden avulla voidaan kehittää tuote- ja materiaaliratkaisuja energiatehokkaammiksi.

Tämä artikkeli kertoo opinnäytetyöstä, joka on tehty Biolujite-hankkeen toimeksiannosta. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia elinkaariarvioinnin avulla kuitulujitettujen polymeerilaminaattien ympäristövaikutuksia. Erityisesti haluttiin tarkastella lasikuidun ja luonnonkuitujen, kuten pellavan sekä juutin eroja laminaattien lujitteina. Energiatehokkaampien materiaalien ja rakenteiden kehittäminen vaatii materiaaliominaisuuksien tutkimusta ja nykyisten käytössä olevien materiaalien tehokkaampaa hyödyntämistä. Luonnonkuitujen ajatellaan usein olevan ympäristöystävällisiä ja uusiutuvia materiaaleja, joiden käyttöä komposiittien valmistuksessa halutaan lisätä. Luonnonkuidut voivatkin olla tulevaisuuden tuotteiden ensisijaisia raaka-aineita, koska yhä ehtyvät petrokemikaaliresurssit vähentävät öljypohjaisten muovien käyttöä. Tässä työssä selvitettiin lasi- ja pellavakuitujen ekologista jalanjälkeä materiaaliin sitoutuvan energian ja hiilidioksidin osalta.

Materiaalit ja menetelmät

Komposiitti on yhdistelmä kahta tai useampaa materiaalia tuoden tuotteelle raaka-ainekomponenttien hyvät ominaisuudet esille tai minimoiden niiden heikkouksia. Valmiissa komposiitissa raaka-ainekomponentit eivät ole liuenneet tai sulautuneet toisiinsa. Kokonaisuutta sitoo toisiinsa jokin muoviyhdiste (kesto- tai kertamuovi) eli matriisiaine. Komposiiteissa käytetään yleisesti kuituja tuomaan lisää lujuutta kokonaisuudelle esimerkiksi lasikuiduilla tai luonnonkuiduilla. Tätä yhdistelmää kutsutaan kuitukomposiitiksi. (Saastamoinen 2011, 4.)

Muovikomposiittien lujitemateriaalina käytetään usein lasi- ja hiilikuituisia kuituja, jotka voivat olla jatkuvia tai lyhyitä kuituja. Kuitujen pituuden lisäksi niiden orientaatiolla on suuri merkitys niiden tuomien ominaisuuksien lisäämiseen komposiitissa. Lasi- ja hiilikuitujen tapaan myös luonnonkuituja voidaan lisätä matriisimateriaaliin joko jatkuvana tai lyhyenä.

Työn tavoitteena oli selvittää Exel Composites Oyj:n valmistamien kuitulujitettujen polymeerilaminaattien ympäristövaikutuksia Ces EduPack -ohjelmiston Eco Audit Tool -laskentamoduulia käyttäen ISO 14044 -standardin mukaisesti. Ohjelmiston laskentamoduuli arvioi tuotteen elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen sekä sitoutuneen energian jokaiselle elinkaaren vaiheelle. Työssä haluttiin vertailla erilaisien lujitemateriaalien (lasi, pellava, juutti) vaikutuksia polymeerilaminaateissa varioiden niiden kuitupitoisuuksia. Näistä muodostui viisi erilaista skenaariota, joille elinkaaren aikainen hiilijalanjälki ja sitoutunut energia on laskettu (taulukko 1).

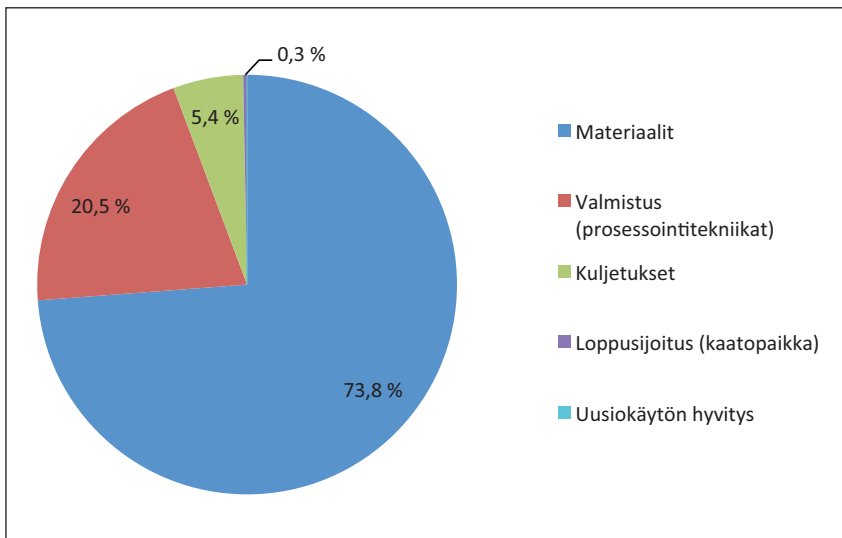
TAULUKKO 1. Skenaarioiden 0–2.2 määrittäminen

Skenaariot	Käytetyt materiaalit, massaosuudet (kg) sekä kuitupitoisuudet painoprosenteina laminaatista	Loppusijoitusmuoto
Skenaario 0	lasikuitulujitettu laminaatti: o lasikuitu 710 kg (71 %), epoksihartsia 290 kg (29 %)	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 1	lasi- ja pellavakuitulujitettu laminaatti: o lasikuitu 590 kg (59 %), pellavakuitu 100 kg (10 %), epoksihartsia 310 kg (31 %)	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 1.1	lasi- ja pellavakuitulujitettu laminaatti: o lasikuitu 390 kg (39 %), pellavakuitu 300 kg (30 %), epoksihartsia 310 kg (31 %)	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 2	lasi- ja juuttikuitulaminaatti: o lasikuitu 590 kg (59 %), juuttikuitu 100 kg (10 %), epoksihartsia 310 kg (31 %)	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 2.1	lasi- ja juuttikuitulaminaatti: o lasikuitu 390 kg (39 %), juuttikuitu 300 kg (30 %), epoksihartsia 310 kg (31 %)	kaatopaikka ja uusiokäyttö

Eco Audit Tool -laskentamoduulin laskenta pohjautuu tuotteen elinkaaren sisältämiin eri vaiheisiin. Tässä työssä tuotteen eli laminaattien elinkaari käsittelee materiaalien alkutuotannon, valmistuksen, käytön, kuljetukset, hävittämismuodon (kaatopaikka) ja uusiokäytön. Toiminnalliseksi yksiköksi on määritetty 1000 kg valmista laminaattia, jota kohden viiden eri skenaarion hiilijalanjälki sekä sitoutunut energia on laskettu.

Tulokset

Skenaarioiden 0–2₁ määrityksen pohjalta kuva 1 esittää laminaattien hiilijalanjäljen sekä sitoutuneen energian jakautumista elinkaariarvioinnin viiteen eri vaiheeseen. Uusiokäytön prosentuaalista osuutta ei ole kuvattu alla olevassa ympyrädiagrammissa, mutta sillä olisi arviolta 60–70 %:n vaikutus tuotteen koko elinkaaren hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian vähentämisessä. Uusiokäytöllä on siis huomattava positiivinen vaikutus tuotteen elinkaaren ympäristövaikutuksiin. Suurimmat hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian aiheuttavat lähteet elinkaaren vaiheista osoittautuivat syntyvän materiaaleista ja valmistuksesta. Kuljetuksista ja loppusijoituksesta ei syntynyt merkittäviä vaikutuksia.



KUVA 1. Hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian jakautuminen elinkaaren eri vaiheiden kesken

Kuitulujitettujen laminaattien kokonaisvaltaiset hiilijalanjälki- sekä sitoutuneen energian tulokset on esitetty taulukossa 2. Tuloksia vertailemalla voidaan huomata, että suurin hiilijalanjälki syntyi skenaarion 2 lasi- ja juuttikuitulujitetulle laminaatille sekä pienin skenaarion 1.1 lasi- ja pellavalujitetulle laminaatille. Sitoutunutta energiaa tarkasteltaessa energiaa oli sitoutunut kaikista eniten skenaarion 1.1 lasi- ja pellavalujitetulle laminaatille sekä vähiten skenaarion 0 lasikuitulujitetulle laminaatille.

TAULUKKO 2. Skenaarioiden (0-2.) hiilijalanjäljet sekä sitoutuneet energiat

Skenaariot:	Hiilijalanjälki	Sitoutunut energia
Lasikuitulujitettu laminaatti (skenaario 0)	4284 kg CO ₂ -ekv.	69300 MJ
Lasi- ja pellavalujitettu laminaatti (skenaario 1)	4244 kg CO ₂ -ekv.	70060 MJ
Lasi- ja pellavalujitettu laminaatti (skenaario 1.1)	3971 kg CO ₂ -ekv.	74700 MJ
Lasi- ja juuttikuitulujitettu laminaatti (skenaario 2)	4335 kg CO ₂ -ekv.	72160 MJ
Lasi ja juuttikuitulujitettu laminaatti (skenaario 2.2)	4246 kg CO ₂ -ekv.	73180 MJ

Näistä tuloksista voidaan myös havaita, että kun luonnonkuitupitoisuutta laminaateissa on nostettu ja lasikuitupitoisuutta pienennetty, niin hiilijalanjälki pienenee ja sitoutuneen energian määrä kasvaa. Voidaan siis todeta, että lasikuidun hiilijalanjälki on suurempi kuin luonnonkuitujen, mutta sitoutuneen energian määrä on pienempi. Erityisen tärkeää olisikin kiinnittää huomiota materiaalivalintoihin, koska tämä elinkaariarviointi osoitti, että materiaaleilla on noin 74 %:n vaikutus tuotteen koko hiilijalanjälkeen sekä sitoutuneeseen energiaan. Tuotteen sitoutuneen energian määrä kasvoi lisäämällä luonnonkuidun pitoisuutta laminaatissa, mutta sen saisi hyödynnettyä polttamalla tuote elinkaaren lopussa. Vaikka työssä keskityttiin vertailemaan lujitekuituja (lasi, pellava, juutti), niin todellisuudessa laminaattien materiaaleista suurin hiilijalanjälki ja sitoutunut energia syntyi epoksihartsista, joka toimii laminaattien sidosaineena.

Johtopäätökset

Pellavan massaosuuden nostaminen 30 %:iin lasi- ja pellavakuitulujitetussa laminaatissa osoitti sen, että kyseisen laminaatin hiilijalanjälki on noin 7,3 % pienempi kuin lasikuitulujitetulla laminaatilla. Toisaalta juuttikuidunkin massaosuuden nostaminen lasi- ja juuttikuitulujitetussa laminaatissa teki hiilijalanjäljestä pienemmän kuin lasikuitulujitetulla laminaatilla, vaikka pudotus oli vain noin 0,9 %. Mahdollisuuksien mukaan kuitulujitettu laminaatti voitaisiin tehdä pelkästään luonnonkuiduista ja ympäristöystävällisemmästä epoksihartsista, jolloin hiilijalanjälki olisi vielä paljon pienempi verrattuna lasikuitulujitettuun laminaattiin.

Kuitulujitetujen laminaattien jatkotutkimuksia ajatellen voitaisiin tehdä kattavampi elinkaariarviointi kyseisille laminaateille, nyt kun tiedetään, että materiaaleista ja valmistuksesta aiheutuvat suurimmat CO₂-päästöt sekä kyseisiin vaiheisiin on sitoutunut eniten energiaa. Tuotteen elinkaaren tarkempi raja-alue materiaalien ja valmistuksen osalta auttaisi tunnistamaan merkit-

tävimmät päästöjen syntykohdat, jolloin tuotteen päästöjä voitaisiin yrittää pienentää niitä muuttamalla. On kuitenkin muistettava, että hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian määrittämisen lisäksi voidaan tuotteen ympäristöllisiä vaikutuksia tutkia myös muilla ympäristöön liittyvillä vaikutusluokilla, kuten veden kulutus tai happamoituminen.

LÄHTEET

Pesonen Noora 2014. Kuitulujitteisten laminaattien elinkaariarvio. Ympäristöteknologia. Opinnäytetyö.

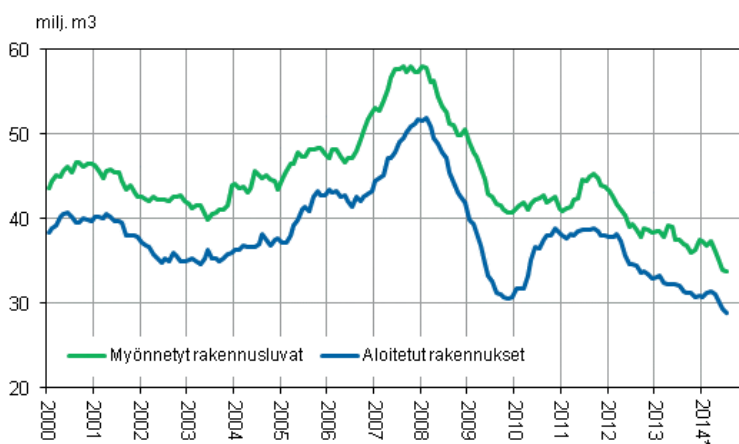
Saastamoinen, Marketta, Vesanen, Kaija & Saarinen, Jukka 2011. Luonnonkuituja tuottavien kasvien tuotanto Sastamalan ympäristössä. Huittinen: Sastamalan koulutus-kuntayhtymä. PDF-dokumentti. <http://www.luonnonkuitu.fi>. Päivitetty 2011. Luettu 8.7.2013.

PUURAKENTAMISEN TULEVAISUUDENKUVIA SUOMESSA JA MAAILMALLA

Jussi Levonen

Puu on ylivoimaisesti käytetyin rakennusmateriaali suomalaisessa pientalojen ja vapaa-ajan asuntojen rakentamisessa. Suuremmissa kohteissa kantavat rakenteet ja elementit valmistetaan yleensä muista materiaaleista, kuten betonista ja teräksestä, ja puutuotteita käytetään lähinnä pintamateriaaleina. Puun käyttö on Suomen ulkopuolella yleisempää esimerkiksi kerrostalojen, urheiluhallien ja julkisten rakennusten, kuten sairaaloiden ja kirjastojen rakentamisessa. Tilanne on vähitellen muuttumassa myös Suomessa, ja merkittäviä suuria puurakentamisen kohteita on rakenteilla ja suunnitteilla. Puun käyttö rakentamiseen on hyvin luontaista suomalaisille. Nyt tarvitsemme riittävästi uusia puurakennuksia osoittamaan puumateriaalin monipuoliset ominaisuudet ja siitä tehtävien nykyaikaisten ratkaisujen toimivuus mitä erilaisimpiin rakennuksiin.

Myönnettyjen rakennuslupien ja aloitettujen rakennusten määrä Suomessa on laskenut lähes puoleen vuoden 2007 tasosta ja lähiaikojen kehitys on edelleen laskeva (kuva 1). Tähän vaikuttavat taloudellisen tilanteen epävarmuus ja kiristyneet asuntolainojen ehdot. Toisaalta tilanne antaa edellytyksiä kehittää puurakentamisen ratkaisuja valmiimmiksi siihen kun rakentaminen taas elpyy.



KUVA 1. Myönnettyjen rakennuslupien kuutiomäärä (Tilastokeskus)

Puu rakennusmateriaalina

Metsäisessä Suomessa puu on luonnollinen materiaali erilaisiin tarkoituksiin. Erilaisia puutuotteita käytetään luontaisesti omakotitalojen rakentamiseen joko paikalla rakentaen tai talotehtaitten valmistamista elementeistä pystyttäen. Suomalaisista kesämökkit ovat lähes sataprosenttisesti puurakenteisia joko hirsimökkejä tai lautaverhoiltuja puurakennuksia. Näissä kohteissa monet ratkaisut pohjautuvat perimätietoon, joka on siirtynyt rakentajasukupolvelta toiselle. Oikeiksi koetut toimintatavat on opittu kokemuksen kautta. Toki nykyajan vaatimukset asuinrakennusten energiatehokkuudelle ja LVIS-ratkaisuille asettavat aivan uudenlaisia haasteita rakennusten suunnittelulle ja rakentamiselle. Puu pitää kuitenkin puolensa runko- ja verhoilumateriaalina sekä sisä- että ulkoverhoilussa (kuva 2).



KUVA 2. Puinen kattorakennelma. Vancouver Kanada (kuva Jussi Levonen)

Puun pitkäaikaiskeston kannalta oikeat rakenteelliset ratkaisut ovat ensiarvoisen tärkeitä. Puusta tehty julkisivu kestää yli sata vuotta, kun se on suunniteltu ja rakennettu oikein. Maalaus tarvitsee uusia aikoja, mutta oikeanlaisen puulajin valinnalla ja rakenteellisella suojauksella kosteutta ja sään vaihtelua vastaan voidaan taata pitkäaikainen huoltovapaa käyttö. Vaakasorat puupinnat on suojattava niin, ettei sadevesi tai lumi pääse seisomaan niille.

Puun luonnollisia ominaisuuksia ovat sen lahoaminen ja palonherkkyys. Näiden ominaisuuksien vaikutuksia pyritään rajoittamaan erilaisilla rakenteellisilla ratkaisuilla ja käsittelymenetelmillä. Suojaamattomana puurakenne palaa ja hiiltyy. Puurakenne voidaan suojata palolta esimerkiksi kipsi-, mineraali- tai mineraalivillalevyillä. Erilaisia paloa hidastavilla käsittelyillä valmistettuja puulevyjä käytetään myös rakenteissa Euroopassa. Yli kaksikerroksi-

sisä puurakenteisissa asuinkerrostaloissa rakentamismääräykset edellyttävät lisäksi huoneistokohtaisen sprinkler-järjestelmän. Lahoamisen estämiseen perinteinen menetelmä pintakäsittelyn lisäksi on painekyllästys. Kyllästys on perustunut myrkyllisiin kupari-kromi-arseeni-yhdisteisiin, joiden käyttöä ja koostumusta on rajoitettu. Rinnalle on kehittynyt uusia menetelmiä esimerkiksi mäntyöljyyn pohjautuen. Lämpökäsitelty puu ja erilaiset puupohjaiset komposiittituotteet ovat myös tulleet markkinoille entistä voimakkaammin erilaisiin biologista kestävyyttä vaativiin kohteisiin.

Puurakentamisen tuoteratkaisu

Puurakentamisen perustuotteita ovat erilaiset sahatavarat ja niiden jalosteet sekä puulevyt. Suomessa käytettyjä levytuotteita ovat olleet lastulevy, kuitulevy ja vaneri. Viime vuosina myös OSB-levy on tullut korvaavaksi tuotteeksi joihinkin käyttökohteisiin. Puusta valmistetut rakennuspuutuotteet, joita kutsutaan myös insinööripuutuotteiksi, ovat jalostusarvoltaan korkeampia ja valmiimpia tuotteita rakentamiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi liimapuupalkit ja Kertopuu- eli LVL-palkit. Maailmalla on kehitetty erilaisia puulevyjen ja sahatavaran yhdistelmäratkaisuja sekä suurijakeisista puulastuista tehtyjä palkkituotteita, jotka eivät ole juurikaan saaneet jalansijaa Suomesta. Pientalojen rakentaminen pohjautuu paljolti myös erilaisiin valmisselementteihin, joita valmistavat Suomessa useat talotehtaat. Talotyyppejä on lukuisia, ja toimitusten valmiusaste riippuu sekä asiakkaasta että toimittajasta. Useilla tehtailla on valmius avaimet käteen -toimituksiin. Kilpailu tällä alalla on kovaa rakentamiskäytännön ollessa alhaalla.

Suurempien kohteiden valmistamiseen tarvitaan valmiimpia ratkaisuja, kuten valmiita tuoteosia ja tilaelementtejä. Puukerrostalojen rakentaminen perustuu usein suuriin elementteihin, jotka tuovat rakentamiseen tehokkuutta ja kilpailukykyä. Suurelementtien valmistus perustuu usein massiivipuusta valmistettuihin ristiin liimattuihin puukerros- eli CLT-levyihin. Elementit voivat olla 16 x 3 metrin kokoisia, ja usein niihin työstetään tarvittavat aukot valmiiksi tehtaalla. CLT-levyn valmistus on vasta alkanut Suomessa kuhmolaisessa Cross Lam Oy:ssä. Suurin osa tähän saakka Suomessa käytetyistä CLT-levyistä on tullut Stora Enson tehtailta Itävaltasta.

Puukerrostalojen rakentaminen Suomessa

Suurissa kohteissa, kuten kerrostaloissa, toimistorakennuksissa ja teollisuushalleissa puun käyttö on ollut vähäisempää kuin pientalorakentamisessa. Länsinaapurissamme Ruotsissa ja muualla maailmalla puun käyttö kerrostalorakentamisessa on yleisempää. Tilanne on kuitenkin muuttumassa myös Suomessa, sillä uusia kerrostalokohteita on rakenteilla ja alkamassa huomattavasti enemmän kuin aikaisempina vuosina. Vuonna 2015 on arvioitu alkavan 1 500 uuden puukerrostaloasunnon rakentaminen. Määrä vastaa 10

prosentin osuutta Suomen kerrostalorakentamisessa. Työ- ja elinkeinoministeriön Metsäalan strategisessa ohjelmassa puurakentamisen lisääminen on yksi kolmesta painopisteestä, ja puukerrostalorakentamista korostetaan erityisesti keinona lisätä puun käyttöä rakentamisessa. Puutuotteita on tarjolla rakentamiseen, mutta puuelementtejä valmistavia tehtaita ja puisiin kerrostaloihin erikoistuneita rakennusliikkeitä tarvitaan lisää, jotta puusta tulisi kilpailukykyinen materiaali myös suuremmissa rakennuskohteissa.

Puurakentamisen edistämiseen on tarvittu osaavia ja puurakenteista kiinnostuneita suunnittelijoita. Näitä on koulutettu esimerkiksi Aalto-yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen puurakentamisen asiantuntijaohjelmassa. Puukerrostalorakentamiseen on luotu avoin puuelementtistandardi RunkoPES. Puurakentamiseen on kertynyt osaamista, mutta edelleen tunnetaan puutetta tekijöistä sekä rakentamisesta että osavalmistuksessa. Valtaosa puutuoteteollisuuden yrityksistä ei miellä vastuuta valmiista kokonaisuuksista itselleen, vaan ne haluavat pysyttäytyä tuotetoimittajina. Muutama rakennusliike on rakentanut kohteita, mutta pitkäaikaista kokemusta ei ole vielä syntynyt.

Mainittavin tai ainakin näkyvin suunnitteilla oleva kohde on Helsingin Jätkäsaaren suunnitteilla oleva puukaupunkikortteli Wood City, jonka rakentaminen on aiottu aloittaa vuoden 2015 keväällä. Stora Enso ja SRV ovat yhteistyössä tässä hankkeessa, jonka yhteenlaskettu kerrosneliömetrimäärä on 28 000. Tähän sisältyvät asuinkerrostalot, hotelli ja 12 000 kerros-m²:n toimistorakennus. Skanska rakentaa Vantaalle ruotsalaisen Bo Klok -konseptin mukaisia pienkerrostaloja Skanskan ja Stora Enson yhteistyöllä. Vantaan Kivistöön asunomessuille valmistuu 7-kerroksinen puukerrostalo PuuMera, johon tulee 186 asuntoa. Rakentajana on Rakennusliike Reponen Oy, puuelementtien toimittaja on Koskisen Oy, välipohjat ja parvekerakenteet VVR Wood Oy ja puumateriaaleja toimittaa lisäksi Pölkky Oy. Rakennusliike Reponen rakensi Vierumäelle vuonna 2011 valmistuneen 5-kerroksisen puukerrostalon, jossa yhteistyökumppaneina olivat Koskisen Oy ja Versowood Oy. Jyväskylän Kuokkalassa alkoi keväällä 2014 Suomen tähän asti korkeimman puukerrostalon, 8-kerroksisen Puukuokan rakentaminen. Kohdetta rakentaa Lakea Oy, joka oli Seinäjoelle tulleen 6-kerroksisen puukerrostalon rakentaja.

Suomen puukerrostalojen rakentamisessa on huomioitava sääolosuhteet. Käytännöksi on muodostunut rakentaminen teltassa sateelta suojassa (kuva 3). Kosteudelta suojaaminen ei ole pelkästään puukerrostalojen rakentamisen etu, vaan siihen on kiinnitettävä huomiota kaikessa rakentamisessa. Hätäily ja puutteellinen kosteuden hallinta ovat aiheuttaneet viime vuosina laajalti ongelmia rakentamisessa.



KUVA 3. Puukerrostalon rakennusaikainen suojaus sateelta (kuva Jussi Levonen)

Koska kokemukset puukerrostalojen rakentamisesta ovat vähäisiä ja menetelmät ovat kehitysvaiheessa, oppimisprosessi on vielä kesken. Parhaimmillaan 6-kerroksisen puukerrostalon rakentamisen läpimenoaika on kaksi kuukautta. Tämä edellyttää valmiita tilaelementtejä. Rakennusaika voidaan puolittaa verrattuna perinteisiin betonikerrostaloihin ja näin saada kustannustehokkuutta. Kilpailu muita materiaaleja, lähinnä betonia vastaan on kova ja puumateriaalin laajaan käyttöön kerrostalorakentamisessa on vielä matkaa. Argumentteja, joilla puun käyttöä voidaan hyvällä syyllä perustella, ovat ekologisuus, kotimaisuus ja puuhun varastoitunut hiilidioksidi. Puulla on myönteinen vaikutus sisäilmaan. Puu myös tasaa sisäilman kosteuden vaihtelua ominaisuuksiensa vuoksi.

Suurten puurakennuskohteitten toteuttaminen maailmalla

Ruotsi on ollut puukerrostalojen rakentamisessa Suomeen verrattuna edelläkävijä. Rakentamismääräyksissä on ollut eroja Ruotsin hyväksi. Växjön kaupunkiin rakennettiin vuosien 2006–2009 aikana neljän 8-kerroksisen puukerrostalon kompleksi (kuva 4). Tämä ja muut ekologisesti orientoituneen Växjön kaupungin puurakentamisen kohteet ovat olleet useiden suomalaisten ja muiden ulkomaisten ryhmien tutustumiskohde nykyaikaiseen puurakentamiseen jo usean vuoden ajan. Norjan Bergeniin aloitettiin tänä vuonna rakentamaan maailman korkeinta puurakennusta, 14-kerroksista ja 51 metriä korkeaa Treet-asuinkerrostaloa.



KUVA 4. Växjö, Ruotsi, 8-kerroksinen puukerrostalo (kuva Jussi Levonen)

Pohjois-Amerikassa sekä Kanadassa että USA:ssa puun käyttö myös kerrostalojen rakentamiseen on Eurooppaa yleisempää, mutta toistaiseksi sinne ei ole rakennettu korkeampia puukerrostaloja kuin Euroopassa (kuva 5). Toisaalta puun käyttö rakentamiseen on Pohjois-Amerikassa vähintään yhtä yleistä kuin Euroopassa. Metsäiset osavaltiot ja provinssit, kuten Brittiläinen Kolumbia, ovat luoneet ohjelmia puurakentamisen ja puun käytön edistämiseksi.



KUVA 5. Puukerrostalorakennustyömaa. Prince George, Kanada (kuva Jussi Levonen)

LÄHTEET

Liiten, M. Pitkään povattu puukerrostalobuumi saa vauhtia kotimaisista ”legopalikoista”. Helsingin Sanomat 4.10.2014.

Puuinfo: www.puuinfo.fi

Stora Enso: www.clt.info

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T., Viljakainen, M., 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Puuinfo, Helsinki. ISBN 978-952-13-5541-7.

Työ- ja elinkeinoministeriö. www.tem.fi

Törmänen, M. Puurakentaminen lisääntyy, tekijät eivät. Tekniikka ja talous 3.10.2014.

WOPE-PROJEKTI PUUNHANKINNAN KEHITTÄMISESSÄ

Kirsi Itkonen

Tässä artikkelissa esitellään Kaakkois-Suomi-Venäjä ENPI CBC 2007 - 2013 -ohjelman puitteissa toteutettua WOPE – Yrittäjyys puunhankinnassa -hanketta. Kaksivuotinen hanke alkoi vuoden 2012 lopussa ja jatkuu marraskuun 2014 loppuun saakka. Hankkeen tavoitteena on ollut kehittää sekä suomalaisten että venäläisten puunhankintayritysten osaamista puunkorjuussa ja yritystoiminnassa. Hankkeen pääpartneri on ollut Mikkelin ammattikorkeakoulu. Muut hanketta toteuttavat organisaatiot ovat olleet Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun Pienyrityskeskus, Etelä-Savon ammattioppilaitos, Pietarin metsäteknillinen yliopisto ja Viipurin maa- ja metsätalousoppilaitos. Hanketta ovat partneriorganisaatioiden lisäksi rahoittaneet Euroopan unioni, Venäjän federaatio ja Suomen valtio.

Hankkeen taustaa

Rajat ylittävää yhteistyötä EU:n ulkorajoilla, ja siten myös Suomen ja Venäjän välillä, on toteutettu osana Euroopan naapuruus- ja kumppanuusinstrumenttia (ENPI) ohjelmakaudella 2007–2013. Kaakkois-Suomi-Venäjä ENPI CBC -ohjelma on tukenut rajat ylittävää yhteistyötä ohjelma-alueella. Ohjelman tavoitteena on ollut edistää ohjelma-alueen asemaa yhtenäisenä talousalueena, liikenne- ja logistiikkakeskittymänä, vahvistaa sen kilpailukykyä ja investointivoimaa sekä parantaa ympäristön tilaa, elintasoja ja alueen asukkaiden hyvinvointia. Mikkelin ammattikorkeakoulun hallinnoima WOPE-hanke on ollut yksi ohjelman kolmannen hakukierroksen talouskehityksen toimintalinjaan kuuluvista hankkeista.

Hankkeen partnerit, eteläsavolaiset metsäalan koulutusorganisaatiot, Mikkelin ammattikorkeakoulu (Mamk), Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun pienyrityskeskus (Aalto Biz SBC) ja Etelä-Savon ammattioppilaitos (Esedu) ovat tehneet yhteistyötä jo vuosien ajan. Yhteinen hankekokemus oli syy, miksi näinkin suureen hankkeeseen uskallettiin lähteä yhdessä. Partneriverkoston selkeänä vahvuutena nähtiin se, että jokainen organisaatio edusti eri

koulutustasoa: mukana oli yliopisto, ammattikorkeakoulu ja ammatillinen oppilaitos. Siten jokaiselle partnerille pystyttiin määrittelemään luontevasti selkeä kohderyhmä. ENPI CBC -ohjelman määrittelemä kohdealue Venäjällä oli Leningradin alue ja Pietarin kaupunki. Suomen puolella ohjelma-alueena oli Kaakkois-Suomi käsittäen Kymenlaakson, Etelä-Karjalan ja Etelä-Savon maakunnat. Venäläisiksi partnereiksi valikoituivat Pietarin metsäteknillinen yliopisto (Pietari) ja Viipurin maa- ja metsätalousoppilaitos (Viipuri), joiden kanssa suomalaisilla partnereilla on ollut aikaisempaa yhteistyötä, mm. asiantuntija- ja opiskelijavaihtoa sekä hanketoimintaa.

Partnerit ryhmiteltiin kohderyhmien mukaan siten, että Mamk ja Pietarin metsäteknillinen yliopisto tarjosivat koulutusta ja valmennusta Leningradin alueella toimivien puunhankintayritysten omistajille ja työntekijöille. Esedun ja Viipurin maa- ja metsätalousoppilaitoksen koulutus oli suunnattu Leningradin alueen puunkorjuuyritysten keskijohdolle ja työntekijöille sekä metsäalan oppilaitosten opettajille. Aalto-yliopiston Pienyrityskeskukseen kohderyhmänä olivat suomalaiset puunhankintayritykset.

Koulutuksella yritysten kehittämiseen

Hankkeelle oli asetettu kahden tason tavoitteita. Hankkeen yleisenä tavoitteena oli puunhankinnan yrittäjyyden ja yritystoiminnan kehittäminen Luoteis-Venäjällä. Yksityiskohtaisemmat tavoitteet olivat (1) kehittää, lisätä ja vahvistaa suomalaisten ja venäläisten puunhankintayritysten ja Leningradin alueen metsäkoulujen puunhankinnan, yrittäjyyden ja liiketoiminnan osaamista, (2) kehittää ja lisätä suomalaisten puunhankintayritysten tietoja, taitoja ja motivaatiota työskennellä Venäjällä sekä (3) vahvistaa ja kehittää suomalaisten puunhankintayritysten riskienhallintaa ja liiketoiminnan turvallisuutta Luoteis-Venäjän olosuhteissa.

Hankkeen toimenpiteet suunniteltiin siten, että asetetut tavoitteet saavutetaan. Oli varsin selvää, että tärkeimpinä toimenpiteinä olivat erilaiset eri kohderyhmille räätälöidyt valmennukset, koulutustilaisuudet ja -ohjelmat. Hankesuunnitelmaan oli kirjattu yhteensä 11 eri koulutustilaisuutta. Budjetin salliessa ja rahoittajan hyväksyttyä hankkeen muutosesityksen järjestettiin kolme ylimääräistä koulutustilaisuutta. Ensimmäinen oli elokuussa 2014 kahdelle eri kohderyhmälle järjestetty opintokäynti FinMetko -metsäkone- ja maanrakennusmessuille Jämsänkoskelle ja toinen marraskuussa 2014 toteutettu koulutus kuormatraktorikuljettajille. Yksi viimeisistä hankkeen koulutustilaisuuksista oli Tihvinässä lokakuussa 2014 järjestetty koulutus, jossa käsiteltiin harvennushakkuita, metsätieasiasia ja energiapuun korjuuta (kuva 1).



KUVA 1. Russkij Lesin energiapuun hakkuutyömaa (kuva Kirsi Itkonen 2014)

Hankkeen koulutuksia järjestettiin sekä Suomessa että Venäjän puolella. Viimeinen viiden päivän koulutuspaketti venäläisille kuormatraktorikuljettajille toteutettiin siten, että kuljettajia koulutettiin kaksi päivää Pietarissa, yksi päivä Viipurissa ja kaksi päivää Mikkelissä. Samalla hankkeen kolme partneria testasivat, kuinka hyvin järjestetään yhdessä mielenkiintoinen ja korkeatasoinen koulutuskokonaisuus. Osallistujien palaute auttaa uusien koulutuspakettien suunnittelussa ja toteutuksessa.

Koulutuksien lisäksi hankkeen aikana toteutettiin muitakin toimenpiteitä, joilla haluttiin varmistaa se, että hankkeelle asetetut tavoitteet saavutetaan ja puunhankintayritykset saavat apua liiketoimintansa kehittämiseen. Aalto-yliopiston Pienyrityskeskus on rakentanut mallin tukemaan puunkorjuuyritysten riskien hallintaa ja kehittämään yritysten toimintaa turvallisemmaksi. Tämä työkalu on tarkoitettu ensisijaisesti suomalaisille ja kansainvälisille yrityksille, jotka toimivat Venäjän puunhankinnan parissa nyt tai mahdollisesti tulevaisuudessa. Lisäksi Venäjällä toimiville puunhankintayrityksille on luotu internetiin sivusto, jossa tarjotaan materiaalia yritysten liiketoiminnan kehittämiseksi. Palvelu on saavilla sekä suomeksi että venäjäksi.

Hanke saavutti tavoitteensa

WOPE-hankkeen tavoitteiden saavuttamista arvioitiin sekä määrällisillä että laadullisilla indikaattoreilla. Määrällisiä indikaattoreita olivat mm. koulutuksien osallistujamäärät, projekti- ja ohjausryhmän kokouksien lukumäärät, kick-off-seminaarin ja päätösseminaarin osallistujamäärät ja puunkorjuumanuaalin painosmäärät. Määrällisillä indikaattoreilla on helppo mitata tavoit-

teiden toteutumista. Esimerkkinä voidaan mainita vaikka hankehakemuksessa asetettu koulutustilaisuuksien osallistujamäärä, joka oli 10 osallistujaa kussakin koulutustilaisuudessa. Taulukossa 1 esitetään hankkeen koulutuksiin ja osallistujamäärien tavoitteet ja toteumat.

TAULUKKO 1. WOPE:n koulutukset, tavoitteet ja toteuma

Partnerit	Koulutukset Tavoite /Toteuma	Osallistujat Tavoite/Toteuma	Henkilökoulutus- päivät
Mamk ja Pietari	3/4	10/10 - 15	90/140
Aalto	4/4	10/7 - 26	90/101
Esedu ja Viipuri	4/5	10/7 - 10	200/185
Esedu, Viipuri, Pietari	0/1	0/8	0/40
Yhteensä	11/14	30/32 - 59	380/466

Koulutustilaisuuksien osallistujamäärä vaihteli seitsemästä 26 henkilöön. Aalto-yliopiston järjestämä koulutuspäivä tullauskäytännöistä laitettiin avoimeen tarjontaan ja siihen osallistui 26 asiasta kiinnostunutta henkilöä. Hankkeen henkilökoulutuspäivät saatiin siten, että kaikkien koulutuspäivien osallistujamäärät laskettiin yhteen. Taulukossa 2 esitetään yksityiskohtaisemmin eri koulutustilaisuudet, osallistujamäärät ja ajankohdat.

TAULUKKO 2. Kohderyhmät, koulutusten kestot, paikat, ajankohdat, osallistujamäärät sekä koulutusvastuussa olleet partnerit

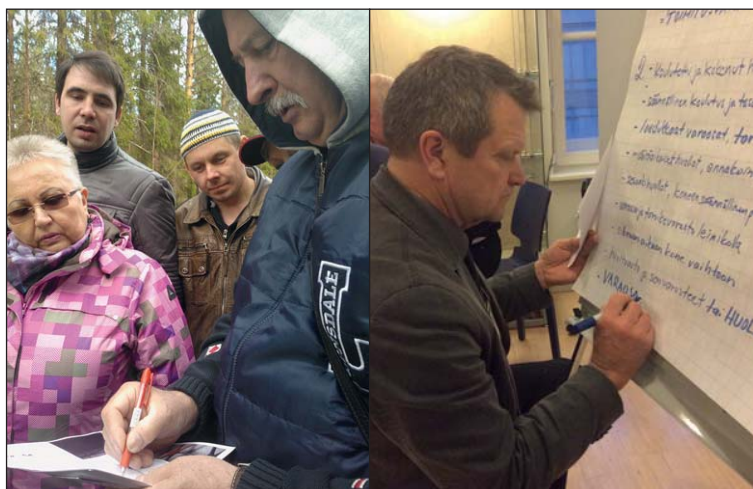
Kohderyhmä	Kesto, päiviä	Paikka	Ajankohta, kuukausi ja vuosi	Osallistujat, määrä	Toteuttajat
Leningradin alueella toimivien puunhankinta yritysten omistajat ja henkilöstö	3	Podporozhe	Loka 2013	15	Mamk ja FTU
	3	Mikkeli	Huhti 2014	10	
	1	Jämsä	Elo 2014	13	
	1	Mikkeli	Elo 2014	13	
Leningradin alueen ammatillisten oppilaitosten opettajat ja korjuuyritysten työntekijät	3	Tihvin	Loka 2014	14	Esedu ja Viipuri
	5	Mikkeli	Marras 2013	9	
	5	Mikkeli	Marras 2013	7	
	5	Mikkeli	Huhti 2014	10	
	5	Mikkeli	Huhti 2014	7	
Suomalaiset puunhankinta-yrittäjät	1	Jämsä	Elo 2014	10	Aalto Pienyrityskeskus
	1	Mikkeli	Elo 2014	10	
	2	Mikkeli	Huhti 2013	11	
	1	Mikkeli	Loka 2013	9	
	1	Mikkeli	Loka 2013	26	
Leningradin alueen kuormatraktori-kuljettajat	2	Podporozhe	Huhti 2014	7	FTU Viipuri Esedu
	3	Mikkeli	Loka 2014	10	
	2	Pietari	Marras 2014	8	
	1	Viipuri	Marras 2014	8	
	2	Mikkeli	Marras 2014	8	

Hankkeen laadullisia indikaattoreita olivat mm. koulutustilaisuuksissa kerätyt palautteet. Tavoitteeksi asetettua puunkorjuuyritysten henkilöstön liike-toimintaosaamisen vahvistumista ja lisääntymistä on vaikea arvioida heti hankkeen päättymisen jälkeen. Osaamisen lisääntyminen näkyy myöhemmin henkilöiden toimintatapojen muutoksena toivottuun suuntaan. Konkreettisia esimerkkejä voisivat olla seuraavat: metsäkoneiden huollot tehdään huolellisesti ja säännöllisesti, yritysten riskien hallintaan kiinnitetään huomiota, harvennushakkuiden määrää lisätään, metsäteiden rakennukseen investoidaan, korjuuyritysten henkilöstön kannustamista lisätään ja ympäristöasioihin kiinnitetään huomiota. Myöhemmin tietoa saadaan myös siitä, innostuvatko koulutukseen osallistuneet suomalaiset puunkorjuuyritykset laajentamaan toimintaansa Leningradin alueelle tai ylipäätään Luoteis-Venäjälle.

Hankkeen loppuseminaarissa Pietarissa marraskuussa 2014 julkaistiin kirja "Ideas, practices and tools for the development of wood procurement". Kirja koostuu 10 artikkelista, joita on ollut kirjoittamassa 14 henkilöä. Kirjoittajat ovat pääsääntöisesti hankkeen partneriorganisaatioista, ja osa artikkeleista on kirjoitettu yhteistyössä partnereiden sidosryhmistä olevien edustajien kanssa. Osa julkaisun artikkeleista käsittelee samoja teemoja, joita koulutuksissa on käyty läpi, osa teemoista on uusia. Kirjan ensimmäinen laitos on tehty englanniksi, mutta vielä syksyn 2014 aikana kirjasta ilmestyy venäjänkielinen laitos. Molemmat versiot ovat saatavilla sekä painettuna että sähköisessä muodossa. Kirjan toivotaan tuovan uusia käytänteitä ja ideoita puunhankintayritysten kehittämiseen.

Yhteistyö ja verkostoituminen

Kahden hankevuoden aikana partnereiden verkosto on vahvistunut, mikä myös oli yksi hankkeen tavoitteista. Yhdessä työskentely on mahdollistanut uuden oppimisen sekä toisilta partnereilta että työelämän edustajilta (kuva 2). Hankkeen päättymisen jälkeen koulutusorganisaatioiden verkosto jatkaa yhteistyötä ja varmistaa siten, että hankkeen tuloksia viedään käytäntöön. Verkoston vahvistuminen ja lisääntynyt osaaminen tekee mahdolliseksi sen, että entistä parempaa koulutusta voidaan tarjota yrityksille niin yritystaloudessa, johtamisessa kuin myös puunhankinnassa sekä Suomessa että Venäjällä.



KUVA 2. Koulutusta ja koulutustarpeiden suunnittelua (kuvat Kirsi Itkonen 2013, 2014)

Hankkeen koulutukset kokosivat merkittävän määrän puunhankinnan ammattilaisia yhteen. Koulutuksiin osallistui yli 60 eri henkilöä yrityksistä ja oppilaitoksista. Lisäksi koulutustilaisuuksien järjestämiseen tarjosi apuaan ja osallistui suuri joukko metsäalan organisaatioita sekä Suomesta että Venäjältä. MetsäForest Podporoze, Metsä Group, Stora Enso, Metsä Wood, Metsä Fibre, Etelä-Savon Energia – Russkij Les, Komatsu Forest, Ponsse, John Deere, Ikea Svedwood, Mayr-Melnhof Holz ja Mir Granul antoivat apuaan ja tarjosivat asiantuntemustaan koulutustilaisuuksien aikana. Tämä oli erinomainen keino ja mahdollisuus jakaa tietoa ja hyviä käytänteitä. Joka kerta, kun ammattilaiset saadaan samaan paikkaan, jotain uutta luodaan: syntyy uusia kontakteja, saadaan ja jaetaan tietoa, kuullaan kokemuksista ja hyvistä käytänteistä. Ei ole saatavissa muuta kuin hyötyjä kaikille osapuolille.

Päätelmät

WOPE-hankkeen tavoitteet on saavutettu. Tavoitteiden saavuttaminen on tarkoittanut sitä, että suuri määrä toimenpiteitä on tehty kahden vuoden aikana. Koulutuksiin osallistujien lisääntynyt puunhankinnan ja sen liiketoiminnan osaaminen sekä lisääntynyt metsäkoneiden käytön ja huollon osaaminen helpottavat yritysten toimintaa uudessa liiketoimintaympäristössä. Lisääntynyt osaaminen auttaa johtamaan yritystä kannattavasti, tuo varmuutta metsäkoneiden käyttöön ja huoltoon sekä parantaa metsäkoulujen opettajien valmiuksia kouluttaa nuoria metsä- ja metsäkonealalle. Koulutuksien avulla yrittäjät, johtajat ja metsäkoneenkuljettajat pystyvät soveltamaan paremmin omissa työssään uutta tekniikkaa ja tutkimustuloksia.

Toisaalta Suomessa on muutamia puunhankintayrityksiä, jotka ovat kiinnostuneita laajentamaan yritystoimintaansa ja parantamaan siten kannattavuuttaan. Näitä uusia mahdollisuuksia voivat tarjota Venäjän markkinat. Hankkeen lopputuloksen kannalta olisi erinomaista, jos muutama koulutukseen osallistunut yritys aloittaisi puunkorjuun Venäjällä. Kun yrityksen osaaminen ja tietämys Venäjän liiketoimintaympäristöstä lisääntyy, toiminnan aloittaminen on helpompaa.

Hankkeen ja sen tulosten toivotaan tuovan hyötyä myös Etelä-Savon maakuntaan ja Leningradin alueelle sekä puuhankinnan ammattilaisille. Metsäpalojen torjunta helpottuisi, jos Leningradin alueella rakennettaisiin uusia teitä ja parannettaisiin jo olemassa olevaa tieverkostoa. Yritykset, joiden kannattavuus paranee, voivat kasvattaa liiketoimintaansa ja siten esimerkiksi palkata uusia työntekijöitä. Näitä mahdollisia hyötyjä hankkeen loppuvaiheessa on kuitenkin erittäin vaikea mitata.

Tässä vaiheessa on kuitenkin syytä pohtia tulevaisuutta. Mitä tapahtuu hankkeen jälkeen? Mitä konkreettista hankkeesta jää? Mitä hankkeesta muistetaan muualla kuin partneriorganisaatioissa kahden vuoden päästä? WOPE-hankkeessa suuri vastuu ja odotukset on laskettu vahvistuneelle, uusia kokemuksia saaneelle ja laajentuneelle partnereiden verkostolle. Voidaan odottaa, että verkosto jatkaa toimintaansa Etelä-Savossa ja Leningradin alueella tarjoten yhteistä koulutusta ja yhteisiä koulutustuotteita. Verkoston vahvuus on siinä, että yhteisesti voidaan suunnitella ja toteuttaa asiakaslähtöisesti erilaista koulutusta ja valmennusta metsäalan yrityksille (kuva 3). Osallistujien antama palaute on erittäin arvokasta koulutustuotteiden kehittämistyössä. Sitä on hyödynnetty jo nyt, kun uusia koulutustuotteita on suunniteltu. Esimerkkinä tästä on koulutus kuormatraktorinkuljettajille. Tämä koulutus toteutetaan Esedun, Pietarin metsäteknillisen yliopiston ja Viipurin maa- ja metsätaloustieteiden tutkimuskeskuksen yhteistyönä.



KUVA 3. WOPEN loppuseminaarissa puhuttiin harvennushakkuista, taloudesta ja tieverkostosta (kuva Kirsi Itkonen 2014)

Hankkeen koulutuksiin osallistuneet henkilöt ja heidän yrityksensä ja organisaationsa muodostavat tärkeän osan tätä koulutusverkostoa. Kahden vuoden aikana yhteydet hankkeen koulutusorganisaatioiden ja yritysten välillä ovat syventyneet. Tulevaisuudessa kaikki osapuolet ovat valmiimpia ja osaavampia antamaan oman panoksensa puuhankinnan ja puunhankintayritysten yhteiseen kehittämiseen ja yhteistyöhön Luoteis-Venäjällä ja Kaakkois-Suomessa.

LÄHTEET

Itkonen, Kirsi, 2013, 2014. Artikkelin kuvat. Lehtori, Mikkelin ammattikorkeakoulu.

HUONOSTI KANTAVIEN MAIDEN JA TEIDEN VAHVISTAMISRATKAISUT

Kati Kontinen

Suomen metsätalousmaasta on turvemaita 34 prosenttia. 1960- ja 1970-luvuilla ojitettiin runsaasti soita, joihin on kehittynyt merkittävä puusto. Turvemaiden puuston kasvu ja kokonaistilavuus ovat 20 prosenttia Suomen metsien kokonaispuustosta. Turvemaidella on runsaasti harvennusrästejä, ja on arvioitu, että turvemaiden puunkorjuuta voisi lisätä 15–20 miljoonaan kuutiometriin vuodessa. Ilmastonmuutos, tasainen puun tarjonta ja metsäkoneiden ympärivuotinen käyttö ohjaavat puunkorjuuta ympärivuotiseksi myös turvemaidella. Turvemaiden puunkorjuussa heikko kantavuus on ongelma sulan maan aikana. Kantavuutta voisi lisätä erilaisilla maaperän vahvistamisratkaisuilla. Tällä tutkimuksella selvitettiin maaperän vahvistusratkaisujen, joita olivat ajosillat, kumimatot ja pitkospuumatot, käyttökelpoisuutta, kustannuksia ja käytön organisointia huonosti kantavilla mailla ja teillä.

Käyttökelpoisimmaksi ja kustannustehokkaimmaksi ajouran vahvistamisratkaisuksi osoittautui ajosilta. Ajosiltojen käyttökohteet ovat ojien ylitykset, ajouran vahvistaminen ja varastopaikan vahvistaminen. Ajosiltoja voidaan käyttää myös pelastautumiseen koneen uppoamistilanteissa. Ajouran vahvistamisessa testatut pitkospuumatot ja kumimatot eivät toimineet rakenteensa puolesta. Teräsvaijerit, joilla pitkospuumatot ja kumimatot on sidottu yhteen, juutuivat kuormatraktorin telakenkiin ja aiheuttivat ongelmia. Talvitiepohjan vahvistamisessa käytetty kumimatto toimi moitteettomasti puutavara-auton alla.

Turvemaiden puunkorjuussa ajosilloilla voidaan lyhentää metsäkuljetusmatkaa ja vähentää raiteenmuodostusta. Kumimattojen käytöllä vähennetään raiteen muodostumista sekä sorastustarvetta metsäteillä, millä arvioidaan olevan jopa kymmenien tuhansien eurojen kustannussäästömahdollisuus. Maisemallisesti aroilla alueilla, suojelualueiden läheisyydessä tai taajamissa puunkorjuun- ja kuljetuksen onnistuminen on tärkeää mm. maisema-arvojen tai virkistyskäytön kannalta. Vahvistamisratkaisujen laajempi käyttö edellyttää käyttökokemuksia, työohjeita ja urakoitsijoiden koulutusta. Vahvistamisratkaisujen käytön toimintamallit hakevat vielä lopullista muotoaan.

Tutkimuksen tausta

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. Vaikka teollisuuden tarve ainespuulle olisikin tulevaisuudessa pienempi, on suopuustolle käyttöä esimerkiksi energiapuuna. Hakkuut ovat suometsien hoidossa ensisijaisessa asemassa, sillä pelkästään hoitotoiden vuoksi ei useimpiin suometsiin ole kannattavaa mennä. Hakkuiden myötä ojien kunto heikenee, 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 (Peltola 2008).

Ensimmäisten erityisesti turvemaille tehtyjen metsänhoitosuosituksen mukaan turvemaiden hakkuumäärät voitaisiin kaksinkertaistaa 12–14 miljoonaa kuutiometriin vuodessa. Syntyneitä harvennusrästejä purkamalla voidaan turvemaiden ensiharvennuksilta taloudellisesti korjata vuosittain noin neljä miljoonaa kuutiometriä puuta seuraavan viiden vuoden aikana. Käytännössä harvennusrästien purkaminen kannattaa suorittaa pidemmällä aikavälillä kasvattamalla vuosittaisia hakkuumääriä pysyvästi (Bergroth ym. 2008).

Maaperän vahvistaminen

Maaperän mekaanisella vahvistamisella tarkoitetaan jonkin maaperän kantavuutta lisäävän elementin tai materiaalin käyttämistä ajouralla metsäkoneen renkaiden alla, jolloin ajoneuvon liikkumiskyky paranee ja maaperän vaurioituminen vähenee. Näiden menetelmien teho maaperävaurioiden vähentämisessä perustuu renkaan synnyttämien maan pintaa kuormittavien voimien jakautumisesta suuremmalle alalle eli koneen kosketusalan kasvamiseen ja vastaavasti kosketuspaineen eli pintapaineen pienemiseen (Lassila 2002).

Käytännön puunkorjuussa on tavallista, että hakkuukone käsittelee rungot ajouran päällä, jolloin karsiutuneet oksat ja katkaistu puun latva kasaantuvat ajouralle. Hannelius ja Lillandt (1970) totesivat hakkuutähteen antavan kantavilla mailla varsin hyvän suojan ensimmäisten ajokertojen aikana, mutta totesivat samalla suojavaikutuksen vähenneen huomattavasti jo neljännellä kerralla. Heikosti kantavilla mailla ei paksukaan havukerros antanut heidän mukaansa suojaavaa vaikutusta. Perinteinen ajouran mekaaninen vahvistamisen keino on ollut hakkuutähteen ja puutavaran käyttäminen maaperän vahvikkeena. Friesin (1974) mukaan ajourapainumien syvyys pienenee havu- tuksella puoleen havuttamattomaan verrattuna. Dale ja Aamodt (1994) ha-

vaitsivat kokeissaan, että kantavalla maalla hakkuutähteen vaikutus ajourapainumaan ja maaperän tiivistymiseen oli suhteellisen vähäistä, kun taas heikosti kantavalla maalla ajourapainuma pieneni 75 %:lla ja maaperän tiivistyminen väheni 54 %:lla havuttamattomaan kohtaan verrattuna. Lindemanin (2010) tutkimusten mukaan lähikuljetuksen keruu-uran raiteen muodostumista selettävät parhaiten hakkuutähteen määrä, turpeen paksuus, kuormatraktorin pintapaine, kuormatraktorin massa, pohjaveden pinnan syvyys, hakkuukertymä sataa metriä kohden sekä keruu-uran määrä kohteella (Lindeman 2010).

Suollakin vakavia kantavuusongelmia esiintyy usein vain pienellä osalla ajouria esimerkiksi vetisyyden tai ajouran kovan kuormituksen takia. Suometsissä näillä kohteilla on usein vähäinen puusto ja sen myötä pieni kertymä. Joskus kriittinen alue voi olla hyvinkin lyhyt (notko, ojan tai puron ylityspaikka, varastolle johtava ura tms.). Jos kantavuus on erityisen heikko tai uran kuormitus hyvin suuri etukäteen paikallistettavissa olevissa ajouraverkon kohdissa, voidaan ajoalustaa erityisesti vahvistaa. Käytännön ajoalustan vahvistustoimenpiteitä ovat havutus, kuitupuutelan rakentaminen, siirrettävien ajosiltojen tai kevytsillan käyttö.

Tutkimuksen tavoite

Tällä tutkimuksella selvitettiin maaperän vahvistusratkaisujen, joita olivat ajosillat, kumimatot ja pitkospuumatot, käyttökelpoisuutta, kustannuksia ja käytön organisointia huonosti kantavilla mailla ja teillä. Kumimattoja tutkittiin ajouran vahvistamisessa sekä talvitie pohjan vahvistamisessa. Ajosilloja ja pitkospuumattoja tutkittiin maaperän vahvistamisessa ajouralla. Tutkimusaineiston muodostivat vuosina 2008–2010 tehtyjen vahvistamistratkaisujen testaukset. Tutkimuksella selvitettiin neljän erityyppisen vahvistamistratkaisun käyttökelpoisuus, -kustannukset sekä toimintamallit kesäaikaisessa puunkorjuussa ja -kuljetuksessa. Aikatutkimuksen avulla selvitettiin vahvistamistratkaisuiden käytön kustannukset. Tutkimuksen kaikki osiot on videokuvattu ja aikatutkimus tehtiin videolta.

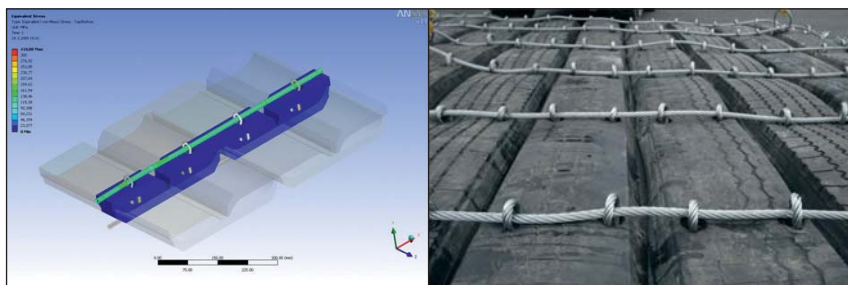
Vahvistamistratkaisujen tutkimusmenetelmät

Tutkitut ajosillat olivat kooltaan 4 metriä pitkiä, 1 metrin leveitä ja 12,5 cm paksuja (eli 5 tuumaa paksua lankkua). Ne oli pultattu yhteen kolmesta kohdasta läpiporatulla terästangolla. Testattavat ajosillat oli valmistettu kontortamännystä. Niiden taivutuslujuus testattiin ja ajosilta kesti noin 140 kN paineen ennen katkeamista (Mikpolis 2009). Kuvassa 1 testattu puinen ajosilta.



KUVA 1. Testatut ajosillat (kuva Pekka-Jussi Jääskeläinen)

Fortecta-suojamatto oli valmistettu kierrätetyistä kuorma-autonrenkaista. Testissä käytettiin standardisuojamattoa, jonka koko oli noin 3 x 5 m ja paino oli noin 1000 kg/kpl. Suojamatossa sidontatekniikka perustuu kahden vaijerin käyttöön yhdessä sidoksessa. Ensimmäinen vaijeri sitoo renkaan kulumuspinnat tiiviisti yhteen. Toinen, suora vaijeri pujotetaan läpi ensimmäisen muodostamasta silmukkarakenteesta, kuten kuvasta 10 voidaan todeta (Fortecta 2009).



KUVA 2. Testattu Fortecta-kumimatto (kuva Kati Kontinen)

Testattu pitkospuumatto 1 oli valmistettu sahatusta ja höylätystä männystä (kuva 3). Pitkospuuiden mitat olivat: pituus 11 m, leveys 110 cm, paksuus 10 cm, pitkospuulapun leveys 15 cm ja paino 500 kg/kpl. Laput oli kiinnitetty toisiinsa teräsvaijerilla.



KUVA 3. Testattu pitkospuumatto 1 (kuva Kati Kontinen)

Toinen tutkittu pitkospuumatto oli valmistettu pyöreästä puutavarasta. Puut on sidottu vierekkäin ja kiinnitetty toisiinsa teräsvaijerilla (kuva 4). Testeihin valmistettiin kolmella tavalla sidottua mattoparia. Ensimmäinen pari oli sidottu päältä ja sivuilta toisiinsa, toinen pari sivuilta sidottuina ja puutavarasta läpiporattuna ja kolmannet parit sivuilta sidottuina. Kuvassa 4 sidontatavana oli päältä ja sivuilta sidottuina. Matot on valmistettu kuusesta ja mitat olivat: leveys 120 cm, pituus 800 cm, paksuus n. 23 cm ja paino n. 1000 kg/kpl.



KUVA 4. Testattu pitkospuumatto 2 (kuva Olli Suorsa)

Testikoneena toimi 8-pyöräinen Valmet 838 -kuormatraktori. Varusteina edessä olivat Marttiini-harvennustelat, jotka on suunniteltu erityisesti turvema- ja harvennusolosuhteisiin, telakenkäleveys 90 mm (Marttiini Metal Technics Oy). Takana puolestaan olivat ECO-Magnum-telat, telakenkäleveys 150 mm, jotka ovat erittäin pehmeiden ja helposti vaurioituvien maiden sekä harvennusten telamalli (Metsätyö Oy). Koneen kokonaispaino kuormattuna oli 22 000 kg ja tyhjänä teloineen 16 000 kg. Kokeelliset aineistot on kerätty Mikkelin ammattikorkeakoulun metsätalouden laitoksen opetusmetsässä Pieksämäen Nikkarilassa vuosina 2008–2010.

Tutkittaessa kumimattojen käyttöä talvitiepohjan vahvistamisessa selvitettiin kumimattojen käytön kustannukset. Testauskohteena oli juuri valmistunut suora talvitiepohja, joka oli rakennettu turvemaalle, ja jolla ei ollut liikennöity ollenkaan. Testaukset videoitiin, jonka perusteella mattojen aikatutkimus suoritettiin.

Mattoja levitettiin 8 pitkittäin ja 2 poikittain, yhteensä 46 m. Vahvistamaton ura oli 50 m. Koeajoneuvona oli puutavara-auto Sisu 380E (kuva 5). Kumimatoilla ajettaessa ajouralla painoa oli 27 tonnia.



KUVA 5. Puutavara-auto kumimattojen päällä (kuva Kati Kontinen)

Tulokset

Ajankäyttö ajouran vahvistamisratkaisuissa

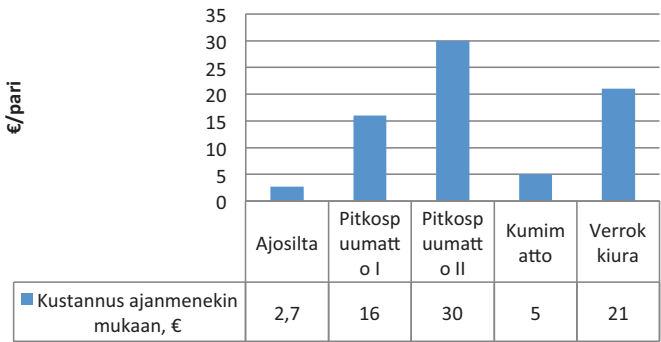
TAULUKKO 1. Yhteenveto vahvistamisratkaisujen ajankäytöstä/kappale

Vahvistamisratkaisu	Kuormaus koneeseen/ kpl	Asettelu paikalleen/ kpl	Kuormaus koneeseen/ kpl	Purku varastopaikalle/ kpl	Yhteensä/ kpl
	varastopaikalla	metsässä	metsässä		
Ajosilta	12 s	18 s	12 s	12 s	54 s
Pitkospuumatto I	15 s	3 min 1 s	2 min 30 s	15 s	6 min 1 s
Pitkospuumatto II	2 min 38 s	3 min 47 s	2 min 38 s	2 min 38 s	11 min 41 s
Kumimatto	35 s	2 min 10 s	53 s	35 s	4 min 13 s

Taulukossa 1 esitetään ajanmenekki vahvistamisratkaisun käsittelystä kappalettain. Ajanmenekki koostuu vahvistamisratkaisun kuormauksesta koneeseen, asettelusta ajouralle ja ajouralta koneen kyytiin kuormaamiseen sekä koneesta varastopaikalle purkuun.

Kuvassa 6 esitetään vahvistamisratkaisun käsittelystä aiheutuva kustannus vahvistamispareittain eli ajosillalla ja pitkospuumatoilla siltapari ja kumimattolla yksi kappale. Ajanmenekki koostuu vahvistamisratkaisun kuormauksesta koneeseen, asettelusta ajouralle ja ajouralta koneen kyytiin kuormaamiseen ja koneesta varastopaikalle purkuun.

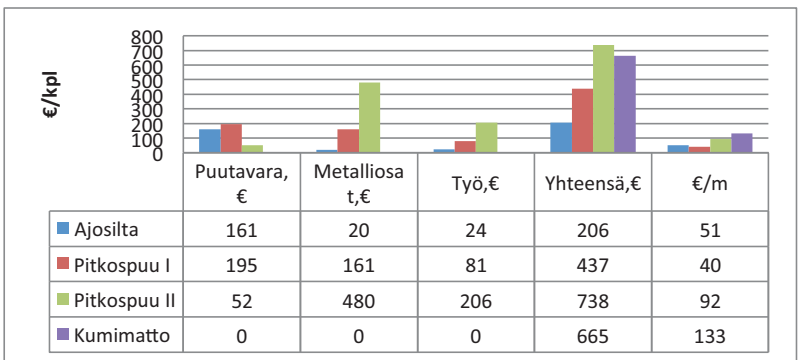
Kustannus ajanmenekin mukaan, €



KUVA 6. Kustannus vahvistamisratkaisujen käytöstä/vahvistamispari. Tuntihintana käytettiin 80 €/h (ALV 0 %) (Jaakkola 2013)

Valmistuskustannusten vertailu

Eri vahvistamisratkaisujen valmistuskustannukset on luetteloituna alla olevaan kuvaan 7. Hinta on laskettu puutavaran menekin, metalliosien menekin ja työajan menekin avulla yhdelle kappaleelle.



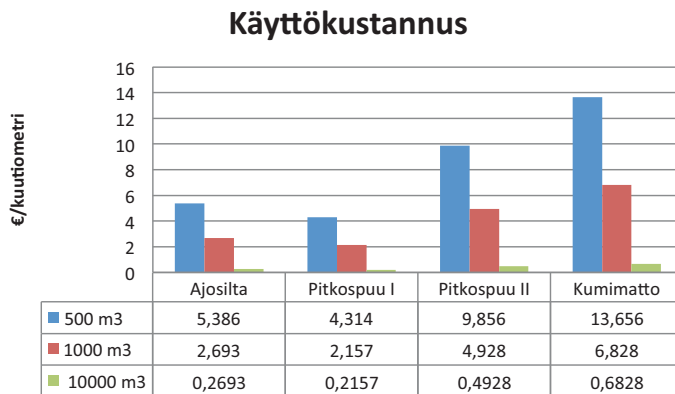
KUVA 7. Materiaali- ja valmistuskustannukset yhden kappaleen osalta (hinnat sis. alv 0 %)

Taulukossa 2 on laskettu ajanmenekin mukaan kustannukset eri vahvistamisratkaisujen käytöstä, kun vahvistetaan maaperää 50 m:n matkalta. Kustannuksissa käytetään tuntihintana 80 €/h (ALV 0 %) (Jaakkola 2013).

TAULUKKO 2. Kustannukset vahvistettaessa käytetyn ajan mukaan 50 metrin matka

	Ajosilta (12 kpl pareja) metsään	Pitkospuu-mattopari I metsään (5 kpl pareja)	Kumimatto-pari metsään (10 kpl pareja)	Pitkospuu-mattopari II metsään (6 kpl pareja)	Kumimatto-pari tielle (10 kpl)
Tuonti työmaalle	80 €	80 €	80 €	80 €	80 €
Purku lavetista	6,48 €	3,45 €	11,10 €	42,24 €	11,10 €
Lastaus kuormatraktoriin ja kuormatraktorista käytön jälkeen pois	13,08 €	36,80 €	31,10 €	84,42 €	
Kuljetus metsään ja pois (200 m ajomatkalla)	6,00 €	6,00 €	6,00 €	6,00 €	
Asennus paikalleen	9,60 €	40,35 €	44,00 €	61,44 €	
Purku varastopaikalle tai lavettiin/puutavara-autoon	6,48 €	3,45 €	11,10 €	42,24 €	44,00 €
Yhteensä	122 €	170 €	183 €	316 €	135 €

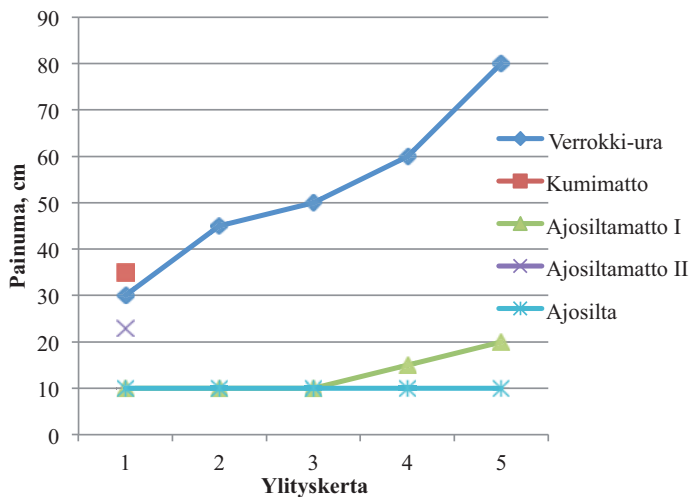
Kuvassa 8 esitetään eri vahvistamisratkaisujen käyttö- ja hankintakustannukset vahvistettaessa 50 metrin matka.



KUVA 8. Vahvistamisratkaisujen käyttökustannukset kuutiometriä kohti

Ajourapainumamittaukset

Kuvassa 9 on esitetty mitatut ajourapainumat eri vahvistamisratkaisuilla. Verrokki-uralla tarkoitetaan uraa, jota ei ole vahvistettu lainkaan. Viidennellä ajokerralla kuormatraktori on juuttunut kiinni verrokkiuralla (n=5). Kumimattolla (n=1) ja ajosiltamatolla II (n=1) ajoyritys päättyy ensimmäiseen kertaan ongelmien vuoksi. Ajosilloilla (n=5) ja ajosiltamatolla I (n=5) ylityskertoja on viisi.



KUVA 9. Ajourapainumat eri vahvistamisratkaisuilla ylityskertojen mukaan

Tarkastelu ja päätelmät

Ajosillat

Ajosiltojen käsittelyyn kuluneen ajan suhteen tulokset ovat hyvät. Ajosillat olivat nopeimpia käsitellä tässä tutkimuksessa testatuista vahvistamisratkaisuista, kustannus ajosiltaparin käsittelystä jäi alle 3 €:n. Keskivirheen ollessa 1,68 käsittelyyn kuluneesta ajasta, voidaan todeta tulos luotettavaksi. Myös ajourapainuman suhteen ajosillat olivat tämän tutkimuksen kärkeä. Ajourapainumamittauksissa painumaa ei käytännöllisesti katsottuna muodostunut ollenkaan silloin, kun vahvistamisratkaisuna käytettiin ajosiltoja. Materiaali- ja valmistuskustannuksiltaan ajosillat ovat toiseksi halvimmat (51 €/m) ja vahvistettaessa 50 metrin matka, ajosiltojen käsittelyyn kuluneen ajankäytön kustannukset pienimmät (122 €).

Ajosiltojen positiivinen vaikutus korjuujälkeen perustuu pintapaineen vähenemiseen lähes olemattomiin, kun kuormatraktori liikkuu ajosiltojen päällä. Laskennallinen pintapaine kuormatraktorin ollessa neljän ajosillan päällä on 12 kPa koneen kokonaismassan ollessa 22 000 kg. Ajosilloilla pystytään ehkäisemään puiden kallistumista kuormatraktoria kohti ja näin ajosiltojen käytöllä vähennetään ajouran varteen syntyviä puusto- ja juuristovaurioita.

Pitkospuumatto I

Pitkospuumaton I käsittelyyn kului huomattavan paljon aikaa. Tarvitaankin lisähavaintoja, että tulokset saadaan luotettavalle tasolle. Lasketut kustannukset käsittelyyn kuluneesta ajasta olivat noin 16 € per pari, erityisesti niiden kerräminen takaisin kuormatraktorin kyytiin aiheutti hankaluuksia ja tätä kaut-

ta ajanmenekkiä. Ajourapainumaa ne kuitenkin vähensivät ja tällä perusteella soveltuvat vahvistamisratkaisuiksi. Materiaali- ja valmistuskustannuksiltaan ne ovat halvimmat (40 €/m) ja kustannus vahvistettaessa 50 metrin matka (170 €) on toiseksi pienin testatuista ratkaisuista. Pitkospuumattojen I versio painoi 500 kg/kpl.

Pitkospuumatto II

Pitkospuumattojen II käsittelyyn kuluneen ajan suhteen olivat tulokset ylivoimaisesti huonoimmat. Käsittelyyn kului eniten aikaa ja siitä aiheutuneet kustannukset olivat suurimmat (30 €/mattopari). Lisäksi vahvistettaessa 50 metrin matka, kustannukset olivat esimerkiksi ajosiltoihin verrattuna jopa kolminkertaiset (316 €). Materiaali- ja valmistuskustannuksiltaan ne olivat tuplasti ajosiltojen kustannuksia kalliimmat (92 €/m).

Nostolenkkivaijerit tarttuivat ajettaessa teloihin ja tämän seurauksena matot lähtivät rullautumaan koneen mukana. Ongelmana testeissä oli myös kuor-matraktorin sivuttaispito mattojen päällä. Puiset matot osoittautuivat erittäin liukkaiksi koneessa olleelle telavarustukselle. Liukumisen seurauksena kuor-matraktori tippui pois mattojen päältä ja renkaiden väliin jäänyt ajosiltamatto lähti pyörimään koneen mukana. Pitkospuumatot kallistelivat myös voimakkaasti ja se edisti myös koneen liukumista sivuttaisiin mattojen päällä. Pitkospuumatot ovat myös erittäin painavia. Massa putoaisi huomattavasti, jos ne valmistettaisiin halkaisuista pölkyistä. Pitkospuumatot ovat pituutensa (8 m) vuoksi hankalammat käsitellä kuin neljän metrin ajosillat.

Kumimatot

Kumimattojen käsittelyyn mennyt aika ja siitä aiheutuva kustannus oli noin 5 €/matto. Vahvistettaessa 50 metrin matka, aiheutuva kustannus nousee suureksi (183 €) sen takia, että niitä tarvittiin eniten. Hankintakustannus oli myös suurin (133 €/m). Ajourapainumamittauksia ei kuitenkaan pystytty tekemään testeissä tapahtuneiden ongelmien takia. Kiinnitysvaijerit tarttuivat jatkuvasti telakenkien päihin sekä hokkeihin. Testaukset jouduttiin keskeyttämään näiden ongelmien takia.

Kumimatot talvitie pohjalla

Kumimattojen käsittely oli suhteellisen nopeaa. Kustannuksia käsittelystä tuli noin 1 €/matto. Ajankäytöstä johtuva kustannus vahvistettaessa 50 metrin matka talvitie pohjalla on 22 €. Hankintakustannus kumimatoilla on korkea, 133 €/m, käyttöikä voi olla korkeakin, 10 - 15 vuotta. Kumimatot paransivat liikennöitävyyttä ja kantavuutta huonosti kantavalla talvitiellä. Ajourapainumaa ei muodostunut. Pitkittäin asetettuna matot toimivat hyvin silloin, kun niille ajetaan etuperin. Tällaisessa tapauksessa matot soveltuisivat hyvin esi-

merkiksi metsätielle, jossa vahvistetaan huonosti kantavaa kohtaa (esim. turvemaan ylitys). Poikittain asetetut matot toimivat kohteilla, joilla joudutaan peruuttamaan. Tällaisia kohteita ovat mm. varastopistot.

Vahvistamisratkaisujen hankintaa ja käyttöä pohdittaessa tulee miettiä turvemaiden puunkorjuun volyyymia. Mitä suuremmaksi korjattavat puumäärät nousevat, sitä kannattavampi hankinta on. Hankintarajaksi voitaisiin suositella 5000 - 10 000 m³. Vahvistamisratkaisujen käytön yleistyminen vaatii asennemuutosta kentällä. Asennemuutokseen voidaan vaikuttaa koulutuksella, jossa vahvistamisratkaisujen käyttöä voitaisiin demonstroida. Turvemaiden puunkorjuu vaatii enemmän suunnittelua verrattuna kivennäismaiden puunkorjuuseen. Olisikin paikallaan miettiä turvemaiden puunkorjuun koulutuksen lisäämistä koko valtakunnan tasolla.

LÄHTEET

Bergroth, J., Ihalainen, A. & Heikkilä, J. 2008. Ojitettujen turvemaiden taloudellinen ensiharvennuspotentiaali. Metsätalon katsaus 32.

Dale, O. & Aamodt, H. 1994. Tiltak för hindre terrängskador, barlegging av kjoreveier. Summary: The effect of depositing limbs in strip roads to reduce damages on the forest ground. Norsk Istitutt for Skogforskning. Rapport 16.

Fries, J. 1974. Thinning- why and how? Thinning in the forestry of the future. Reprint of papers from the international conference at Elmia 1973. Skogshögskolan, Institutionen för skogsteknik. Rapporter och uppsatser 40.

Fortecta Finland Oy. 1 Esite. Luettu 4.8.2009.

Hannelius, S. & Lillandt, M. 1970. Puuston vaurioituminen harvennusleimikoiden koneellisessa korjuussa. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos, Tiedonantoja 4.

Högnäs, T., Kumpare, T. & Kärhä, K. 2011. Turvemaaharvennusten korjuukelpoisuusluokitus. Metsätalon tulosalvosarja 3/2011.

Jaakkola, S. 2013. Koneyrittäminen Suomessa. Luentomoniste. Koneyrittäjien liitto ry.

Lassila, K. 2002. Ajouran mekaaninen vahvistaminen puunkorjuussa maaperävaurioiden vähentämiseksi. Helsingin yliopisto, Pro gradu -työ.

Lindeman, H. 2010. Raiteistuminen turvemaiden puunkorjuussa. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Pro gradu -työ.

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.

Peltola, A. (toim.). 2008. Metsätilastollinen vuosikirja 2008 - Skogsstatistisk årsbok - Finnish Statistical Yearbook of Forestry. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2008. Metsäntutkimuslaitos.

Törnqvist ym. 2010. Metsätehon tulokset 3/2010.

BIOLANNOITE - TUHKASTA KASVUUN METSISSÄ

Kati Kontinen

Metsien lannoitukseen voidaan käyttää sellaista tuhkaa, joka on syntynyt puun, turpeen tai peltobiomassojen poltossa. Luontaisia tuhkalannoituskohteita ovat turvemaat, ojitetut suometsät. Puuston kasvun ja ravinnetalouden suhteen turvemaat sisältävät pääosin riittävästi typpeä, mutta niukkuutta on yleisesti muista pääravinteista, kaliumista ja fosforista. Erityisesti puun poltosta syntynyt tuhka sisältää kaliumia ja fosforia oikeassa suhteessa ja soveltuu hyvin turvemaiden lannoitukseen. Turvetuhka sisältää puutuhkaa niukemmin kaliumia, mutta soveltuu fosforin puutteesta kärsivien turvemaiden lannoitukseen kaliumilla terästettynä. Puu- ja turvetuhkan sekoitus voi olla käyttökelpoinen lannoite sellaisenaan, tai jalostettuna niin, että tuhkaan lisätään kaliumia ja booria.

Etelä-Savon 1,2 milj. hehtaarin metsäalasta soita on 260 000 ha. Suoalasta on ojitettu metsätalouskäyttöön 210 000 ha. Ojitettujen turvemaiden puuston vuotuinen kasvu on 1,6 milj. m³ ja hakkuumahdollisuudet reilu 1 milj. m³/a. Suometsien pinta-alasta 2/3 on ensiharvennus- tai varttuneita kasvatusmetsiä, tulevaisuuden tukkipuustoja. Suometsissä on tällä hetkellä nuoresta ikäluokajakaumasta johtuen myös runsaasti energiapuun käyttömahdollisuuksia.

Tuhkalannoituksella voidaan korjata turvemaiden ravinnetilannetta ja parantaa puuston kasvua aivan niukkaravinteisimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta. Tällaisia ravinneköyhiä, ojitettuja soita on noin 15 % turvemaiden pinta-alasta. Tuhkalannoitus soveltuu siis käytettäväksi valtaosalla turvemaisista, ja sillä voidaan lisätä puuston kasvua erityisesti ravinne-epätasapainosta kärsivillä alueilla. Kasvun lisäys voi olla 1 - 6 m³/ha/a metsän kiertoaikana, ja yhden lannoituskerran vaikutus voi kestää jopa 40 vuotta. Tuhkalannoitusta on kokeiltu hyvin tuloksin myös turvetuotannosta vapautuvien suopohjien metsittämislannoitteena.

Biolannoite-hankkeella heräteltiin metsänomistajia ja metsäammattilaisia tuhkalannoituksen myönteisistä vaikutuksista. Tiedonvälityshankkeen toimenpiteinä olivat erilaiset tuhkalannoitusnäytökset sekä tiedonvälitysseminaarit. Lisäksi hankkeen aikana koottiin kattava tietopankki tuhkalannoituksesta sekä kartoitettiin Etelä-Savossa sijaitsevat potentiaaliset lannoituskohteet. Hankkeesta saadut kokemukset olivat myönteisiä ja hankkeen aikana järjestettyjen tilaisuuksien herättämä huomio ja kävijämäärät kertoivat aiheen kiinnostuksesta.

Kokemuksia tiedonvälityksestä

Uusiutuvien energialähteiden lisäystavoite kaksinkertaistaa metsähakkeen käytön tulevina vuosina energiantuotannossa, mikä kasvattaa huomattavasti poltossa syntyvän puutuhkan määrää. Tuhkalannoituksilla voidaan parantaa ja korjata turvemaiden ravinnetaloutta sekä lisätä puuston kasvua ja elinvoimaisuutta. Tuhkalannoituksia tehdään nykyisin vain vähäisessä määrin hyötyyn, tarpeeseen ja käyttömahdollisuuksiin nähden Etelä-Savossa, johtuen mm. tuhkalannoituksen ja sen vaikutusten vähäisestä tuntemuksesta.

Metsälannoituksia on tehty Etelä-Savossa viime vuosina noin 3000 ha/a. Valtakunnallisesti vuonna 2009 tehdyistä lannoituksista noin 18 % tehtiin tuhalla. Etelä-Savossa tuhkalannoituksia ovat tehneet käytännössä vain metsäyhtiöt ja Metsähallitus omilla maillaan. Yksityismetsien lannoitukseen on käytetty pääosin kivennäislannoitteita. Tuhkaa on käytetty vain yksittäisillä terveyslannoitushankkeilla. Syitä tuhkalannoituksen vähäiseen käyttöön on useita:

- Tuhkalannoituksen käyttömahdollisuudet ja käyttöön liittyvät prosessit tunnetaan huonosti. Lannoitusten käynnistäminen edellyttää metsänomistajien, metsäammattilaisten ja urakoitsijoiden aktivointia.
- Tuhkalannoituksen käyttökohteiden tunnistaminen on puutteellista ja käyttöpotentiaalista ei ole riittävää tietoa
- Tuhkalannoitus on yksi työlaji suometsien kokonaishoidossa, johon kuuluvat myös harvennushakkuut ja kunnostusojitukset. Riittävän suurien, kannattavien yhteishankkeiden aikaansaaminen ja työlajien niveltäminen toisiinsa on haasteellista metsäammattilaisille ja toimijoille
- Etelä-Savossa ei ole syntynyt yritystoimintaa ”polttopaikasta metsään” -tuotantoketjussa tuhkalannoituksen vähäisen kysynnän vuoksi

Hankkeen toimenpiteet

Hanke toteutettiin tiedonvälityshankkeena, jonka kohderyhmänä olivat Etelä-Savon alueen metsänomistajat, metsäalan ammattilaiset sekä metsäalan yrittäjät. Hankkeen toimenpiteet olivat seuraavat:

- tiedonvälitys- ja asiantuntijaseminaarit sekä loppuseminaari, 4 kpl (Mamk)
- työnäytökset metsänhoitoyhdistysalueittain, 3 kpl (Mamk)
- tuhkalannoituksen paikkatietopohjainen käytettävyysselvitys Etelä-Savon alueelta (Metsäkeskus)
- Metsänomistajille suunnattu tiedottaminen selvityksen pohjalta; tavoitteena saavuttaa 1000 sellaista metsänomistajaa, joiden metsissä on tuhkalannoitukselle soveltuvia kohteita
- Tuhkalannoitusta käsittelevän tietopankin luominen metsäkeskuksen verkkosivuille

Tiedonvälitysseminaarit Mikkelissä, Savonlinnassa ja Pieksämäellä

Etelä-Savo, kolme päivää, kolme paikkakuntaa, yli 150 kuuntelijaa, ja ammattilaiset Metsäntutkimuslaitokselta, Forest Vitalilta, Metsäkeskukselta sekä FA Forestilta kertomassa, miten saamme energiateollisuuden sivutuotteesta tuhkasta lisäkasvua suometsiimme. Etelä-Savossa on noin 200 000 hehtaaria ojitettuja soita, joista n. 62 000 hehtaarille puun- ja turpeenpoltosta syntyvä sivutuote antaisi tärkeitä ravinteita, lisääisi kasvua ja parantaisi puun laatua. Maaliskuussa 2013 järjestettiin metsänomistajille ja metsäammattilaisille seminaarisarja, jonka tarkoituksena oli herätellä kuulijoita tuhkalannoituksen vaikutuksista. Päivien päätteeksi vierailimme Pieksämäellä Savon Voiman lämpölaitoksella ja Savonlinnassa Suur-Savon sähkön voimalaitoksella.

FA Forest Oy on johtava tuhkanjalostaja ja lentolevittäjä Suomessa. FA Forestin tuhkatuotteet kulkevat Ecolan nimellä ja suometsiin on saatavilla kaksi eri lannoitetta. Suvanto kertoo tuhkan ravinnepitoisuuksien olevan matalia verrattuna kemiallisiin lannoitteisiin. Tämän vuoksi tuhkaa täytyy levittää 3000 – 5000 kg/ha, jotta lannoitesuosittelun mukaisesti metsämaahan saadaan lisättyä 40 kg/ha fosforia ja 80 kg/ha kaliumia antamaan lisäpönttä kasvuun. Lannoituksissa käytetty tuhka on peräisin puuta ja turvetta polttavilta voimalaitoksilta, joiden tuhkasta puutuhkan osuus on 70 - 100 %. Kivihiilipohjaista tuhkaa ei saa käyttää metsälannoituksiin. Tällä hetkellä Etelä-Savossa lannoitetaan maasta ja ilmasta käsin noin 500 ha vuodessa, mutta potentiaalia olisi noin 2000 -3000 ha vuotuisiin lannoituksiin.

Tuhkalannoitukseen on mahdollista saada Kestävän metsätalouden rahoitustukea (Kemera), jos puustossa on havaittavissa ravinne-epätasapainoa. Epäiltävissä olevat ravinnehäiriöt on syytä selvittää neulasanalyysillä oman metsätoimihenkilön kanssa.

Tuhkat levitetään maastoon maa- ja lentolevityksinä. Lentolevityksessä tuhkaa levitetään noin 100 - 150 hehtaarille päivässä. Maalevityksessä tuntitehokkuus on noin 1,5 hehtaaria. Maalevityksessä työn suunnitelmallisuus on tärkeää. Puuston pitää olla vasta harvennettua, mielellään samana talvena, ja levitys toteutetaan valmiiksi jäätyneiltä ajourilta. Lannoitteet levitetään tammi-maaliskuun välisenä aikana. Lentolevityksessä lannoitteita voidaan levittää läpi vuoden.

Voimalaitoksilta tuleva tuhka on hienojakoista ja pölyävää, joten sen käsitteleminen ja levittäminen on hankalaa. Pölyämisen välttämiseksi tuhka on stabiloitava (= rakeistaminen). Tuhkalle on kaksi erilaista rakeistustapaa, itsekovetettu tuhka tai tuotantolaitoksissa rakeistettu tuhka. Mitä tasalaatuisempi tuote on, sitä parempi on sen levitystasaisuus.

Työnäytökset

Tuhkalannoituksen lentonäytös järjestettiin Juvalla syyskuussa 2013. Järjestäjinä olivat Mikkelin ammattikorkeakoulu, FA Forest ja Metsä-Savon Mhy. Tilaisuudessa oli noin 40 aktiivista metsänomistajaa ja paljon median edustajia. Tuhkalannoitusnäytöksen aikana tehtiin noin 100 hehtaarin suuruinen lannoitusalue, jolle levitettiin boorilla terästettyä tuhkaa. Näytöksessä päästiin tutustumaan tuhkalannoitukseen yleensä sekä käytettävään levityskalustoon ja itse lannoitteisiin (kuva 1).



KUVA 1. Tuhkalannoitusnäytös, Juva (kuvat Kati Kontinen 2013)

Tuhkalannoituksen maalevitysnäytös järjestettiin Pieksämäellä syyskuussa 2014 (Kuva 2). Järjestäjinä olivat Mamk, FA-Forest, Metsägroup, Suomen metsäkeskus ja HT-tuote. Levitys tapahtui maalevityksenä maataloustraktorilla, johon oli kytketty HT-tuotteen lannoitteenlevitin. Paikalla oli noin 80 asiasta kiinnostunutta.



KUVA 2. Tuhkalannoituksen maalevytykset (kuvat Kati Kontinen 2014)

Loppuseminaari

Hankkeen loppuseminaari järjestetään Joroisissa lokakuun lopussa. Loppuseminaarissa mukana ovat Suomen metsäkeskus, FA Forest, Forest Vital ja Metsägroup. Maastokohteena on Metsähallituksen mailla sijaitseva lannoituskohte, jossa lannoitus on tehty kaksi vuotta sitten.

Hankkeesta tiedotettiin paljon eri medioissa. Erityisesti lannoitusnäytökset ja seminaarit kiinnostivat lehdistöä ja radiota, toteuttaen hankkeen tarkoitusta tiedonvälityksen keinoin.

TALOTEKNIIKAN PROJEKTI- TOIMISTO AVASI OVENSA - OPISKELIJAT TYÖELÄMÄN TOIMEKSIANTOJEN KIMPPUUN

Johanna Arola & Anna-Maija Ojapelto & Taru Potinkara

Mikkelin ammattikorkeakoulun strategiassa (Mamk 2013) on koulutuksen keskeisiksi tavoitteiksi asetettu muun muassa tuottaa aluetta vahvistavaa koulutusta, parantaa opintoprosessin tehokkuutta, kehittää opettajuuden uusia toimintamalleja sekä vahvistaa opetuksen ja tki-toiminnan integraatiota. Opintojen suorittamisen kytkeminen tiiviisti yritysten tarpeista lähteviin toimeksiantoihin ja tiimiopettajuuden kehittäminen ovat edellä mainittuihin strategiisiin tavoitteisiin tähtäviä konkreettisia toimia.

Mamkin talotekniikan koulutus on perinteisesti tehnyt paljon yhteistyötä yritysten kanssa. Yhteistyö on tarkoittanut opinnäytetöiden ja harjoittelun lisäksi työelämäkumppaneiden tapaamisia opintojaksojen yhteydessä esimerkiksi laite-esittelyiden muodossa. Keväällä 2014 kolme hurjapäistä opettajaa päätti lähteä viemään tätä yritys yhteistyötä askeleen uuteen suuntaan ja näin toteuttamaan Mamkin strategian tavoitteita.



KUVA 1. Oviopasteet johdattavat Talotekniikan projektitoimiston tiloihin (kuva Taru Potinkara)

Päätettiin yhdistää kolmannen vuosikursin kaksi opiskelijaryhmää ja lähteä toteuttamaan kolmea opintojaksoa työelämätoimeksiantojen parissa. Kevään suunnittelutyö johti siihen, että syyskuun 2. päivänä ovensa avasi **Talotekniikan projektitoimisto**, jossa työskentelee 45 opiskelijaa 14:n eri asiakastoimeksiantojen parissa. Projektien avulla he suorittavat Projektiosaamisen, Talous- ja tilastomatematiikan opintojaksot sekä Ammatillisen kasvun ammattietiikka-osion. Tavoitteena tässä työskentelyssä on tuottaa hyötyä alueen työelämäorganisaatioille, saada aikaan opiskelijoille ainutlaatuista osaamista ja toimivia työelämäverkostoja, kehittää tiimiopettajuutta ja tuottaa liki 500 tki-opintopistettä.

Tausta

Talotekniikan projektitoimiston ajatus lähti liikkeelle tavoitteesta kehittää opettajuuden uusia toimintamalleja sekä tavoitteesta vahvistaa opetuksen yritysysteistyötä. Talotekniikan kolmannen vuoden opiskelijat valikoituivat ensimmäisen toteutuksen kohderyhmäksi, sillä heillä oli alkamassa Projektiosaamisen opintojakso. Kokonaisuutta haluttiin laajentaa, jolloin Ammatillisen kasvun ammattietiikan osa sulautui hyvin kokonaisuuteen, sillä työelämälähtöisissä projekteissa tämä osa-alue tulee huomioida. Lisäksi kokonaisuuteen otettiin mukaan Talous- ja tilastomatematiikka, sillä oli oletettavasti, että projekteissa tulee tarvetta käsitellä mittaus tuloksia, takaisinmaksuaikoja, investointeja jne. Kokonaisuudessaan Talotekniikan projektitoimiston kokonaisuudeksi muodostui 11 opintopistettä. Käytännössä tämä tarkoittaa opiskelijoilla lähiopetusta kahden työpäivän ajan sekä saman verran itsenäistä työskentelyä.

Kokonaisuuden suunnittelu alkoi alkuvuodesta 2014

Kokonaisuuden suunnittelu aloitettiin alkuvuodesta 2014. Suunnittelu aloitettiin konkretiasta eli tilojen suunnittelusta. Haaveissa oli pääsy Mamkin uuteen oppimisympäristöön Xinnoon, mutta Xinnon tilat on tarkoitettu monialaisille projekteille, joten tuli haarukoida uusia vaihtoehtoja. Projektitoimiston tiloiksi valikoituvat Kasarmin kampuksen välittömässä läheisyydessä sijaitsevan Puupolin tilat. Tila sisältää kaksi vierekkäistä tilaa, joihin muodostettiin työpisteet yhteensä viidelletoista kolmen hengen projektiryhmälle. Lisäksi käytössä on tilojen välittömässä läheisyydessä sijaitseva neuvotteluhuone, jota voidaan käyttää toimeksiantajien tapaamisiin sekä projektitoimiston sisäisiin palaveriinhin. Tila oli aiemmin toiminut projektitilana, mutta pienemmälle henkilömäärälle ja kaipasi uudelleen järjestelyä. Ilmastointi piti saada tehokkaammaksi, kalusteita ja Atk-laitteita tarvittiin lisää ja toimivat tietoliikenneyhteydet olivat välttämätön vaatimus. Onneksi tieto- ja tilahallinto sekä kiinteistöpalvelut avustivat tilojen kuntoon saattamisessa.

Muutostöistä tehtiin suunnitelma ja muutokset luvattiin tehdä hyvissä ajoin ennen opetuksen alkua. Töiden toteutus kuitenkin harmiksemme viivästy. Vielä viikkoa ennen projektitoimiston avajaisia työt olivat kesken. Lopulta tilat valmistuivat, vain päivää ennen toiminnan aloitusta.



KUVA 2. Projektitoimiston tilat alkavat muotoutua (kuva Johanna Arola)

Opetuksen suunnittelu aloitettiin myös heti, kun oli tieto siitä, että opintokokonaisuus toteutuu. Yhteistyön toistemme kanssa tiesimme onnistuvan. Opetuksen kokonaisuuden toteutus mietitytti enemmän, koska aiemmin tällaista ei ollut tehty. Uskoimme ja uskomme edelleen kuitenkin onnistuvamme.

Työelämävalmiuksiin kuuluu niin projektiosaaminen kuin talous- ja tilastomatemiikan asiat. Eettinen pohdinta on tärkeää niin opiskelu- kuin yritys ympäristöissäkin. Opintokokonaisuuden osat tukevat vahvasti toisiaan. Moodle-alustalle kokosimme ennakotehtävän ohjeet, kirjallisuusviitteitä ja muuta materiaalia jo keväällä.

Yrityskontaktointia ja opiskelijoiden valmistelua

Toimeksiantoja lähdettiin haarukoimaan listaamalla ylös yrityksiä, joiden kanssa talotekniikan koulutusohjelma on viime vuosien aikana tehnyt yhteistyötä. Yhtenä valintakriteerinä pidettiin myös sitä, että yritykset sijaitsevat Mikkelissä tai Mikkelin läheisyydessä, jotta opiskelijoiden on helpompaa tavata yritysten edustajia sekä käydä toimeksiannon kohteina olevissa kohteissa. Alun perin mahdollisia yhteistyöyrityksiä oli listalla noin 20.

Yritykset jaettiin opettajien kesken, ja niihin otettiin yhteyttä ajatuksen esittämiseksi. Lähtökohtaisesti kaikki yritykset ottivat ajatuksen hyvin vastaan ja olivat kiinnostuneita tämän kaltaisesta yhteistyöstä. Toimeksiantoja tarvittiin yhteensä 14, ja ne saatiin hyvin kasaan. Tarkempia keskusteluja käytiin noin 10 yrityksen kanssa, joista 7 kanssa sovittiin toimeksiantojen aiheista.

Yhteistyön esteenä oli pääsääntöisesti yritysten edustajien kiireinen aikataulu ja joissakin tapauksissa se, että yrityksistä ei luontevasti löytynyt opiskelijaprojekteiksi soveltuvia aiheita.

Opintokokonaisuuden kohteena oleville opiskelijoille pidettiin huhtikuun lopussa infotilaisuus, jossa kokonaisuutta käytiin läpi, ja siten valmisteltiin opiskelijoita tulevaan. Opiskelijoille esiteltiin kokonaisuuden pääpiirteet ja käytiin läpi tiedossa olevat yhteistyöyritykset sekä projektiaiheet. Lisäksi opiskelijoille annettiin kesän ajaksi tehtävä, jossa heidän täytyi tutustua projektitoimintaan liittyvään kirjallisuuteen. Tällä tavoin pidettiin huoli siitä, että opiskelijoilla oli opintojen alkaessa, syyskuun alussa, hieman tietoa projektityöskentelystä.

Projektitoimisto tarvitsi myös osaavan johtoryhmän. Sen kokoonpanoa pohdittiin ja lopulta pyysimme johtoryhmään opiskelijoita, jotka ovat suoriutuneet opinnoistaan hyvin ja joilla on monipuolista osaamista alalta. Johtoryhmän johtajaksi valikoitui opiskelija, joka suorittaa näin ”johtamiskursin”.

Toiminnan käynnistäminen ja organisointi

Varsinaisesti Talotekniikan projektitoimiston toiminta aloitettiin 2.9.2014. Ensimmäinen työskentelypäivä kului yleisten asioiden käsittelyyn. Heti toisena päivänä toimeksiantajat kävivät esittelemässä toimeksiantojensa aiheet ja näin päästiin itse asiaan eli projekteihin käsiksi. Tämän jälkeen opiskelijat alkoivat valmistella hakemuksia projektipäälliköiden ja projektiasiantuntijoiden tehtäviin. Hakemuksissa opiskelijoita kehoitettiin ilmaisemaan heitä kaksi eniten kiinnostavaa projektiaihetta.



KUVA 3. Jukka Kalliojärvi Suomen talotekniikka Oy:stä kertomassa yrityksen toimeksiantosta opiskelijoille (kuvat Taru Potinkara)

Seuraavalla viikolla Projektitoimiston opiskelijoista muodostuva johtoryhmä toteutti työhaastattelut ryhmähaastatteluina. Ennen haastatteluita ryhmä oli tutustunut työhakemuksiin ja muodostanut jo kokonaiskuvan hakijoista ja tarjolla olevista projekteista. 10.9. oltiin siinä tilanteessa, että projektiryhmät ja niiden johdossa olevat projektipäälliköt nimettiin. Opiskelijat olivat pääsääntöisesti tyytyväisiä saamiinsa projekteihin sekä ryhmiin.

Tästä alkoi opiskelijoiden projektityöskentely. Ensimmäinen tehtävä oli sopia toimeksiantajien kanssa palaverit, joissa ryhmät kävivät ohjaavien opettajien sekä johtoryhmän johdolla tarkemmat keskustelut toimeksiantojen sisällöistä sekä aikatauluista.

Syyskuun aikana projektiryhmät etsivät taustatietoa projektiansa aihealueista, suunnittelivat projektien toteutusta, laskivat projekteille budjetit, miettivät projektiryhmiensä pelisääntöjä ja hakivat toimintatapoja ryhmiensä toimintaan. Ryhmille tarjottiin myös talousmatematiikan ja tilastojen opetusta Excelillä ja SPSS:llä. Opetukseen ryhmät osallistuivat, jos kokivat oppia tarvitsevansa. Lokakuun alussa oltiin tilanteessa, jossa projektisuunnitelmat olivat valmiina ja pidettiin suunnitelmaseminaari.

Tämän jälkeen ryhmät siirtyivät projektiansa toteutusvaiheeseen tavoitteena saada projektit valmiiksi joulukuun alkuun mennessä.



KUVA 4. Ryhmä Sammonkulma (Plattonen, Blomberg, Kauppi) esittelee projektisuunnitelmaansa (kuva Taru Potinkara)



KUVA 5. Suunnitelmaseminaari Xinnossa 7.10.2014 (kuva Taru Potinkara)

Ryhmille kymmenen käskyä tai yhteinen slogan

Kukin ryhmä muokkasi oman näköisensä pelisäännöt. Useat kirjasivat toimintaohjeensa kymmenen käskyn muotoon tyyliin 1. Vastuuta jaetaan tasaisesti kaikille, 2. Pidetään aikatauluista kiinni ja tullaan ajoissa paikalle, 3. Pyritään aina positiiviseen ilmapiiriin jne. Jotkut ryhmät puolestaan muokkasivat pelisääntönsä kuviksi tai sloganeiksi.



KUVA 6. Yksi projektiryhmä kiteytti toimintatapansa näin ytimekkäästi

Tärkeimpiä pelisääntöjä ryhmille tuntuivat olevat tasapuolisuus, reiluus ja aikatauluista kiinni pitäminen. Myös työn ilo näkyi ryhmien tärkeinä pitämien asioiden joukossa. Projektiryhmien pelisääntöjen pohjalta muokattiin talotekniikan projektitoimistolle omat arvonsa. Tällaisiksi sovittiin rehellisyys, asiantuntevuus, asiakkaan vaatimuksen mukaisuus, yhteistyö sekä tuloksellisuus.

TOSISSAAN - EI VAKAVISSAAN

- ILO TARTTUU
- ANNA AIKAA
- RAADA REN-
NOSTI

Projektien kuvaus

Käynnissä oleviin 14 projektiin mahtuu mukaan projektityöskentelyn näkökulmasta sekä aiheiden puolesta erilaisia projekteja.

TAULUKKO 1. Talotekniikan projektitoimiston projektit

Toimeksiantaja	Projektin aihe
Jeven Oy	Ammattikeittiöiden paloturvallisuus
Mikkelin kaupunki	Koulurakennuksen paineolosuhteiden selvitys / Urpolan koulu
Mikkelin kaupunki	Koulurakennuksen sisäilmasto-olosuhteiden selvitys / Launialan koulu
Suomen Talotekniikka Oy	Poistoilman LTO
Suomen Talotekniikka Oy	ESCo-toimintaa tukevat laskurit
Taloasema Mikkelä	As Oy Sammonkulman huoneistojen sisäilmasto-olosuhteet
Taloasema Mikkelä	As Oy Savolahdenportin huoneistojen sisäilmasto-olosuhteet
Juvan Bioson Oy	Biokaasulaitoksen energiataseen tarkastelu
Pipe-Modul Oy	Energiatoteutuksen liittyvien määräysten eroavaisuudet Suomi-Ruotsi
MAMK / Kiinteistöpalvelut	Keilahallin sisäilmasto-olosuhteiden selvitys
MAMK / Kiinteistöpalvelut	Xinnon sisäilmasto-olosuhteiden selvitys/1.krs
MAMK / Kiinteistöpalvelut	Xinnon sisäilmasto-olosuhteiden selvitys/2.krs
MAMK / Kiinteistöpalvelut	Koulurakennuksen sisäilmasto-olosuhteiden selvitys
MAMK	Ravintoloiden energiatoteutus / Joutsenmerkkihaku

Muutama projekti on puhtaasti selvitystyötä, kirjallisuuteen ja aikaisempiin tutkimuksiin perehtymistä ja niiden pohjalta johtopäätösten tekemistä. Joissakin tarvitaan hyvää ruotsin kielen taitoa, jotta asioista voidaan ottaa selvää. Suurin osa projekteista sisältää käytännön mittauksen (lämpötila, kosteus, veto, ilmamäärä, CO₂, VOC) tekemistä sekä tilojen käyttäjien haastatteluja. Mittauksista ja haastatteluista saadaan tietoja, joita voidaan käyttää tilastomatematiikan asioiden opiskeluun. Moniin projekteihin liittyy myös kustannusten laskentaa ja kannattavuuden tarkastelua.

Joissakin projekteissa opiskelijat joutuvat menemään pois omalta mukavuusalueeltaan ja etsimään tietoa aiheesta, johon eivät ole aiemmin törmänneet. Kaikissa projekteissa opiskelijat ovat kohdanneet uusia asioita ja näin oppineet sekä projektityöskentelystä että talotekniikka-alan aihepiireistä lisää.

Jokainen projekti opettaa opiskelijoille myös työelämän pelisääntöjä sekä vuorovaikutustaitoja, sillä jokaisessa projektissa tehdään yhteistyötä vähintään toimeksiantajan edustajan kanssa. Parhaimmillaan opiskelijat ovat projektissaan yhteydessä ohjaaviin opettajiin, johtoryhmään, muihin projektiryhmiin, toimeksiantajan edustajaan, tilojen käyttäjiin, laboratoriohenkilökuntaan, tilojen huoltohenkilökuntaan jne. Tällaisissa projekteissa projektipäälliköllä on runsaasti tehtävää erilaisten kontaktien pidossa.

Miten tästä eteenpäin?

Projektien toteutukset ovat täydessä vauhdissa loka-marraskuun ajan. Marraskuun alussa pidetään projektipäälliköiden kesken Missä mennään -seminaari, jossa käydään läpi projektien senhetkinen tilanne. Projektit valmistuvat marras-joulukuun vaihteessa ja 9.12. järjestetään esitysseminaari, jossa kaikki projektiryhmät esittelevät projektiansa tärkeimmän annin. Kuulijoina ovat toiset projektiryhmät, toimeksiantajat sekä muut talotekniikan opiskelijat.

Talotekniikan projektitoimiston kokonaisuus on nyt ensimmäisen kerran toteutuksessa, ja jo nyt on herännyt muutamia ajatuksia toiminnan edelleen kehittämiseksi. Muun muassa opiskelijoista muodostuvan johtoryhmän työtehtäviä täytyy jatkossa miettiä nykyistä tarkemmin. Lisäksi projektien keskinäistä laajuutta on syytä pohtia jo toimeksiantajien kanssa käydyissä alustavissa keskusteluissa. Tässä toteutuksessa osa projekteista on haastavampia kuin toiset. Toisaalta myös opiskelijoiden lähtötasoissa on eroja, joten erot projektien haastavuudessa voivat olla hyvinkin asia.

Ensimmäisessä toteutuksessa on keskitytty ensisijaisesti projektityöskentelyn ohjaamiseen. Opiskelijoille on jätetty suuri vastuu projektin sisällöstä, joskin siihenkin on toki ohjausta annettu. Jatkossa voidaan miettiä, tulisiko kokonaisuudessa olla mukana nykyistä enemmän mukana ammattiaineiden opettajia, jolloin substanssiin olisi resursseja keskittyä enemmän. Toisaalta opiskelijoilta on tähän saakka tullut lähinnä positiivista palautetta kokonaisuudesta, ja he ovat tunteneet, että projekteja ohjataan riittävästi. Projektien valmistuttua käydään palautekeskustelut sekä opiskelijoiden että toimeksiantajien kesken. Edellä mainittu asia on varmaan yksi näiden keskustelujen aiheita.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että ensimmäinen Talotekniikan projektitoimiston kokeilu on sujunut myönteisissä merkeissä. On ollut hienoa huomata, että opiskelijat ovat paneutuneet projekteihinsa todella hyvin ja olleet innostuneita asiasta. Jo tämän hetken kokemuksella voidaan todeta, että tällaista kokonaisuutta kannattaa toteuttaa ja kehittää edelleen tulevana vuosina.

LÄHTEET

Mamk 2013. Mikkelin ammattikorkeakoulun strategia 2017. <https://staff.xamk.fi/nain-toimimme/strategiatjasopimukset/Documents/Mamk%20strategia.pdf>. Muokattu 2.9.2013. Luettu 19.9.2014.

COMPARISON OF INDOOR AIR AND OUTDOOR AIR PARTICULATE CONCENTRATIONS

Ekaterina Pykhova & Marianna Luoma

The aim of this study was to compare Indoor-Outdoor ratio of particulate matter in different conditions and clarifying factors that impact the indoor-outdoor correlation. Measurements were carried out in number concentrations (PN). Series of measurements were conducted in two buildings. The study of outdoor air contamination was carried out immediately after measurements indoors under different scenarios. The difference in results was achieved by different classes of filter, presence of indoor sources, air tightness of the building, the different levels of outdoor PN concentrations, various types of A/C system and the combination of the mentioned factors.

Background and aims

Since most people spend their time indoors, there has been increased interest in air pollution concentrations. Indoor air quality can affect human health. One reason that can affect is particle pollution exposure to health problems. Number of very small liquid and solid particles suspended in the air depends on different factors. But how could the particle number concentrations be decreased? Which factors impact particle number concentrations indoors? The field of this work is particulate matter concentration in the indoor and outdoor air. The I/O relationship expresses the infiltration behavior of particulate matter (PM). The I/O ratio reflects impact of indoor source, meteorological conditions, airtightness of the building envelope. The analysis of particle numbers provides Indoor/Outdoor ratios at different scenarios with natural ventilation system or with mechanical ventilation system.

This study compared the effect of outdoor pollutant concentrations on the quality of indoor air. Hence the main goal was comparing results of indoor-outdoor ratio obtained in the measurements under different conditions and clarifying reasons that impacted indoor-outdoor correlation. This study aimed to investigate the impact of following factors: ventilation, occupation of premises, presence of open window, presence of fan on the I/O relationship. This goal implied a consideration of the impact on the I/O ratio different types of ventilation system: mechanical and natural ventilation systems.

The correlation between indoor concentrations and outdoor concentrations differs between various places. Each city, region, country has own outdoor level, own climate. Furthermore building characteristics, human activity and HVAC systems can influence the indoor concentration. The second aim was the study of temporal variation of outside air concentration. We have to recognize outdoor particle number concentrations. This study comprised analysis of particle distribution during long period of time and the effect of external sources on the distribution of particles.

Our study concentrated on the number concentration of particles. There are no guidelines for number concentrations. We have various methods to change number concentration to mass concentration but these methods are not so reliable.

Materials and methods

The first series of sampling was made indoors and outdoors under different conditions successively. For the second part of measurements setup to study temporal variation of concentration was used. All sampling was made by AEROTRAK Optical Particle Counter.

Plan of measurements:

- Measuring particle number concentrations in the apartment with natural ventilation under different conditions (open/close window, occupied) and measuring particle number concentrations outside successively
- Measuring PN concentrations under different conditions in the classroom at university (open/close window, occupied/ non-occupied, switched on ventilation system) measuring particle number concentrations outside successively
- Measuring PN concentrations outside during 3 hours

The first measuring point was situated in an apartment of Mikkeli Student Housing Ltd (MOAS). In the apartment there was natural ventilation system. The measurements were conducted at the height of 1.1 m in the middle of the room. In the kitchen there was one person. Prior to the experiment, the window was closed for three hours, nobody was cooking. The mean level of CO₂ concentration was 682ppm. The duration of each sampling in the apartment was 10 min. The floor plan of the apartment is presented in figure 1.

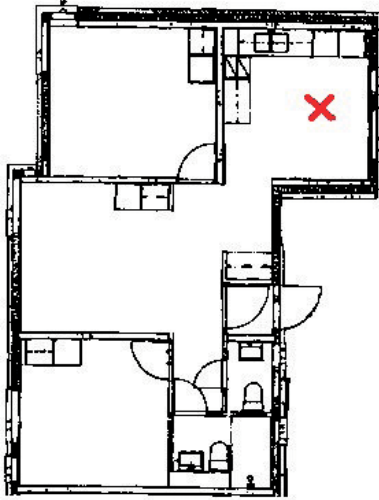


FIGURE 1. Floor plan of the apartment

The second measuring point was located in the classroom at Mikkeli University of Applied Science. The measurements were carried out in the classroom A231. The building was equipped with mechanical ventilation system. This system contained supply air filter F7 class. It was calculated that there were three supply air devices and three exhaust air devices. Supply design air flow rate was 210 l/s and exhaust design air flow rate was 210 l/s. Supply measured air flow rate was 156 l/s and exhaust design air flow rate was 96 l/s. The classroom was designed for 40 people. The measurements were conducted under different scenarios. At the time of measuring 19 people were in the room. The mean level of CO₂ concentration was 588 ppm. The devices were established at 1.1 m height in the middle of the classroom. Before the measurement, the window was closed for approximately 1 hour. In order to get reliable result for one serial of measurements, we opened window for 10 min. In figure 2 below, the classroom and the point of measurements (red cross) are presented.



FIGURE 2. Classroom A 231 (Pictured by Ekaterina Pykhova)

Results

Particle concentration in the classroom

Table 1 presents descriptive statistical analysis of the data for PM concentration measured in the classroom with ventilation system switched on, windows closed, occupied. Ventilation system was switched on during the whole measurement, number of people was not changed. Table 2 below presents us descriptive statistics of data set obtained from the yard of university. The study of outdoor air concentration was conducted immediately after measurements in the classroom. The results show that the number concentration of particles decreased as the size increased.

TABLE 1. Indoor air concentrations with ventilation system switched on, windows closed, occupied

Statistics	Number Concentration 1/l					
	0.3-0.5 μ m	0.5-1.0 μ m	1.0-3.0 μ m	3.0-5.0 μ m	5.0-10 μ m	10.0-25 μ m
Mean	2 744 516	231 957	33 640	21 190	11 488	7 435
Stdev	1 327 306	87 242	11 026	8 459	4 994	3 525
Max	5 976 254	446 033	56 623	43 709	22 726	17 796
Min	1 388 201	122 349	15 915	9 840	3 951	1 982

If we compare results with outdoor air concentration we can see difference in the results. There are no similar correlations between different sizes of particles. It is obvious that this difference was reached by a filter in the air conditioning system. The filter traps different amount of particles in each size range. In this case, filter was more adjusted for particles of small sizes. According to the results, supply filter removes around 90% of the smallest particles in the range 0.3-1 μ m, around 50% in the middle size of particles and does not decrease amount of large particles. We can assume that we can see impact of indoor sources because of the increase in the amount of large particles. The main source in this scenario was people. The type of the supply filter was EU7.

TABLE 2. Outdoor air concentrations immediately after measurements in the classroom

Statistics	Number Concentration 1/l					
	0.3-0.5 µm	0.5-1.0 µm	1.0-3.0 µm	3.0-5.0 µm	5.0-10 µm	10.0-25 µm
Mean	41 625 387	2 602 950	76 074	28 104	6 117	1 379
Stdev	57 505 059	3 371 593	61 259	12 975	2 808	1 245
Max	1,56E+08	9 951 314	247 769	58 992	12 930	3 934
Min	4 383 587	381 483	39 634	18 725	2 955	0

The measurements were conducted successively. The distribution of particles tended to be irregular. Standard deviation shows us that data points were spread out over a large range of values.

TABLE 3. Calculated efficiency of the supply air filter F7 (calculations are based on the measured data)

Statistics	Number Concentration 1/l					
	0.3-0.5 µm	0.5-1.0 µm	1.0-3.0 µm	3.0-5.0 µm	5.0-10 µm	10.0-25 µm
Efficiency of the filter	93%	91%	56%	25%	-	-

It is obvious that the efficiency of the supply air filter F7 decreases as the size of particles increases. At the same time, the effect of indoor sources increases.

Particle concentration in the apartment

In the tables below are presented the results obtained from measurements in the apartment with windows closed. Unfortunately, we had not any guidelines for number concentration of particles. But we could check infiltration of endurance and analyze impact of indoor source for particle concentration. The measurements were conducted consequently and the results of these measurements are presented in table 4 and 5.

TABLE 4. Indoor air concentrations with windows closed

Statistics	Number Concentration I/l					
	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-5.0 μm	5.0-10 μm	10.0-25 μm
Mean	8 055 667	1 648 305	123 815	41 304	12 965	8 095
Stdev	565 818	122 909	32 117	18 031	9 094	8 960
Max	9 339 716	1 874 492	197 229	78 891	35 501	38 459
Min	7 433 785	1 419 796	82 861	17 813	1 979	0

If we compare the results with outdoor air concentrations, we can see difference in results. Indoor air contains particles in size range 0.5-25 in a greater amount than outdoor air. Just the content of fine particles has been exceeded in outdoor air. Obviously that the cause of such variable distribution of particles is due to absence of mechanical ventilation system with filter.

TABLE 5. Outdoor air concentrations immediately after measurements in the kitchen

Statistics	Number Concentration I/l					
	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-5.0 μm	5.0-10 μm	10.0-25 μm
Mean	10 146 097	1 038 454	82 346	32 682	6 824	897
Stdev	1 597 111	102 258	12 213	8 078	2 359	820
Max	12 514 961	1 207 540	99 483	43 429	9 922	1 976
Min	7 380 110	880 934	57 088	17 790	3 937	0

Temporal variation in outdoor air

In table 6 are presented the results of outdoor air concentration during 3 hours. The temporal measurements of outdoor air concentration have important feature such as standard deviation. Therefore analysis of PN concentration was done in size 3.0-5.0 μm .

TABLE 6. Outside air concentrations for 3 hours

Statistics	Number Concentration 1/l					
	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-5.0 μm	5.0-10 μm	10.0-25 μm
Mean	3 084 565	460 642	46 060	28 417	11 688	1 983
Stdev	4 088 211	391 975	21 191	18 993	10 735	3 068
Max	29 366 722	3 087 885	140 733	149 591	98 415	25 587
Min	1 008 003	181 754	19 569	10 808	1 970	0

In figure 3 is presented the distribution of particles with size 3-5 μm . The mean value for the particles with the size 3.0-5.0 μm equals to 28 417 1/l. Standard deviation is 66%. Peak occurred at the end of period. In spite of this peak the amount of particles was steady. During the measurement sharp peak was caused by external conditions. Arrival of a car affected the course of measurements.

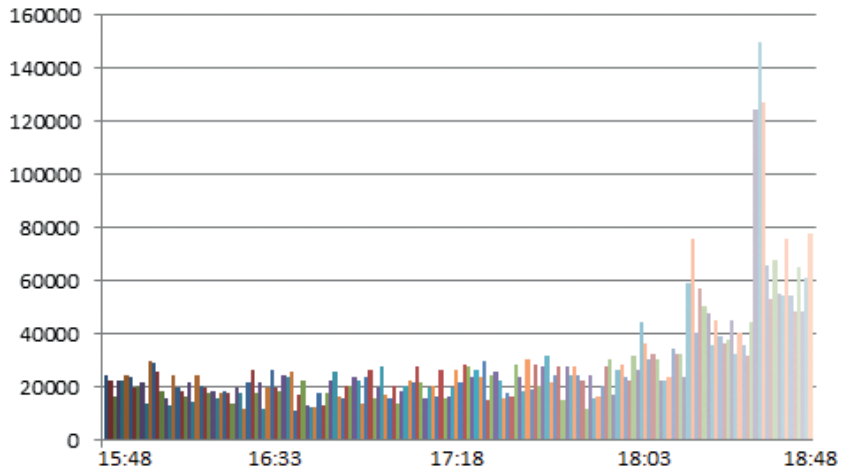


FIGURE 3. Distribution of outside air particles in the size 3 – 5 μm

I/O ratios

The Indoor/Outdoor ratios are clearly larger for the particle of the size 5.0-25.0 μm , than for lower sized particles.

TABLE 7. Indoor/Outdoor ratios for different scenarios

Measurement	Particle size, μm					
	0,3-0,5	0,5-1	1,0-3,0	3,0-5,0	5,0-10	10,0-25
Classroom						
A/C switched on, W.C. occupied	0,066	0,09	0,44	0,75	1,88	5,39
A/C switched on, W.O. occupied	0,059	0,11	0,53	0,94	1,84	4,65
A/C switched on, W.C. non-occupied	0,319	0,25	0,19	0,30	0,49	1,02
A/C switched on, W.O. non-occupied	0,496	0,51	0,43	0,60	0,66	0,77
Kitchen						
W.C. fan switched off	0,79	1,59	1,50	1,26	1,90	9,02
W.O. fan switched off	0,66	1,05	1,45	1,66	2,36	9,43
W.C. fan switched on	0,85	0,99	1,48	1,96	3,10	9,89
W.O. fan switched on	0,67	0,83	0,82	0,93	1,22	5,88

A/C= Air Conditioning System; W.C.= Window Close; W.O.=Window Open

Discussion

This study is comparable with some previous studies. One of the considered studies is impact of ventilation scenario on air exchange rates and on indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom (Guo et al 2007).

The obtained results showed that the I/O ratio for PN concentration varies from 0.08 to 0.50 under mechanical ventilation and from 0.75 to 1.19 under natural ventilation system when indoor sources were absent. The results presented for the I/O ratio for PN concentration in the previous studies ranged from 0.502 to 0.621 for submicrometer particles. The data set obtained in the present study is comparable with previous observations in H. Guo's study where the mean I/O ratio for particles was 0.52 (for particles with diameter less than 1 μm) at conditions when windows closed, A/C on and fans off (Guo et al., 2007). In the study presented here, under similar conditions (windows closed, A/C on and fans off) the mean I/O ratio for the tested particle size-range was 0.08. H.Guo also got that the I/O ratio was 0.53 when all windows were closed, A/C off and fans off (Guo et al., 2007). In comparison, in the measurements in the apartment under the same conditions (windows closed, fan off, A/C is absent) the I/O ratio equaled to 1.19. These comparisons are presented in table 8.

TABLE 8. Indoor/Outdoor ratios for different studies under similar conditions

Measurements	I/O ratio	
	Presented study	Previous study
A/C switched on, W.C. occupied	0.08	0.52
W.C. fan switched off	1.19	0.53

It can be assumed that if the ratio is below 1, indoor PN concentrations are below outdoor PN concentrations and if the ratio is above one then indoor concentrations exceed outdoor ones.

In previous studies related to this topic was observed size-dependent penetration efficiencies of particles. It was analyzed in premises with natural ventilation system and mechanical ventilation system. The penetration efficiency equals to I/O ratio when the deposition rate is less than ACH. It was announced that the penetration efficiency depends on the particle size in naturally ventilated venues. According to the previous measurements, the penetration efficiency was 0.79 when the particle size ranged from 0.853 to 1.382 μm as well as penetration efficiency was 0.48 in the size range 4.698 μm to 9.647 μm . It was reported that penetration efficiency was 40-60% for particles 0.01-0.4. (Guo et al. 2007)

In the current study, the mean I/O ratio considered for various conditions differs from the results obtained in other studies. The supply air in the A/C system in Guo's observation had mixture of outdoor and return air while A/C system at the University had only outdoor air as supply air (Guo et al. 2007). This was one of the reasons to have such difference in the results. Furthermore, the number of people inside was unfortunately not mentioned in previous studies. By comparing these two cases it has been assumed that the difference in values was achieved by different classes of filter, presence of indoor sources, air tightness of the building, the different levels of outdoor PN concentrations, various types of A/C system and the combination of the above factors.

REFERENCES

Guo H., Morawska L., He C., Gilbert D., 2007, Impact of ventilation scenario on air exchange rates and on indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom. *Atmospheric Environment*, volume 24, 757-768.

SÄHKÖNJAKELUVERKON LUOTETTAVUUTTA ANALYSOIVA OHJELMISTO

Juha Korpijärvi

Sähkönjakeluverkon luotettavuusinvestoinnit ovat sään ääri-ilmiöiden lisääntyessä muuttuneet entistä ajankohtaisemmiksi. Tässä artikkelissa tarkastellaan sähkönjakeluverkon luotettavuuden analysointiin Mamkissa kehitetyn ohjelmiston (SLIMO Powergrid analyzer) kehitystä, rakennetta ja tulevaisuuden kehitysratkaisuja.

Johdanto

Sähköverkkoon on sitoutunut kansantaloudellisestikin merkittävä pääoma. Lisäksi sähkönjakelun keskeytyksistä koituu vuositasolla summa, jonka arviointi on vaikeaa. Summa lienee kuitenkin arviolta 100 - 300 miljoonaa euroa vuodessa. Sähkönjakelun keskeytyksistä maksettiin asiakkaille vuonna 2010 yli 45 miljoonaa euroa ns. vakiokorvausmenettelyn mukaan. Sähkönjakelun luotettavuuteen panostaminen antaakin merkittävän tuoton siihen sijoitetulle pääomalle.

Uusi sähkömarkkinalaki asettaa tavoitteeksi koko maan kattavan säävarman sähköverkon rakentamisen vuoteen 2028 mennessä. Säävarma johtoverkko saavutetaan riittävällä maakaapeloinnilla, mutta myös muilla johtoverkkoon tehtävillä investoinneilla.

Säävarmaa johtoverkkoa rakennettaessa on tarkoituksenmukaista aloittaa maakaapelointi ja muut luotettavuusinvestoinnit kaikkein kriittisimmistä verkonosista. Tässä tarkastelussa tulee ottaa huomioon verkonosien kuormitusasteet, rappeutumisen puolesta epäluotettavat johto-osuudet ja verkon suojausalueet. Näiden asioiden sekä jakelun keskeytyksestä aiheutuvan haitan, ns. KAH-arvon laskemiseksi on luotu Mikkelin ammattikorkeakoulussa ohjelmisto, SLIMO Powergrid Analyzer.

Verkon luotettavuuskustannusten ratkaiseminen

Verkon luotettavuuteen vaikuttavat yksittäisten johto-osien luotettavuus, joka riippuu johto-osuuden sijainnista ja teknisestä kunnosta eli ns. rappeutumisesta. Toisaalta on ratkaisevaa myös se, kuinka merkittävä kyseinen johto-osuus on sähkön jakelun kannalta. Tähän vaikuttaa se, kuinka suuri on johto-osuuden kuorma sekä se, kuinka laajan vian kyseisen johto-osuuden vikaantuminen verkossa aiheuttaa. Ongelman ratkaisemiseksi tulee simuloida yksittäisen johto-osuuden aiheuttaman vian vikaantumisalueen suuruus eli ottaa huomioon ns. verkon suojausalue. Tähän vaikuttavat verkon topologia sekä erottimien ja kaukokäytettävien erottimien sijoittelu verkossa.

Yksittäisen verkonosan luotettavuutta määriteltessä huomioidaan johtimen sijainti verkossa; sijaitseeko johdin tien vieressä, pellolla vai metsässä vai onko kyse maakaapelista. Lisäksi huomioidaan johtimen luotettavuus riippuen sen iästä, eli otetaan käyttöön komponentin ns. rappeutumismalli. Kaikkien näiden tekijöiden perusteella lasketaan yksittäisen verkonosan vikaantumistodennäköisyys. Vikaantumistodennäköisyyttä on käytettyssä laskentamallissa mallinnettu ns. Weibull-jakaumaan perustuvien arvojen perusteella.

Lisäksi tulee huomioida vian aiheuttama rahallinen arvo eli KAH-arvo. Keskeytyskustannusten aiheuttaman haitan arvo vuoden 2013 rahanarvossa on esitetty taulukossa 1.

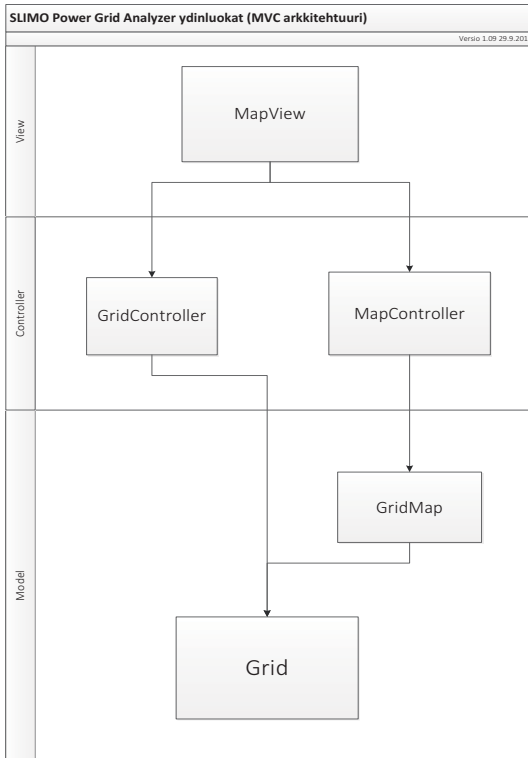
TAULUKKO 1. Keskeytyskustannusten aiheuttaman haitan laskennassa käytettävät hinnat vuoden 2013 rahanarvossa

Odottamaton keskeytys $h_{E, odott}$ $h_{W, odott}$ €/kWh €/KW	Suunniteltu keskeytys $h_{E, suun}$ $h_{W, suun}$ €/kWh €/KW	Aikajälleenykykentä $h_{A,JK}$ €/KW	Pikajälleenykykentä h_{PIK} €/KW
13,0 1,3	8,1 0,6	1,3	0,65

Ohjelmiston rakenne ja toiminta

Ohjelmisto on toteutettu Java-kielellä (Java Development Kit 1.6.025). Kehitystyökalu on Netbeans 7.2. Ohjelmiston koko nykyisellään on noin 18000 koodiriviä.

Ohjelmiston arkkitehtuuri noudattaa MVC (Model-View-Controller) -periaatetta. Tärkein moduuli on Grid-luokka, joka mallintaa sähköverkkoa ja liittää oleellimmat komponentit (sähkölinjat, muuntajat, erottimet sekä johtolähdöt) topologisesti oikealla tavalla yhteen. Ohjelmiston ydinluokat on kuvattu kuvassa 1.



KUVA 1. SLIMO Powergrid Analyzer - ohjelmiston ydinluokat

Komponenttien vikaantumistaajuus on mallinnettu todennäköisyyslaskennan keinoin. Kun verkon topologia tunnetaan, lasketaan, kuinka laaja-alaisen/pitkäkestoisen sähkökatkon kunkin yksittäisen komponentin vikaantuminen aiheuttaa

Ohjelmiston tuottamat tulokset

Ohjelmisto tuottaa analysoitavan johtolähdön ja tarkastelun alaiseksi otetun verkkoalueen todennäköisen KAH-arvon vuodessa (Keskeytyksestä aiheutuva haitta). Lisäksi ohjelmisto laskee kaikkien johto-osuuksien kriittisyyden luotettavuuden kannalta. Tämä antaa mahdollisuuden tutkia johto-osuuksien merkitystä, ja kun tätä merkitystä verrataan johto-investointiin (verkonosan uusimiskustannukset, kaapelointikustannukset) saadaan selville johto-osuudet, joihin investoimalla saavutetaan kaikkein korkein tuotto verkon luotettavuusnäkökulmasta katsottuna.

Lisäksi voidaan arvioida uusien erottimien, kaukokäytettävien erottimien ja varasyöttöyhteyksien rakentamisen vaikutus verkon luotettavuuskustannuksiin. Erityistä mielenkiintoa on verkkoyhtiöillä ratkaista kaapeloitavien johto-osuuksien ja kaukokäytettävien erotinasemien sijoittelu johtoverkossa.

Tulevaisuuden kehityskohteet

Verkon luotettavuusinvestointeja ratkaistaessa merkitystä ei ole ainoastaan verkon rakenteella ja yksittäisten verkon-osien luotettavuudella sekä kuormituksella. Myös sillä on merkitystä, miten verkko on sijoitettu vallitsevien tuuli- ja myrskyolosuhteiden kannalta. Tätä sekä usean yhtäaikaisen vian simulointia on tarkoitettu tutkia tulevaisuudessa.

Yhteenveto

SLIMO eli Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan mallintaminen ja optimointi-hankkeessa kehitettiin ohjelmisto, joka arvioi sähköverkon eri osien luotettavuutta, vikaantumisen kustannuksia ja investointien kannattavuutta. Ohjelmiston avulla verkon eri osien korjauksia ja uusia investointeja on mahdollista suunnitella tehokkaammin ja kohdistaa ne aiempaa paremmin. Ohjelma myös laskee uusien investointien kannattavuuden ja keskeytyksistä aiheutuviin kustannusten suuruuden vuositasolla.

Ohjelmistossa huomioidaan sähkömarkkinoiden toimintaa säätelevän ns. regulaatiomallin antamat lähtökohdat investointien kannattavuudelle.

Luotu verkkomalli on käytännöllinen työkalu verkon suunnittelijalle. Ohjelmiston laatimisessa on pyritty huomioimaan järjestelmän helppo käyttö, ja esimerkiksi mallin vaatima lähtödata pystytään siirtämään ohjelmistoon suoraan eräajona siirtoyhtiön verkkotietojärjestelmästä.

Hankkeen tulosten innoittamana on perustettu yritys, joka ryhtyy tuotteistamaan hankkeen tuloksia. Hankkeen aikana on listattu myös joukko jatkokehityskohteita, joihin liittyen on laadittu tutkimussuunnitelma tutkimusrahoituksen hakemiseksi.

LÄHTEET

Sähkönjakelun toimitusvarmuuden parantamiseen sekä sähkökatkojen vaikutusten lieventämiseen tähtäävien toimenpiteiden vaikutusten arviointi. 2012. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti.

Korpijärvi, Vuorio, Lepistö 2014. Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan mallintaminen ja optimointi. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Loppuraportti.

Korpijärvi Juha 2012. Aging based maintenance and reinvestment scheduling of electric distribution network. Lappeenranta University of Technology. Acta Universitatis Lappeenrantaensis 481. Dissertation.

BIOTUOTEPAINOTTEISEN PROSESSITEKNIIKAN INSINÖÖRI- KOULUTUS ALKOI MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULUSSA

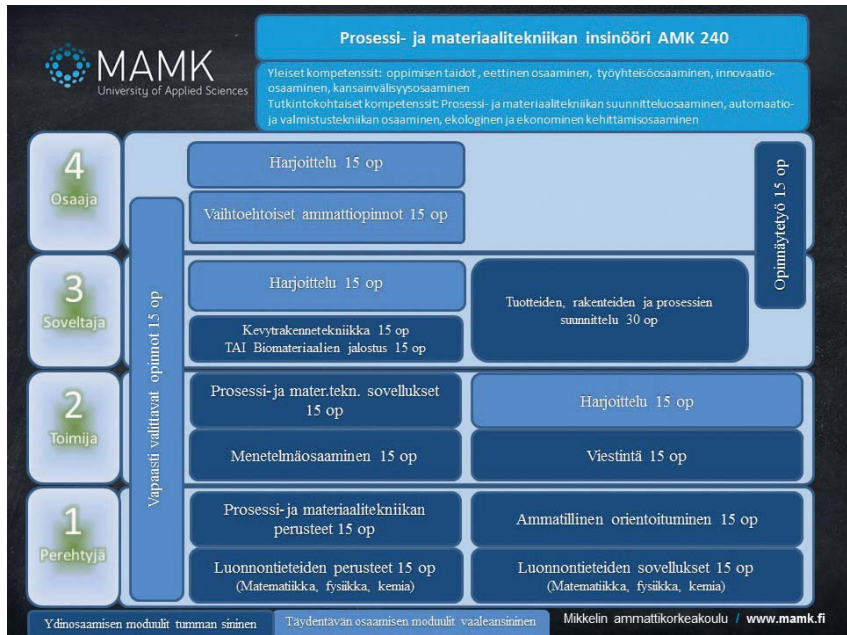
Jarkko Männynsalo & Tapio Tirri

Ensimmäinen ryhmä uudessa prosessi- ja materiaalitekniikan koulutuksessa aloitti opiskelunsa syksyllä 2014 Mikkelin ammattikorkeakoulussa (Mamk). Materiaalitekniikan koulutusta Mikkelissä on järjestetty jo vuodesta 2007 lähtien. Koulutusohjelmat poistuivat ammattikorkeakouluista ja tilalle tulivat koulutusvastuut. Valtakunnallisen prosessi- ja materiaalitekniikan koulutusvastuun alta löytyy hyvin erilaisia opintoja. Osa koulutuksista painottuu kemialliseen prosessitekniikkaan, osa bio- ja elintarviketekniikkaan, osa eri painotuksilla materiaalitekniikkaan.

Mamkista prosessi- ja materiaalitekniikan insinööriopinnot

Mamkin prosessi- ja materiaalitekniikan koulutuksesta valmistuu sekä prosessi-insinöörejä että materiaalitekniikan insinöörejä. Kaksi ensimmäistä vuotta opiskellaan valtaosin yhdessä, Mikkelin Kasarmin kampuksella. Kolmannen ja neljännen vuoden prosessitekniikan opiskelijat opiskelevat Savonlinnassa, Kuitulaboratoriossa ja Savonniemen kampuksella. Materiaalitekniikan opiskelijat jatkavat tutkintonsa loppuun Mikkelissä. Yhteisiä opintoja prosessitekniikan ja materiaalitekniikan opiskelijoilla on kahden ensimmäisen vuoden aikana 75 opintopistettä ja vapaasti valittavilla opinnoilla yhteisten osuus on tätäkin suurempi.

Materiaalitekniikassa on konetekniikkapainotus, kun taas prosessitekniikassa opiskellaan enemmän kemiaa. Kemian pohja täytyykin prosessitekniikassa olla vahva, koska lähes kaikissa teollisissa prosesseissa kemialliset tai biokemialliset ilmiöt vaativat kemian osaamista prosessien suunnittelussa, käytössä ja kunnossapidossa. Mamkin ympäristötekniikan koulutus antaa hyvin synergiaetua kemian- ja biokemian opinnoissa, ympäristöasioita unohtamatta. Alueella on myös vahvaa osaamista esimerkiksi metsäteollisuuden jätevesien puhdistuksessa ja alan yritykset ovat työllistäneet myös prosessi-insinöörejä. Kuvassa 1 on esitetty opintojen eteneminen.



KUVA 1. Prosessi- ja materiaaliteknikan opintokokonaisuudet

Kuitulaboratorion oppimisympäristö

Savonlinnassa on vahvaa metsäteollisuuteen liittyvää yritystoimintaa, jota myös Mamk Oy:n omistama Kuitulaboratoriokin palvelee (kuva 2). Prosessiteknikan koulutus painottuuikin biotuotetekniikkaan, eli perinteiseen sellu- ja paperiteollisuuteen uusia tuotteita ja tuotantoketjuja unohtamatta. Prosessiteknikkaa koulutuksessa, kuten tutkimustoiminnassakin, käsitellään laajasti, jolloin valmistuva insinööri voi työllistyä metsäteollisuuden lisäksi erilaisiin kemian prosessiteollisuuden tuotantolaitoksiin sekä niitä palveleviin yrityksiin, kuten laitevalmistajien palvelukseen. Kuitulaboratorion laaja-alaisesta tutkimuksesta kertoo mm. julkisuutta saanut hiilidioksidin talteenotto absorptio–desorptio-menetelmällä. Juuri valmistunut laajennus antaa mahdollisuuksia lisätä tutkimuslaitteistoja sekä rakentaa prosessiteknikan oppimisympäristöä. Kuitulaboratorion tulevissa biotuoteteknologian hankkeissa prosessiteknikan opiskelijoilla on mahdollista tehdä projekti- ja lopputöitä tutkimukseen liittyen.

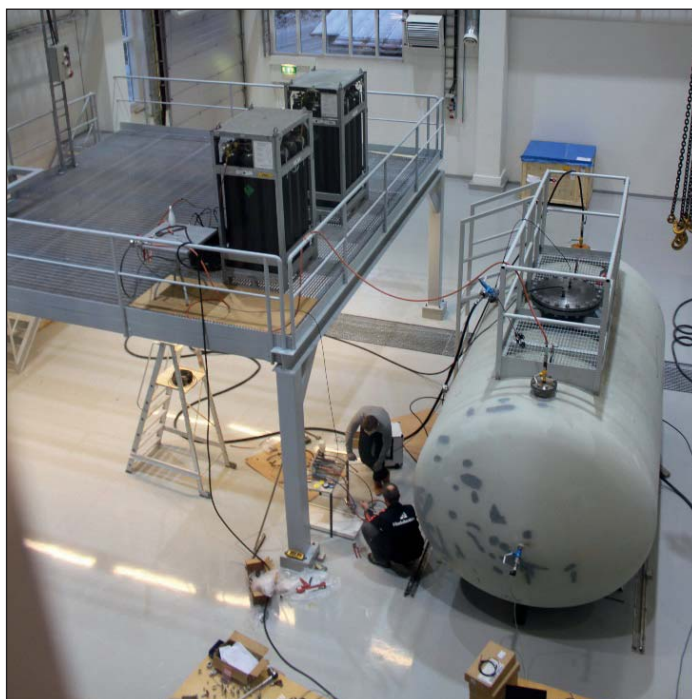


KUVA 2. Kuitulaboratorion laajennus on valmis. Laajennuksessa saatiin lisää pilot-hallitilaa, uusia toimistohuoneita sekä uusi vesi- ja lietelaboratorio (kuva Tiina Saario)

TKI-vuorovaikutteista opetusta

Prosessitekniikan opiskeluun Savonlinnassa liittyvät läheisesti projektit ja harjoitustyöt yritysten kanssa (kuva 3). Ohjattua harjoittelua tutkintoon onkin lisätty, jotta harppaus työelämään valmistumisen jälkeen olisi helpompaa, ja työnantajat saisivat heti tarpeisiinsa koulittuja työntekijöitä. Andritz Oy:n aluejohtaja Harri Qvintus sanoo, että Suomessa tarvitaan yleisemminkin enemmän juuri prosessitekniikan ammattilaisia. Sitä paitsi yritysten näkökulmasta olisi aina vain parempi, jos henkilöllä olisi osaamista sekä kone- että prosessitekniikan aloilta. ”Usein kumpaakin osaamista tarvitaan, kun teemme töitä asiakkaiden kanssa kentällä”, Qvintus sanoo. Andritz Oy:ssä on ennenkin poimittu taloon tulleista harjoittelijoista väkeä pysyviin työpaikkoihin (Itä-Savo 15.11.2014).

Yritysten toiminta on hyvin kansainvälistä, joten myös opiskeluaikaisiin opiskelijavaihtoihin ja kansainvälistymiseen kannustetaan ja tuetaan. Vaikka valmistuvalla insinöörillä työpaikka olisikin Suomessa, arvostetaan yrityksissä valmiutta lähteä projekteihin ulkomaille joskus kauaksikin, esimerkiksi Etelä-Amerikkaan tai Kiinaan. Prosessi- ja materiaalitekniikan henkilöstön ja paikallisten yhteistyökumppaneiden aiemmat kontaktit antavat hyvän pohjan kansainvälisen yhteistyön käynnistämiseksi.



KUVA 3. Kuitulaboratorion laajennus otettiin heti käyttöön. Uudet tilat mahdollistavat suurien laitteiden käytön tutkimuksissa (kuva Tiina Saario)

Tarjolla myös monimuotokoulutusta

Prosessitekniiikan koulutus alkaa myös työn ohessa tapahtuvana monimuotototeutuksena Savonlinnassa vuoden 2015 alusta. Koulutuksessa on tarjolla pelkästään prosessitekniiikan suuntautuminen ja koulutus on suunnattu toisen teknisen alan ammattilaisten muunto/täydennyskoulutukseksi. Kaksivuotinen koulutus antaa prosessitekniiikan insinööri (amk) tutkinnon.

TÄYTEAINEEN DISPERGOINTI – VAIKUTUKSET PAPERIIN JA SEN VALMISTUKSEEN

Kallio Emmi & Paananen Petteri

Kustannustehokas paperinvalmistus vaatii paperikemikaalien tehokasta käyttöä ja energiakustannusten minimoimista. Uusilla kemikaalien annostelumenetelmillä voidaan paperikemikaalit sekoittaa tehokkaasti prosessiin ja parantaa kemikaalien tehoa ja aineiden retentoitumista. Täyteainelietteisä useimmin käytetyt dispergointiaineet ovat voimakkaasti varauksellisia polymeerejä, jolloin niiden mukana olo vaikuttaa täyteaineen toimintaan paperinvalmistuksessa. Dispergointiaineiden avulla voidaan täyteainelietteen kuiva-ainepitoisuutta nostaa ilman, että menetetään lietteen virtausominaisuuksia. Tämä mahdollistaa korkeamman kuiva-ainepitoisuuden täyteaineen kuljetuksessa paperitehtaalle, jolloin saadaan aikaan merkittäviä kustannussäästöjä kuljetuskustannuksissa. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin täyteaineessa käytettävän anionisen dispergointiaineen heikentävän täyteaineen retentiota. Sen sijaan annostelemalla täyteaine yhtä aikaa retentioaineen kanssa, täyteaineen retentiota saatiin parannettua verrattuna perinteiseen annostelumenetelmään, etenkin dispergoituilla täyteaineilla. Paperin ominaisuuksissa tapahtuneet muutokset johtuivat täyteaineflokkien koon muutoksista.

Johdanto

Nykypäivän paperin valmistuksessa muutoksiin ajavina voimina toimivat paperin laatu ja kustannustehokkuus. Korvaamalla kuituraaka-ainetta halvemmalla täyteaineella, voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Paperin täyteainepitoisuuden nousua rajoittaa kuitenkin paperin ominaisuuksien, etenkin lujuusominaisuuksien, muuttuminen.

Täyteaineen valmistus mineraaleista ja täyteainelietteen kuljetus sekä varastointi vaativat usein dispergointiaineen käyttöä. Dispergointiaineen avulla täyteainepartikkelit pysyvät erillään ja liete saadaan stabiloitua. Lisäksi dispergointiaineen avulla voidaan nostaa täyteainelietteen kuiva-ainepitoisuutta ilman, että menetetään lietteen virtausominaisuuksia. Kuiva-ainepitoisuutta nostamalla voidaan aikaan saada merkittäviä säästöjä kuljetuskustannuksissa. (Gill 1995; Donkang ym. 2008.) Esimerkiksi 35 %:n täyteainepitoisuutta ajavalla SC-paperikoneella 25 %:n kuiva-aineessa olevaa täyteainetta tarvittaisiin noin 78 t/h, kun sen sijaan 70 %:n kuiva-aineessa olevaa täyteainetta

käyttävällä tarve olisi vain noin 28 t/h. Vuosittainen säästö olisi siten jopa noin 7 400 säiliöauton verran.

Yleisimmät käytössä olevat dispergointiaineet ovat anionisia polyelektrolyyttejä (Gliese 2006; Huuskonen & Eiroma 1983). Käytettäessä anionista dispergointiainetta annostelussa tulisi ottaa huomioon prosessin varaustila sekä muut prosessissa käytettävät varaukselliset komponentit. Anionisen dispergointiaineen määrä tulisikin pitää mahdollisimman alhaisena, sillä ne voivat olla vuorovaikutuksissa kationisten lisäaineiden kanssa alentaen niiden tehoa, lisäten kemikaalikulutusta ja aiheuttaen mahdollisesti saostumia. Esim. retentioaineen kulutuksen on havaittu lisääntyneen käytettäessä anionista dispergointiainetta. (Krogerus 1999; Arvela 1983; Ahlgren 2000; Gill 1995; McLain & Ingle 2009.)

Perinteisesti kemikaalit on syötetty prosessiin jo hyvin aikaisessa vaiheessa, kaukana perälaatikosta. Tämä voi johtaa niiden päätyminen rejektiin, tehokkuuden heikkenemiseen sekä ominaisuuksien muutoksiin. Tämän vuoksi täyteaine sekä retentioaine tulisi annostella mahdollisimman lähellä perälaatikkoa. Tämä vaatii kuitenkin kemikaalien tehokasta sekoittumista massavirtaan. (McLain & Ingle 2009.) Uusien annostelumenetelmien, kuten esimerkiksi Trumpjet, avulla voidaan kemikaalit sekoittaa prosessiin tehokkaasti ja näin saada kemikaalien tehoa parannettua (Matula ym. 2006). Menetelmä antaa mahdollisuuden syöttää kemikaalit prosessiin jopa yhtäaikaaisesti.

Kemikaalien annostelukohtia ja -järjestystä on tutkittu jo aiemmissa tutkimuksissa (Ryösö 2001; Hubbe & Wang 2002; Paananen & Käyhkö 2010). Viive täyteaineen ja retentioaineen annostelun välillä tulisi olla mahdollisimman lyhyt (Ryösö 2001). Annostelemalla täyteaine ja retentioaine yhtä aikaa saavutetaan paras retentio, mutta tämä aiheuttaa yliflokkaantumista ja näin ollen heikentää paperin ominaisuuksia (Paananen & Käyhkö 2010).

Työssä tutkittiin täyteaineen anionisuuden vaikutusta eri annostelumenetelmissä. Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka dispergointiaineen lisäämä anionisuus vaikuttaa täyteaineen retentioon ja agglomeroitumiseen, etenkin kun täyteaine ja retentioaine annostellaan yhtä aikaa. Pohjustavia kokeita leikkausvoimien vaikutuksesta täyteaineen käyttäytymiseen tehtiin myös.

Materiaalit ja menetelmät

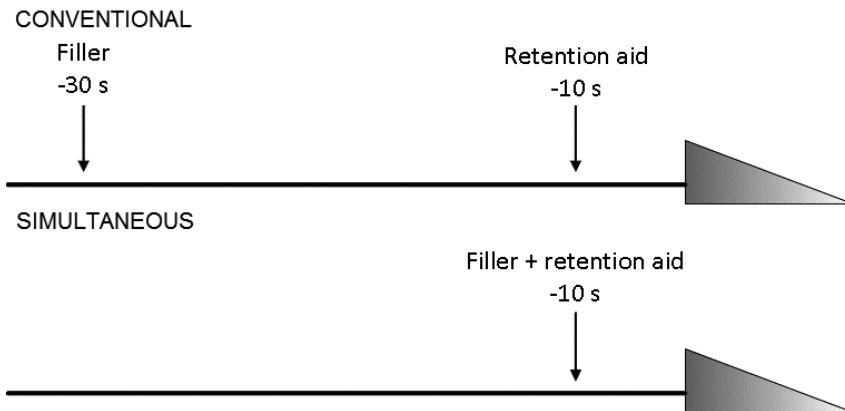
Kokeissa käytettiin hienopaperimassaa, joka sisälsi koivu-/mäntymassaa suhteessa 80/20. Täyteaineena oli jauhettu kalsiumkarbonaatti (GCC). Täyteainenäytteet olivat partikkelikooltaan hyvin samanlaisia (< 2 µm 63 - 66 %), mutta ne sisälsivät eri määriä dispergointiainetta, natriumpolyakrylaattia. Retentioaineena käytettiin kaupallista kationista polyakryyliamidia. Aineiden varaustiloja mitattiin Mutek PCD-03 -mittarilla käyttäen Poly-DADMACia

titranttina. Täyteaineiden vesifaasi erotettiin varaustilamittauksiin sentrifugomalla.

Arkkitestit

Laboratorioarkit valmistettiin standardin SCAN-C 26:76 mukaan seuraavin poikkeuksin: kemikaalit annosteltiin 0,26 % massaseoksen joukkoon sekoitusastiasa, jota sekoitettiin magneettisekoittimella, arkkimuotin kammion vesimäärää pienennettiin kolmannekseen ja muotin kammiossa ei käytetty sekoitusta. Kokeissa käytettiin vakiomäärät massaa, täyteainetta (28 %) sekä retentioainetta (210 mg/kg), paitsi arkeissa, joista mitattiin myös paperin ominaisuuksia. Nämä arkit valmistettiin vakiotäyteainepitoisuuteen (22 %) ja vakioneliömassaan (80 g/m²).

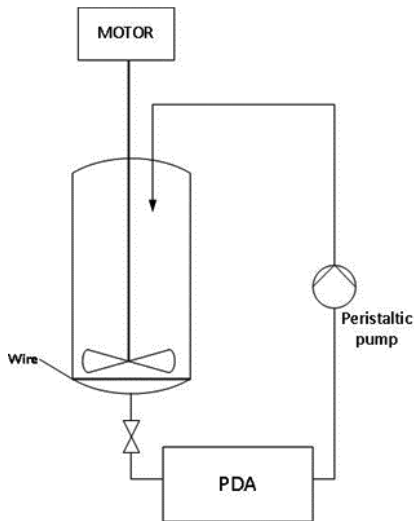
Kuvassa 1 on esitetty arkkikokeissa käytetyt annostelumenetelmät, perinteinen ja yhtäaikainen, sekä kemikaaliannostelujen viiveet. Paperin ominaisuudet mitattiin standardien ISO 5270, SCAN-P 3:93, SCAN-P 8:93 ja SCAN-P 38:80 mukaan. Paperin rakenteen ja agglomeraattien havainnointiin käytettiin pyyhkäisyelektronimikroskooppia (Hitachi S-4800 Ultra-High Resolution).



KUVA 1. Arkkikokeissa käytetyt annostelumenetelmät ja kemikaalien syöttöviiveet (kuva Emmi Kallio)

Retentio- ja leikkausvoimakokeet

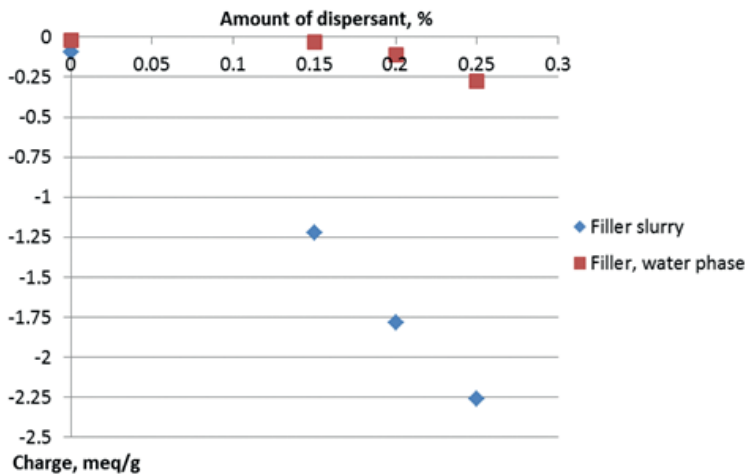
Täyteaineen retentoitumista ja flokkien leikkausvoimakestävyyttä tutkittiin RPA-laitteen avulla (kuva 2). 500 ml samanlaista kuituseosta kuin arkkikokeissa kaadettiin sekoitussäiliöön ja sekoittimen nopeus säädettiin 500 rpm. Täyteaine lisättiin 30 sekuntia ennen tiedonkeruun aloitusta. Tämän jälkeen eri määriä retentioainetta annosteltiin sekoitusastiaan ja tiedonkeruu sekä ajanotto käynnistettiin.



KUVA 2. RPA- laitteisto (kuva Emmi Kallio)

Tulokset

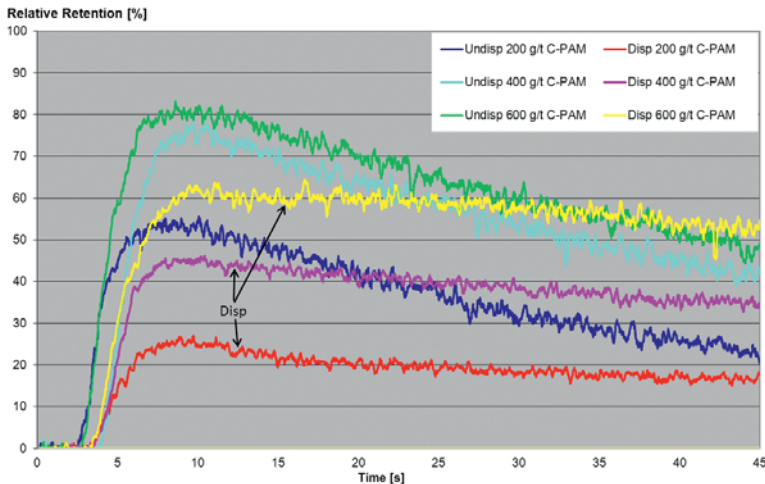
Ensimmäisten kokeiden tarkoituksena oli havainnollistaa anionisen dispergointiaineen vaikutusta täyteainelietteeseen sekä massaseoksen kolloidiseen tilaan. Täyteaineen anioninen varaus kasvoi, mitä enemmän anionista dispergointiainetta lisättiin (kuva 3). Myös täyteainelietteen vesifaasin anionisuus kasvoi, kun dispergointiaineen määrä kasvoi. Näin ollen, ylimäärä dispergointiainetta jää vesifaasiin, eikä adsorboitu täyteaineeseen. Täyteaineen anionisuuden kasvaessa myös massaseoksen kokonaisvaraus kasvoi.



KUVA 3. Täyteainelietteen sekä siitä erotetun vesifaasin varaus (kuva Emmi Kallio)

RPA- kokeet

Rpa- kokeiden avulla selvennettiin dispergoidun ja ei-dispergoidun täyteaineen retentiokäyttäytymisten eroja. Näissä kokeissa dispergoitu täyteaine sisälsi 0,2 % dispergointiainetta. Kuvasta 4 nähdään, että täyteaineen retentio heikkeni merkittävästi, kun täyteaine sisälsi dispergointiainetta. Esimerkiksi retentioaineannostuksella 400 g/t dispergoidun täyteaineen retentio oli n. 45 %, kun vastaavasti ei-dispergoidulla täyteaineella retentio oli n. 78 %.



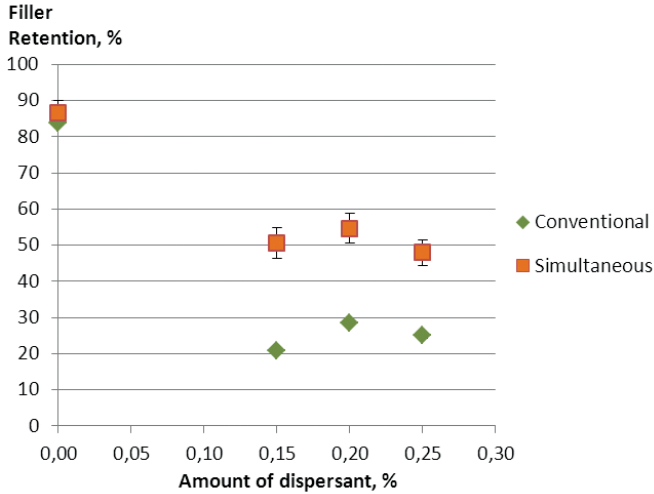
KUVA 4. Dispergointiaineen vaikutus GCC:n retentioon. Ajanotto käynnistetty retentioaineen annosteluhetkellä (kuva Emmi Kallio)

Rpa- kokeiden toisena tavoitteena retentiotutkimuksen lisäksi oli tutkia, kuinka kestäviä muodostuneet flokit ovat leikkausvoimia vastaan. Vaikutus voidaan nähdä suhteellisen retentio alenemisnopeudesta. Kuvasta 4 voidaan havaita, että muodostuneiden täyteaine-kuitu-flokkien vahvuus on erilainen riippuen siitä, käytetäänkö dispergointiainetta vai ei. Sekoituksesta johtuva retentio lasku on melko hidas, kun täyteaine sisältää dispergointiainetta. Eli muodostuneet flokit ovat hyvin vahvoja leikkausvoimia vastaan ja kationinen retentioaine muodostaa vahvoja flokkeja voimakkaasti negatiivisesti varautuneen täyteaineen kanssa.

Täyteaineen retentio arkkikokeissa

GCC:n retentiokäyttäytymistä tutkittiin myös arkkimuotilla tehdyissä kokeissa, joissa vertailtavana oli lisäksi kaksi annostelumenetelmää. Täyteaineiden retentiot ja niiden väliset eroavaisuudet olivat samankaltaisia kuin RPA-kokeissa. Dispergointiaineen määrän kasvaessa täyteaineen retentio heikkeni (kuva 5). Tämä johtuu anionisuuden lisääntymisestä, jolloin annosteltavan

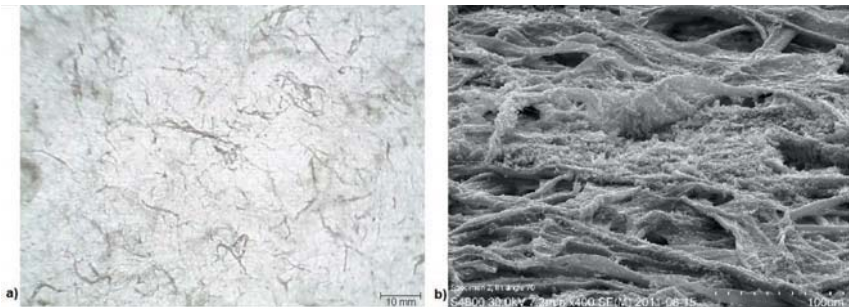
retentioaineen vakiomäärä ei ole riittävä flokkaamaan täyteainetta. Kuvasta 5 havaitaan myös, että ei-dispergoidulla täyteaineella annostelumenetelmällä ei ole juuri vaikutusta retentioon. Kun täyteaine sisälsi dispergointiainetta, yhtäaikainen annostelu tuotti paremman retention perinteiseen annosteluun verrattuna. Silti aina dispergoidun täyteaineen retentio oli heikompi kuin ei-dispergoidun.



KUVA 5. Dispergointiaineen määrän ja annostelumenetelmän vaikutus täyteaineen retentioon (kuva Emmi Kallio)

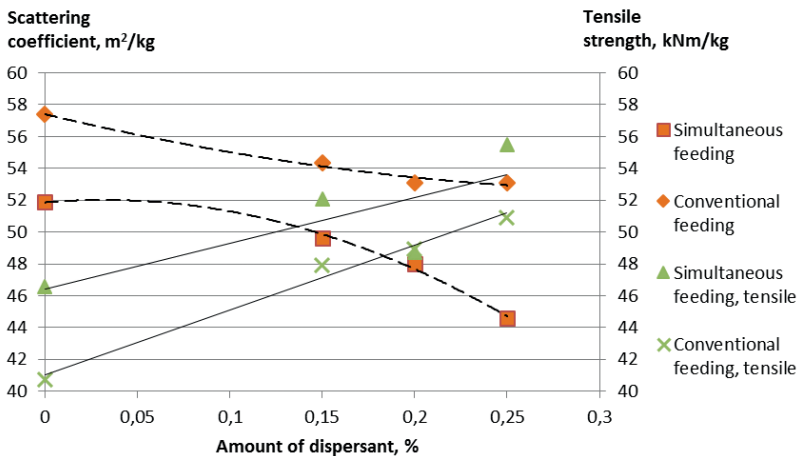
Dispergointiaineen vaikutus paperin ominaisuuksiin

Dispergointiaineen vaikutuksia paperin ominaisuuksiin voitiin tarkastella, kun arkit valmistettiin vakiotäyteainepitoisuuteen. Jo aikaisemmissa arkkikoikeissa oli tehty silmämääräisiä havaintoja, että dispergoitu täyteaine muodosti suuria kuidunkaltaisia partikkeleita (kuva 6a). Täyteaineen oletettiin peittävän osan kuiduista, mutta SEM- kuvien perusteella todettiin, että näin ei tapahtunut. Sen sijaan SEM-kuvista voitiin, päätellä, että täyteainepartikkelit muodostivat suuria, löyhiä agglomeraatteja (kuva 6b).



KUVA 6. GCC-kuitu-flokittu kuvattuna valopöydällä (vas.) ja agglomeroitunutta täyteainetta SEM-kuvassa (oik.) (kuva a) Emmi Kallio, b) Mikpolis Oy)

Dispergointiaineen määrän kasvaessa paperin lujuusominaisuudet parani-
vat (kuva 7). Tämä on seurausta täyteainepartikkelien agglomeroitumisen
lisääntymisestä. Lujuusominaisuudet paranivat siirryttäessä perinteisestä
annostelusta yhtäaikaiseen, mutta niiden väliset erot pienenivät, kun disper-
gointiaineen määrä täyteaineessa kasvoi. Suurien flokkien ja agglomeroitu-
misen vuoksi paperin valonsironna heikkeni, mitä enemmän täyteaine sisälsi
dispergointiainetta (kuva 7). Yhtäaikaisella annostelulla valonsironnan pie-
neneminen oli voimakkaampaa kuin perinteisellä annostelulla. Perinteisellä
annostelulla optisten ominaisuuksien huonontuminen näytti vähentyvän dis-
pergointiaineen määrän kasvaessa, kun taas vastaavasti yhtäaikaisella annoste-
lulla huonontuminen oli sitä voimakkaampaa, mitä enemmän täyteaine sisälsi
dispergointiainetta.



KUVA 7. Arkkien valonsironna ja vetolujuus, vakio neliömassa (80 g/m²) ja vakio tuhkapitoi-
suus (22 %) (kuva Emmi Kallio)

Johtopäätökset

Dispergointiaineen käyttö kuljetettaessa täyteainetta pitkiä matkoja on yleis-
tä, jotta liete saadaan stabiloitua ja kuiva-ainepitoisuutta nostettua. Natrium-
polyakrylaatin käyttö jauhetun kalsiumkarbonaatin dispergoinnissa kasvattaa
täyteainelietteen negatiivista varausta. Tämä johtaa retentioaineen suurem-
paan kulutukseen. Täyteaineen ja retentioaineen annostelu yhtä aikaa paransi
retentiotta verrattuna perinteiseen annosteluun, etenkin, kun täyteaine sisäl-
si dispergointiainetta. Silti dispergoidun täyteaineen retentio oli huonompi
kuin ei-dispergoidulla täyteaineella.

Täyteaineliitteessä oleva dispergointiaineen ylimäärä aiheutti suurien ja voimakkaiden flokkien muodostumista, joka johti paperin lujuusominaisuuksien paranemiseen. Näin ollen, paperin täyteainepitoisuuden nostaminen voisi olla mahdollista, jos käytetään dispergoitua täyteainetta. Jatkotutkimuksia ja tarkastelua vaativat kuitenkin suurien flokkien aiheuttamat ongelmat, kuten optisten ominaisuuksien heikkeneminen. Käytettäessä voimakkaasti anionista täyteainetta tai massasuspension varaustilan ollessa voimakkaasti anioninen yhtäaikaisen annostelun käyttöä paperikoneella kannattaisi harkita.

Yhteistyössä

Kiitokset tutkimuksen mahdollistaneille osapuolille: Euroopan Unioni, TEKES, Imerys Minerals Ltd, Kemira Oyj, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja Wetend Technologies Ltd.

LÄHTEET

Ahlgren, J 2000. Coating dispersant. Teoksessa Lehtinen, E (toim.) Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Papermaking Science and Technology, Book 11. Jyväskylä: Fapet Oy, 304 - 315.

Arvela, P 1983. Paperin sorptio-ominaisuudet. Teoksessa Arjas A (toim.) Paperin valmistus, Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja III, osa 1, Toinen painos. Turku: Suomen Paperi-insinöörien Yhdistys r.y, 253 - 270.

Dongkang, F, Shaozu, W, Xiaojia, H, Jinren, N 2008. Preparation and property analysis of polyacrylate dispersant for calcium carbonate. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 326, 122 - 128.

Gill, R.A 1995. Fillers for papermaking. Teoksessa Au, C.O, Thorn, I (toim.) Applications of Wet-End Paper Chemistry, 1.painos. Glasgow: Chapman & Hall, 54 - 75.

Gliese, T 2006. Dispergants for fillers and coating pigments. Wochenblatt für Papierfabrikation 134, 22:1314 - 1319.

Hubbe, M.A, Wang, F 2002. Where to add retention aid: issues of time and shear. Tappi Journal 1(1), 28 - 33.

Huuskonen J, Eiroma E 1983. Paperin täyttö. Teoksessa Arjas A (toim.) Paperin valmistus, Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja III, osa 1, Toinen painos. Turku: Suomen Paperi-insinöörien Yhdistys r.y, 271 - 288.

Krogerus, B 1999. Fillers and pigments. Teoksessa Neimo, L (toim.) Papermaking Chemistry, Papermaking Science and Technology, Book 4. Jyväskylä: Fapet Oy, 116 - 147.

Matula J, Käyhkö J, Ruuska T 2006. Immediate and efficient mixing of wet end additives close to PM headbox. Tappi Papermakers Conference, Atlanta.

McLain L, Ingle D 2009. Fillers. Teoksessa Thorn I, Au C.O (toim.) Applications of Wet-End Paper Chemistry, 2.painos. London: Springer, 113 - 136.

Paananen, P, Käyhkö, J 2010. Simultaneous feeding of filler and retention aid chemicals. PTS Applied Interface Chemistry Symposium, Munich.

Ryösö, K 2001. Adding retention aid before filler addition: retention, water removal and formation. Paper Technology 42(8), 52 - 55.

TÄRKKELYKSEN SYÖTTÖTUTKIMUS

Anssi Anttila & Petteri Paananen

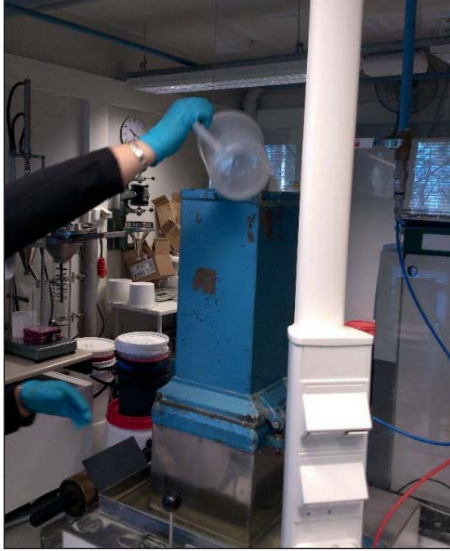
Savonlinnan Kuitulaboratorion WetChem-projektissa tutkittiin paperikoneen määrämpään kemiaa sekä eri kemikaalien vaikutuksista paperin ominaisuuksiin. Projektin yhtenä tavoitteena oli kehittää paperikoneen määrämpään prosessia siten, että paperin täyteainepitoisuutta pystyttäisiin nostamaan ilman paperin lujuusominaisuuksien tai formaation heikkenemistä.

Projektin tavoitteiden sekä aikaisemmin projektissa tehdyn diplomityön pohjalta syntyi idea uudesta annostelumenetelmästä. Annostelumenetelmässä paperikoneen lyhyestä kierrosta otetaan pieni sivuvirta erilleen, johon syötetään paperin täyteaine sekä kuivalujaliima. Menetelmän tarkoituksena on tehostaa täyteaineen tarttumista paperiin sekä parantaa paperin lujuusominaisuuksia. Menetelmää tutkittiin diplomityössä ”Tärkkelyksen syötön optimointi”, jonka tulokset raportoidaan myöhemmin myös referee artikkelissa ”Adding cationic starch and ground calcium carbonate into a side stream of a short circulation process stream”.

Tärkkelyksen syötön optimointi

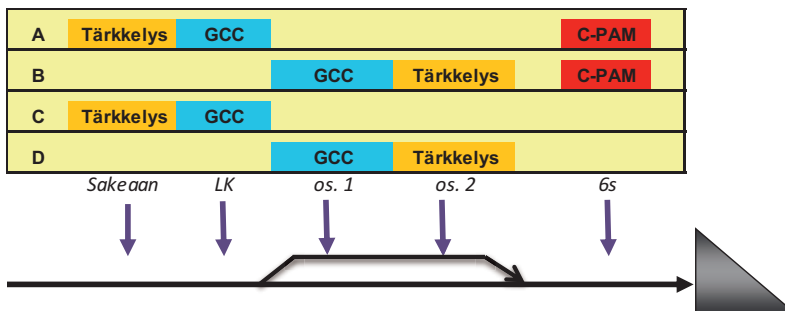
Hienopapereiden täyteainemäärät ovat kasvaneet vuosittain. Täyteaineet ovat kuituihin verrattuna edullisempia, ja niillä on mahdollista parantaa mm. paperin formaatiota, optisia ominaisuuksia sekä painokelpoisuutta. Täyteaineet eivät kuitenkaan ole mukautuvia ja ne häiritsevät kuitujen välisten sidosten kehittymistä. Tästä johtuen täyteainepitoisuuden kasvaessa paperin lujuusominaisuudet heikkenevät. Paperin lujuutta on mahdollista parantaa mm. kasvattamalla kuitujen pituutta, jauhatuksella sekä märkäpuristuksella. Kun paperin täyteainepitoisuutta pystytään kasvattamaan prosentilla, ovat mahdolliset säästöt yhdellä paperikoneella jopa miljoona euroa vuodessa. Uusilla annostelumenetelmillä on mahdollista tehostaa annosteltavan kemikaalin ominaisuuksia ja tehdä sekoitus suoraan putkistossa ilman erillisiä sekoitus-säiliöitä.

Diplomityön kirjallisuusosiossa perehdyttiin artikkeleihin ja kirjoihin tärkkelyksestä, täyteaineista, paperin lujuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Teoriaosan edistessä myös koeosiota voitiin suunnitella tarkemmin. Kuitulaboratoriossa tapahtuneen vesivahingon vuoksi kokeet jouduttiin siirtämään vanhemmalle arkkimuottilaitteistolle, jota samalla jouduttiin kehittämään (kuva 1).



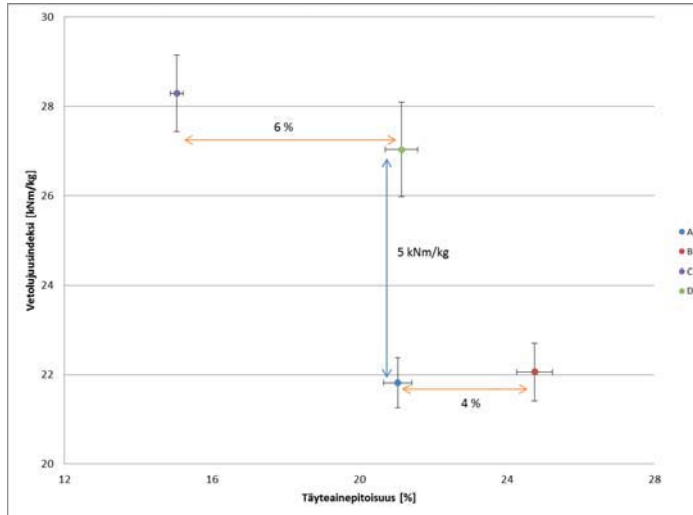
KUVA 1. Näytteen kaatamista arkkimuottiin (kuva Anssi Anttila)

Työn kokeellisessa osiossa tutkittiin niin sanottua osittaissyöttöä. Siinä lyhyen kierron päämassavirrasta otetaan erilleen pieni sivuvirta. Tähän sivuvirtaan syötettiin täyteaineena käytetty GCC eli jauhettu kalsiumkarbonaatti sekä kationinen tärkkelys. Ensimmäisessä koesarjassa käytettiin myös retentioaineena pitkäketjuista polymeeriä (C-PAM). Retentioaineen tarkoituksena on saada täyteaine jäämään paperiin paremmin ja suuremmissa määrin kiinni. Retentioaine saattaa kuitenkin johtaa heikentyvään formaatioon eli pilvisyyteen paperissa. Kuvassa 2 on esitettyä ensimmäisen koesarjan koesuunnitelma. Osittaissyöttöön menevän sivuvirran osuudeksi valittiin 20 % massavirrasta.



KUVA 2. Ensimmäisen osittaissyöttökokeen koesuunnitelma

Ensimmäisen koesarjan tulosten (kuvassa 3) perusteella retentioaine voitiin jättää myöhemmistä koesarjoista pois, sillä ilman retentioainetta osittaisyytössä päästiin yhtä korkeaan täyteainepitoisuuteen, mutta noin 5 kNm/kg korkeampaan vetolujuusindeksiin verrattuna perinteiseen annostelumene- telmään retentioaineen kanssa. Retentioaineen kanssa osittaisyytöllä saatiin täyteainepitoisuutta nostettua noin 6 % verrattuna perinteiseen annosteluun lähes samalla vetolujuusindeksin tasolla. Ilman retentioainetta täyteainepitoi- suutta pystyttiin kasvattamaan 4 % samalla vetolujuuden tasolla.

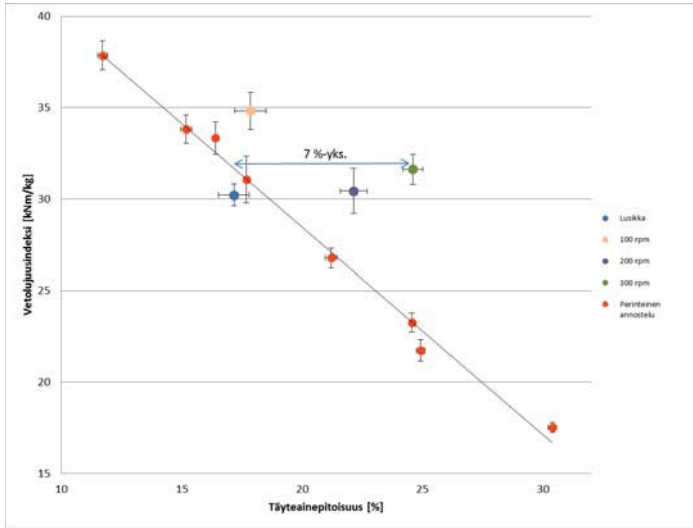


KUVA 3. Ensimmäisen koesarjan vetolujuus – täyteainepitoisuus-kuvaaja

Seuraavaksi tutkittiin sekoituksen vaikutuksia. Kuidut, täyteaineet, tärkkelykset ja muut paperikemikaalit kokevat erisuuruisia leikkausvoimia matkallaan sellutehtaalta paperikoneelle. Mitä aikaisemmassa vaiheessa prosessia kemikaalit annostellaan, sitä enemmän leikkausvoimia ne kokevat. Leikkausvoimien vaikutuksesta kuitu- ja täyteaineflokkit eli kasaumat hajoavat, jolloin niiden retentoituminen heikkenee. Mm. tästä syystä täyteaineen mahdollisimman myöhäinen annostelu prosessiin voi olla järkevää. Täyteaine myöskin likaantuu vähemmän, kun se annostellaan prosessiin myöhemmässä vaiheessa.

Käytimme kokeessa kolmilapaista sekoitinta leikkausvoimien simuloimiseen. Sekoitusnopeuksiksi valitsimme 100, 200 ja 300 rpm sekä lusikkasekoituksen. Osittaisyytöön menevää määrää pudotimme 10 prosenttiin. Osittaisyytön leikkausvoimakokeiden tulokset (kuva 4) tuottivat hyviä tuloksia. Sekoituksen kasvaessa menetelmän toimivuus parani huomattavasti verrattuna referenssiksi tehtyyn perinteisen annostelumene- telmän käyrään. Jotta perinteisellä annostelumene- telmällä päästiin yhtä suuriin täyteainepitoisuuksiin kuin osittaisyytössä, piti perinteisellä menetelmällä lisätä täyteaine- ja tärkkelysannosmääriä. Osittaisyytön lusikkasekoituksella ei saatu parannettua

täyteainepitoisuutta. Siirryttäessä tehokkaampaan sekoitukseen eroja saatiin kuitenkin syntymään. Suurimmalla sekoitusnopeudella saatiin jopa noin 7 prosenttiyksikön parannus täyteainepitoisuuteen samalla vetolujuuden arvolla verrattuna referenssikäyrään.

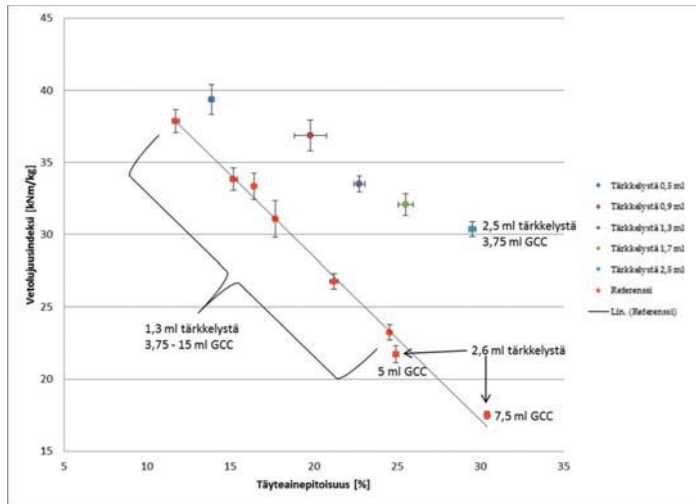


KUVA 4. Osittaissyötön leikkausvoimien vaikutuksia

Säätämällä osittaissyötön sekoituksen kestoa nolasta 30 sekuntiin saatiin samantapainen tulos kuin sekoitusnopeutta säätämällä. Sekoituksen kestäessä pidempään paperin täyteainepitoisuus kasvoi ja lujuudet paranivat referenssiin verrattuna. Itse asiassa lujuudet eivät enää laskeneet, vaikka täyteainepitoisuus kasvoi, kun osittaissyötön sekoitus kesti yhden sekunnin ja pidempään.

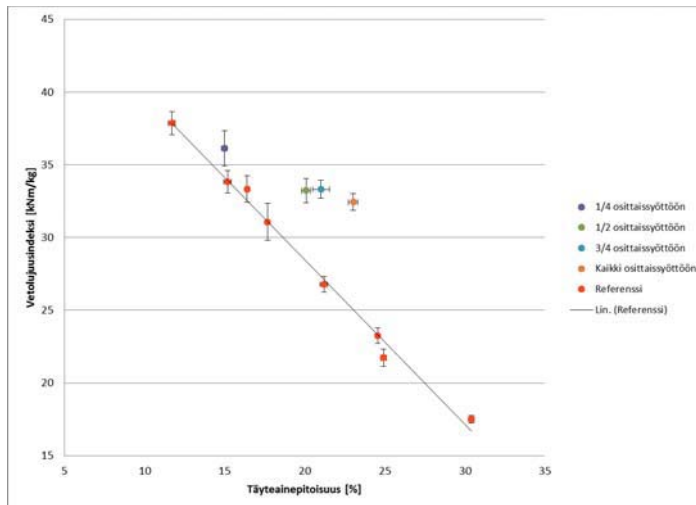
Osittaissyöttöön menevän tärkkelyksen annosmäärän kasvaessa täyteainepitoisuus kasvoi, mutta vetolujuudet hieman laskivat (kuva 5). Kun kuitenkin verrataan referenssikäyrään, vetolujuudet paranivat. Perinteisellä annostelumenetelmällä saatiin täyteainepitoisuus noin 30 %:iin, kun tärkkelystä syötettiin 2,6 ml ja GCC:tä 7,5 ml. Vastaavaan määrään päästiin osittaissyötöllä, kun tärkkelystä syötettiin 2,5 ml ja GCC:tä vain 3,75 ml. Huomionarvoista on myös se, että osittaissyötössä vetolujuusindeksi oli tällöin noin 13 kNm/kg korkeampi.

Myös sillä on vaikutusta, kumpi aineista annostellaan ensimmäisenä osittais- syötössä. Kun GCC annostellaan ensin, saadaan korkeampi vetolujuus, mutta täyteainepitoisuus jää alhaisemmaksi verrattuna tärkkelyksen annosteluun ensimmäisenä. Kun aineet annostellaan yhtä aikaa, ovat tulokset hyvin samantapaiset kuin tärkkelystä ensin annosteltaessa.



KUVA 5. Täkkelyksen määrän vaikutus

Viimeisessä koesarjassa arkkimuotilla kokeiltiin annostella vain osa täkkelyksestä ja täyteaineesta osittaisyöttöön. Koesarjan tuloksista (kuva 6) voitiin huomata, kuinka osittaisyöttöön menevän osuuden kasvaessa tuloksetkin paraniivat. Annostelemalla vain 25 % aineista osittaisyöttöön saatiin jo parempi täyteainepitoisuus kuin perinteisellä annostelumenetelmällä. Täyteainemäärä kasvoi osittaisyöttöön menevän osuuden kasvaessa, mutta sen kasvaessa 50 %:n ja sen yli vetolujuus ei heikentynyt enää.



KUVA 6. Osittaisyöttöön annosteltavan täkkelyksen ja täyteaineen osuus

Osittaissyötön mahdollisina ongelmina voidaan pitää täyteaineflokkien koon kasvamisesta johtuvaa valonsironnan heikentymistä verrattuna referenssikäyrään. Lisäksi tarkkelystä annosteltaessa ensin osittaissyöttöön oli huomattavissa massan tarttumista näytekippeihin sekä sekoittimen lapoihin. Ongelmista huolimatta osittaissyöttömenetelmä omaa erittäin suuren potentiaalin pape-ritehtailla. Investointikustannukset jäisivät alhaisiksi ja tästä johtuen takaisinmaksuaikakaan ei venyisi kovinkaan pitkäksi, mikäli paperin täyteainemäärää kyetään menetelmän avulla lisäämään myös paperikoneella.

Jatkotoimenpiteet

Diplomityön tulokset olivat erittäin lupaavia ja menetelmä omaa todellisen mahdollisuuden päästä osaksi paperin tuotantoprosessia. Tästä syystä asiasta päätettiin kirjoittaa tieteellinen julkaisu alan ammattilehteen, sekä tähän Mamkin yhteiseen TKI-julkaisuun. Menetelmää tullaan kehittämään eteenpäin uusilla laboratoriokeilla sekä mahdollisilla tehdaspilotoinneilla.

Kiitokset

Kiitokset projektin rahoittaneelle EU:lle, UPM Kymmene Oyj:lle, Kemira Oyj:lle, Wetend Technologies Ltd:lle, Imerys Minerals Ltd:lle sekä Stora Enso Oyj:lle. Lisäksi erityiskiitos koko kuitulaboratorion henkilökunnalle.

KESKISAKEAN MASSAN KAASU- DISPERSION KUVANTAVAN MITTAUSLAITTEISTON KEHITYS- TYÖ PULPVISION-PROJEKTISSA

Heikki Mutikainen

Kuitulaboratorio oli mukana vuonna 2010 alkaneessa Tekes-rahoitteisessa PulpVision-projektissa, jossa yhtenä tehtävä-alueena oli kehittää automaattinen kuvantamisratkaisu ja konenäköperustainen mittausmenetelmä sellusulpussa olevien kaasukuplien tunnistamiseen sekä mittaukseen. Mittausmenetelmän kehitys yhteistyössä projektin yritysosapuolten kanssa onnistui erinomaisesti ja mahdollisti myös laitteiston testaamisen lopulta aidoissa olosuhteissa suomalaisen sellutehtaan kuitulinjalla.

Mittausmenetelmällä on onnistuttu mittaamaan tiettävästi ensimmäisenä maailmassa happikaasun kuplakokojakauma sellutehtaan happivaiheessa. Kuplakokojakauman todettiin olevan vahvasti riippuvainen sekoittimen kierrosnopeudesta ja käytetystä happiannoksesta. Kehitetty mittausmenetelmä mahdollistaa tulevaisuudessa täysin uudentyypisen sekoitustehokkuuden tarkastelun esimerkiksi tuotekehityksen, prosessien optimoinnin ja käytönvalvonnan tarpeisiin. Mittausmenetelmän kehitystyö jatkuu edelleen yhteistyössä yrityskumppanien kanssa kohti lopullista sovellusta teollisuuden ja tuotekehityksen tarpeisiin.

Johdanto

Yhtenä tehtäväalueena vuonna 2010 alkaneessa PulpVision-projektissa oli kehittää automaattinen kuvantamisratkaisu ja konenäköperustainen menetelmä sellusulpussa olevien kaasukuplien tunnistamiseen sekä mittaukseen. Projektissa vahvalla panoksella mukana olevan Andritz Oy:n edustajien toiveiden mukaisesti mittauksia alettiin kehittää erityisesti selluteollisuuden valkaisu-prosessien vaatimuksiin keskisakean massan alueella. Vaikka kaasumaisia valkaisu-kemikaaleja käytetään lähes kaikilla kuitulinjoilla, ei vieläkään tunneta tarkkaan, miten ja millä energiamäärällä kaasua tulisi missäkin valkaisu-vaiheessa massasuspensioon sekoittaa optimaalisen tuloksen aikaansaamiseksi. Kuvantamiseen liittyvän tekniikan, kuten kameroiden, valaistuksen sekä tunnistus-algoritmien tehokkuuden nopea kehitys on mahdollistanut vasta hiljattain

tämän mittaluokan asioiden tarkastelun. Kuvantavia mittaussmenetelmiä oli aiemmin kokeiltu myös muissa kohteissa Kuitulaboratoriossa tehdyissä tutkimuksissa ja opinnäytetöissä, joten olemassa olevaa tietoutta ja laitekantaa haluttiin hyödyntää laajemmin erilaisiin sovelluksiin.

Kuvantavaa mittausta alettiin projektin yritysosaapuolten pyynnöstä kehittää happivaiheen sekoitustuloksen tarkasteluun. Tämän kaltaista tutkimusta ei ole aiemmin tiettävästi tehty happivaiheen osalta. Happivaiheesta keittovaiheesta pumpattuun sellususpensioon sekoitetaan happikaasua, joka reagoi kuidun ruskean värin aiheuttajan, ligniinin, kanssa. Happi tulee ensin liuottaa massasuspension nestefaasiin, josta se tunkeutuu kuituun aikaansaaden toivotut reaktiot kuidun ligniinin kanssa; puhutaan ligniinin poistosta eli delignifioinnista. Sekoitusvaiheen jälkeen massa pumpataan happitorniin, jossa delignifioitumisreaktiot tapahtuvat. Massan viipymäaika tornissa on noin 20 minuutista tuntiin riippuen prosessista. Delignifioitumisen laadun kannalta on tärkeää dispersoida happi sekoittimessa mahdollisimman homogeenisesti ja pieninä kuplina kuitususpensioon, jolloin saavutetaan mahdollisimman suuri aineensiirtopinta-ala kaasun ja nestefaasien välille. Niukkaliukoisien hapen liukoisuuden parantamiseksi sekoittimessa vallitsee korotettu paine.

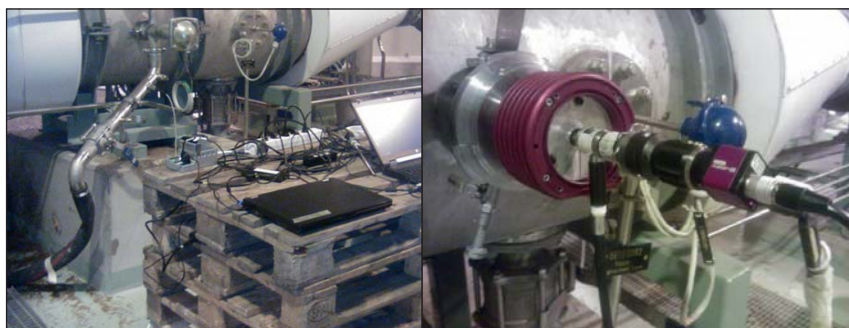
Materialit ja menetelmät

Kuvantavaa mittaussmenetelmää kehitettiin ja kokeiltiin ensiksi kolmessa diplomityössä laboratorio- ja pilot-ympäristössä Kuitulaboratoriossa (Rantala 2010, Mutikainen 2011, Kumpulainen 2011). Mittausmenetelmää käyttäen dispersiotutkimukset aloitettiin Quantum Mark IV -laboratoriosekoittimessa. Kokeissa tarkasteltiin sekoituksen parametrien vaikutusta hapen kuplakokoon, kappareduktion ja kuplakoon välistä korrelaatiota sekä happidisersion homogeenisuutta neljän eri kuvausyhteen välillä. Tämän jälkeen mittaussmenetelmää sovellettiin pilot-mittakaavan kokeisiin Kuitulaboratorion koehalin MC-luupissa. Mittauslaitteiston pääkomponentit ovat konenäkökamera, boroskooppi sekä valonlähde. Käytetyt kameramallit olivat Allied Vision Technologies Guppy F-046B (780 x 582 pikseliä), FOculus FO531TB (1600 x 1200 pikseliä) ja Allied Vision Technologies Guppy Pro F-503B (2588 x 1940 pikseliä), joista viimeisin on edelleen käytössä nykyisessä mittausslaitteistossa. Mittauslaitteiston optiikkana käytetään Richard Wolfin 6.10028.00-boroskooppi, joka on kiinnitetty kameraan Richard Wolf 51 -kamasovitteella. Valonlähteenä käytettiin aluksi kahta rinnankytkettyä Contrôle Recherche Industrien ST-15E-stroboskooppi, jotka myöhemmin korvattiin Cavilux Smart -pulssilaserilla. Syinä pulssilaserin käyttöön ovat korkeampi valoteho, nopeammat valopulssit ja valon sopiva aallonpituus ruskean massan kuvantamissovellukseen. Kuvassa 1 on esitetty mittausslaitteiston pääkomponentit.



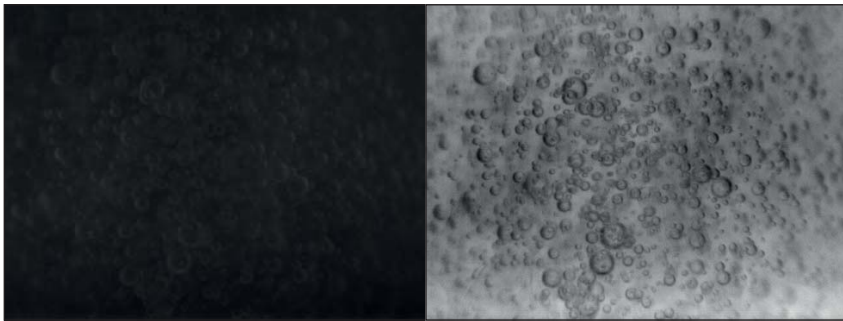
KUVA 1. Kuvantamiseen käytetty laitteisto

Mittausmenetelmän skaalaus teolliseen mittakaavaan aloitettiin esikokeilla ns. sivuvirtausmenetelmällä; kokeita varten tehtiin kuitulinjan näytteenottimeen kiinnitettävä putki (kuva 2, vasen), jonka kautta massaa voitiin johtaa pieniä määriä kanaaliin ja samalla kuvata mittauslaitteistolla hapen dispersiota. Kun esikokeilla oli varmistettu laitteiston toimivuus myös teollisessa ympäristössä, alettiin suunnitella pysyviä mittausyhteitä ja selvittää mahdollisuuksia yhteiden asentamiseksi. Yhteet sekä yhteisiin mittauksen ajaksi kiinnitettävän sensoriosan suunnitteli ja toimitti Vantaalla toimiva Janesko/K-Patents. Kaksi yhdettä asennettiin suomalaisen havusellua valmistavan tehtaan happivaiheeseen syksyllä 2013, yksi asennettiin vielä kesällä 2014. Yksi yhde on sijoitettu ensimmäisen happivaiheen sekoittimen jälkeen, yksi happitornin syöttöön ja yksi toisen happivaiheen sekoittimen jälkeen. Kuvassa 2 on vasemmalla esitetty sivuvirtausmenetelmän mittaus ja oikealla suoraan kuitulinjaan kiinnitettävään yhteeseen sijoitettu mittalaite.



KUVA 2. Sivuvirtausmenetelmän mittauslaitteisto kiinnitettynä kuitulinjan näytteenottimeen (vasen) ja mittauslaitteisto kiinnitettynä kuitulinjan yhteeseen

Mittausmenetelmällä ei optiikan rajoitusten vuoksi saada kovinkaan hyvää syvyysterävyttä, joten kuplien koon määrittäminen perustuu kuva-alan visuaalisesti määritettyihin dimensioihin. Kuva-ala laboratoriossa ja sivuvirtauskokeissa oli 2,71 x 2,0 mm resoluutiolla 1600 x 1200 pikseliä ja tehdasmittakaavan kokeissa 1,75 x 1,31 mm resoluution ollessa 2588 x 1940 pikseliä. Aluksi tulokset määritettiin laskentaan tarkoitettulla ohjelmalla merkkamalla kuplat kuvista silmämääräisesti, kuitenkin samalla kehittäen rinnalla automaattista menetelmää. Automaattisen laskentamenetelmän kehitti PulpVision-projektissa Lappeenrannan teknillisen yliopiston MVPR-laboratorio (Machine Vision and Pattern Recognition). Kuvassa 3 on esitetty alkuperäinen esimerkkikuva tehdasmittauksista sekä manuaalista laskentaa varten muokattu versio:



KUVA 3. Esimerkkikuva hapen dispersiosta massasuspensiossa kuvattuna happitornia edeltävästä yhteestä suomalaisella havusellulinjalla. Sekoittimen kierrosnopeus 1100 min⁻¹, sakeus 10 %, happiannos 12 kg/t. Kuvan dimensiot 1,75 x 1,31 mm

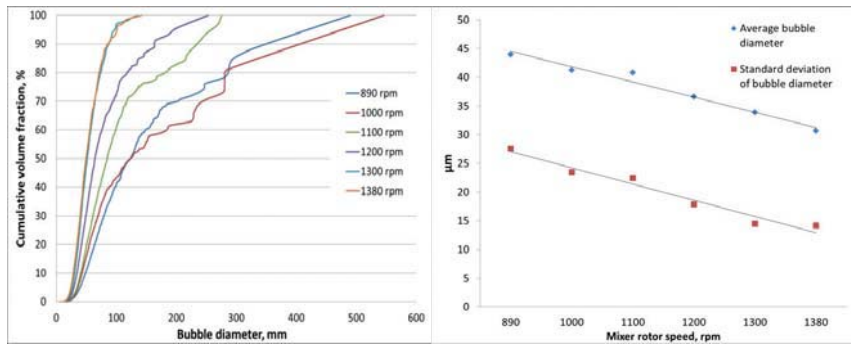
Tulokset

Laboratoriokokeet aloitettiin Kuitulaboratoriossa vuonna 2009. Laboratorio-sekoittimella tehdyissä kokeissa todettiin, että sekoittimen roottorin nopeus sekä suspension sakeus olivat eniten hapen kuplakokoon vaikuttavat tekijät sekoituksen aikana. Roottorin nopeuden taas todettiin olevan tärkein kappa-reduktioon vaikuttava tekijä. Laboratorio-olosuhteissa mittausmenetelmällä pystyttiin havaitsemaan parhaimmillaan hieman alle 10 µm:n kokoisia kuplia.

Pilot-loopissa tehdyissä kokeissa virtausmäärän ja sekoittimen roottorin pyörimisnopeuden todettiin selvästi vaikuttavan mittauksella havaittuun kuplakokoon. Mittauksella pystyttiin määrittämään optimaaliseksi sekoittimen roottorin pyörimisnopeudeksi 1500 min⁻¹ ja optimaaliseksi massan virtaukseksi määritettiin 20 l/s, mikä tarkoitti noin 0,90 m/s virtausnopeutta massalle putkistossa sekoittimen jälkeen. Tuloksista pystyttiin havaitsemaan myös kuplakokoon kasvamista sekoittimen jälkeisessä putkistossa. Tuloksia näistä

Kuitulaboratoriossa suoritetuista kokeista julkaistiin kootusti vertaisarvoidussa artikkelissa *Appita Journal*issa alkuvuodesta 2014 (Mutikainen, Peltonen, Tirri & Käyhkö 2014).

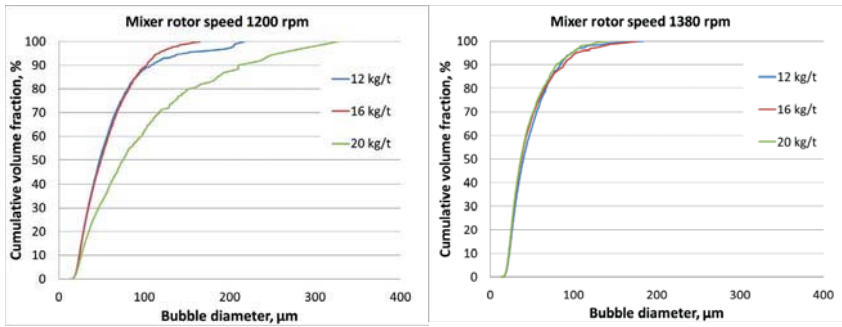
Tehdasmittaukset sivuvirtausmenetelmällä aloitettiin syksyllä 2012. Sivuvirtausmenetelmän kokeissa ainoaksi muuttujaksi valittiin sekoittimen roottorin kierrosnopeus. Kuvassa 4 on esitetty tilavuuspainotettu kumulatiivinen kuplakokojakauma sekoittimen roottorin eri pyörimisnopeuksilla sekä keskimääräinen kuplakoko sekoittimen kierrosnopeuden funktiona.



KUVA 4. Sivuvirtausmenetelmällä määritetty hapen tilavuuspainotettu kuplakokojakauma (vas.) ja keskimääräinen kuplakoko sekä kuplakoon keskihajonta 10 %:n massasuspensiossa suomalaisen havusellutehtaan kuitulinjan happivaiheessa

Sivuvirtausmenetelmät varmistivat, että mittausmenetelmä voisi soveltua myös oikeissa prosessiolosuhteissa mittaamiseen. Mittaustulokset olivat suuntaa antavia, vaikka esimerkiksi paine oli mittausputkessa vain noin 7,5 baaria, joka oli paljon prosessissa vallitsevaa noin 11 baarin painetta alhaisempi.

Yhteet päälinjaan samaisen tehtaan happivaiheeseen asennettiin syksyllä 2013. Sivuvirtauskokeiden pohjalta jatkettiin kokeita tarkastellen ensiksi sekoittimen roottorin kierrosnopeuden vaikutusta happikaasun dispersioon kahdesta eri yhteestä mitattuna. Kokeiden perusteella todettiin mittausmenetelmä toimivaksi ja roottorin kierrosnopeudella olevan selvä yhteys happikuplien kokoon ja kuplakokojakaumaan kuitususpensiossa. Seuraaviin kokeisiin valittiin myös happiannos muuttujaksi. Kuvassa 5 on esitetty hapen tilavuuspainotettu kumulatiivinen kuplakokojakauma kahdella sekoittimen roottorin eri pyörimisnopeudella.



KUVA 5. Hapen tilavuuspainotettu kumulatiivinen kuplakokojakauma 10 %:n massasuspensiossa suomalaisen havusellutehtaan kuitulinjan happivaiheessa sekoittimen roottorin pyörimisnopeuksilla 1200 min⁻¹ ja 1380 min⁻¹

Kuvasta 5 voidaan todeta happiannoksen vaikuttavan melko paljon hapen kuplakokojakaumaan; esimerkiksi vasemmanpuoleisesta kuvasta voidaan todeta 20 kg/t happiannoksen olevan selkeästi liian suuri sekoittimen roottorin pyörimisnopeudelle 1200 min⁻¹, jotta aikaansaataisiin homogeeninen happidispersio optimaalisen delignifointituloksen takaamiseksi. Tämä sekoittimen kierrosnopeus on melko tavanomainen kyseisellä kuitulinjalla, kuten myös alin kuvissa esitetty happiannos 12 kg/t. Oikeanpuoleisesta kuvasta voidaan todeta, että käytetyn sekoittimen maksiminopeudella 1380 min⁻¹ tehdyissä kokeissa ei havaittu happikaasun kuplakokojakaumassa ollut mainittavaa eroa eri happiannoksia käytettäessä.

Johtopäätökset

Kuitulaboratoriossa kehitetyllä happidispersiön mittausmenetelmällä on onnistuneesti pystytty mittaamaan hapen kuplakokojakaumaa sellutehtaan happivaiheesta tiettävästi ensimmäisenä maailmassa. Mittausmenetelmällä pystytään mittaamaan jopa hieman alle 10 µm:n kuplia; tyypillisillä prosessin ajoparametreilla tilavuuspainotetuksi kuplakoon keskiarvoksi määritettiin noin 60 µm suomalaisen havusellutehtaan happivaiheessa ennen ensimmäistä happitornia sijaitsevasta yhteestä mitattuna. Menetelmällä mitatun hapen kuplakokojakauman todettiin olevan vahvasti riippuvainen sekoittimen roottorin pyörimisnopeudesta sekä käytetystä happiannoksesta. Tavanomaisissa olosuhteissa nostamalla roottorin pyörimisnopeus minimistä maksimiin pystyttiin pienentämään hapen keskimääräistä tilavuuspainotettua kuplakokoa 48 %, kun taas happiannoksen nostolla arvosta 12 kg/t arvoon 20 kg/t pystyttiin kuplakokoa kasvattamaan 70 %.

Kuplakoon mittausmenetelmän kehitystyö on osoitus onnistuneesta yhteistyöstä Kuitulaboratorion, teollisuuden edustajien sekä muiden tutkimusryhmien kesken. Mittausmenetelmän merkitys voi tulevaisuudessa olla suuri, koska menetelmä mahdollistaa täysin uudentyypin sekoituksen tehokkuuden tarkastelun tuotekehityksen ja prosessien optimoinnin tarpeisiin. Mittausmenetelmän kehitystyö jatkuu edelleen yhteistyössä Andritzin kanssa, ja mittausmenetelmästä pyritään jatkossa kehittämään seuraavan sukupolven versio toimimaan paremmin ja huoltovapaammin teolliseen ympäristöön.

LÄHTEET

Rantala, J-P. 2010. Kuplakokojakauman hallinta happidelignifoinnissa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemian laitos. Teknillinen tiedekunta. Diplomityö.

Mutikainen, H. 2011. Dispersion karakterisointi laboratoriosekoittimessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemian laitos. Diplomityö.

Kumpulainen, T. 2011. Kaasun dispergoituminen tehdasmittakaavaisessa keskisakean massan sekoittimessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemian laitos. Diplomityö.

Mutikainen, H., Peltonen, K., Tirri, T., Käyhkö, J. 2014. Characterisation of oxygen dispersion in medium-consistency pulp mixing. *Appita* J.67:37- 42.

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

REFRAKTOMETRIMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN SELLU- TEHTAAN JÄTEVEDEN- KÄSITTELYLAITOKSELLA

Riku Kopra

Olemme kuitulaboratoriolla usean vuoden ajan tutkineet refraktometrimittauksen hyödyntämistä selluteollisuuden eri osaprosesseissa. Refraktometrimittaus perustuu taitekertoimen mittaamiseen hyödyntäen kameratekniikkaa. Refraktometrin hyödyntämistä pesuhäviön (liuennut pestävissä oleva aines) mittaamiseen ruskean massan pesulinjalla on tutkittu sekä laboratorioolosuhteissa että erityisesti tehdasolosuhteissa yhteistyössä K-Patentsin, Mamkin ja Aalto-yliopiston kanssa. Viime aikoina tutkimus on keskittynyt myös alhaisien pitoisuuksien mittaamiseen lähinnä jätevesien käsittelyn alueella. Tuloksia on julkaistu säännöllisesti alan julkaisuissa ja konferensseissa. Tässä artikkelissa esitellään APPITA Fibre value chain 2014 -konferenssissa esitettyjä jätevesilaitokselta saatuja tuloksia kootusti.

Sellutehtaiden jätevedenkäsittelylaitoksilla on tarvetta uusille mittauksille ympäristölainsäädännön kiristäessä tehtaiden lupaehtoja. Nykypäivään asti ovat riittäneet kuukausittaiset raja-arvot. Tämä on mahdollistanut hetkittäiset suuretkin päästöt, jos kuukausikeskiarvo on pysynyt luparajoissa. Online-mittauksilla voitaisiin kuitenkin nähdä päästöpiikit reaaliajassa ja pyrkiä tasaamaan näitä oikealla toiminnalla. Esteenä on ollut reaaliaikaisten mittausten puute hyvin alhaisilla pitoisuusalueilla. Työssämme on tutkittu, voitaisiinko uudella tarkkuusrefraktometrillä seurata hyvin alhaisia liunneen kuiva-aineen pitoisuuden muutoksia jätevedenkäsittelyn alueella.

Johdanto

Matalakuormitteinen aktiivilieteprosessi on nykyään yleisesti käytetty tapa käsitellä sellutehtaan jätevesiä (Thompson et al. 2001; Pokhrel and Viraraghavan 2004). Nopeasti hajoavien orgaanisten aineiden sisältö jätevesissä vaihtelee riippuen puuraaka-aineesta ja itse selluprosessista. Näiden aineiden, kuten sokerien, alkoholisten ja orgaanisten happojen poistotehokkuutta arvioidaan mittaamalla biologista hapen kulutusta (BOD5 tai BOD7) aktiivilietelaitokselle tulevista ja sieltä poistuvista jätevesivirroista. Sellutehtaan jätevedet kui-

tenkin sisältävät suhteellisen suuren määrän ei lainkaan tai hitaasti hajoavaa orgaanista ainesta, kuten ligniiniä tai sen johdannaisia, joita ei havaita standardi BOD-analyysillä. Suurin osa näistä aineksista adsorboituu biomassaan aktiivilieteprosessin aikana ja ne lopulta poistuvat ylijäämälietteenä prosessista (Toivakainen et al. 2014). Näiden poistotehokkuutta ei voida arvioida mittaamalla BOD:ta tai COD:ta aktiivilietelaitoksen jätevesivirroista.

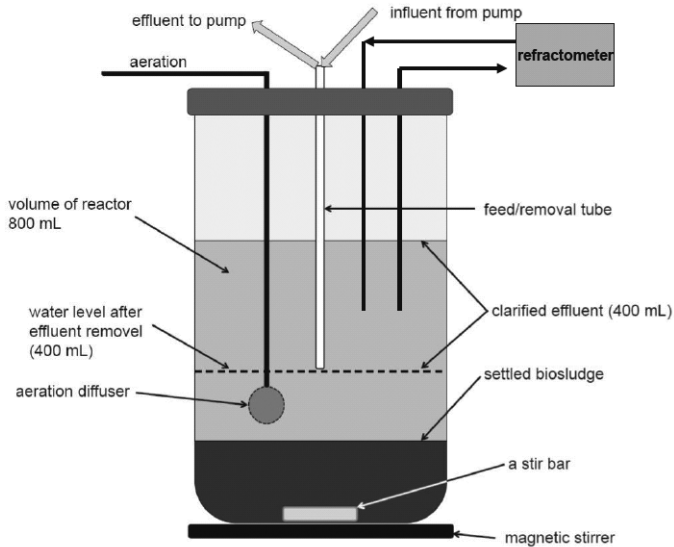
Tulevan jätevesivirran orgaanisten aineiden hajoamista tai adsorptiota ilmastusaltaan eri osissa voidaan mitata kerätyistä näytteistä liuenneena COD:na, BOD₅:na tai DOC:na. On kuitenkin haastavaa mitata näitä parametreja suoraan ilmastusaltaasta, koska siellä on mukana biolietettä. Tämän johdosta on tarvetta jatkuvatoimiselle jätevedenkäsittelyn tehokkuuden mittaamiselle eri kohdista prosessia toisin keinoin, kuten mittaamalla liuennutta kuiva-ainetta online refraktometrillä. Refraktometriä on käytetty onnistuneesti ruskean massan pesun alueella, missä prosessin tehokkuutta on parannettu seuraamalla liuennutta kuiva-ainetta (Kopra et al. 2010, 2011a, 2011b ja 2012). Sellutehtaan jätevedet sisältävät samankaltaisia orgaanisia aineita kuin ruskean massan pesun suodokset sisältävät, mutta vain huomattavasti alhaisemmassa pitoisuudessa. Aikaisemmissa tutkimuksissamme on jo ehdotettu, että refraktometriä voitaisiin käyttää arvioimaan sellu- ja paperitehtaan jätevesien COD-pitoisuutta, jos epäorgaanisten aineiden osuus tiedetään.

Ensiksi APPITA-konferenssissa (Toivakainen et al. 2014) julkaistussa tutkimuksessa testattiin laboratorio-olosuhteissa uutta tarkkuusrefraktometriä eri vahvuisten ligniiniliuosten mittaamiseen alhaisissa pitoisuuksissa. Toiseksi laboratoriomitassa aktiivilieteprosessilla mitattiin liuennutta jäännös COD:ta ja liuennutta orgaanista hiiltä (DOC) eri osista ilmastusta ja näitä tuloksia verrattiin suoraan ilmastuksesta mitattuihin liuenneen kuiva-aineen pitoisuuksiin. Tarkoituksena oli testata, voitaisiinko orgaanisen aineksen kuten ligniinin poistumista tulevasta jätevesikuormasta monitoroida eri osista ilmastusallasta refraktometrimittauksilla.

Koe- ja mittausjärjestelyt sellutehtaan jätevedenkäsittelylaitoksella

Ligniiniipitoisuuden muutosten havainnointia refraktometrillä tutkittiin erityisen kierrätyslaitteiston avulla. Laitteisto on esitelty tarkemmin aiemmassa tutkimuksessamme (Kopra et al 2011) ja refraktometrin toiminta kokoelmajulkaisun toisessa artikkelissani (Kopra 2014). Pieneen määrään 0,1 mol/L vahvuista NaOH:a liuotettiin 5 grammasta 100 grammaan ligniiniä (kaupallinen kraft ligniini: Aldrich 370959) per 100 litraa talousvettä. Eli pitoisuudet olivat 50 ppm:sta 1000 ppm:iin. Ligniiniannokset vastasivat tyypillisiä pitoisuuksia, joita löytyy sellutehtaiden jätevesistä. Kokeet suoritettiin kahdella eri pH:lla (neutraali ja alkalinen) ja kumpikin sarja sekä kuitujen kanssa että ilman.

Laboratoriomittakaavan aktiivilietelaitoskokeet suoritettiin kahdella rinnakkaisella eräpanosprosessilla (LAB1 ja LAB 2). Kokeissa yksi panoksen kierros sisälsi 10 tunnin ilmastuksen ja kahden tunnin laskeutumis- ja selkeytymisajan. Reaktorin koko oli 1000 ml, jossa jäteveden ja biolietteen määrä oli 800 ml. Kierrätysuhde biolietteelle oli 100 prosenttia. Lämpötila kummassakin reaktorissa pidettiin +34 - 36 °C:ssa. Tarkemmat tiedot on esitelty alkupe- räisessä julkaisussamme (Toivakainen et al 2014). Yksi reaktori ja jäteveden syötön järjestely on esitelty kuvassa 1.



KUVA 1. Laboratoriomittakaavan aktiivilietelaitosprosessi (Toivakainen et al. 2014)

Näytteistä tehtiin seuraavat analyysit:

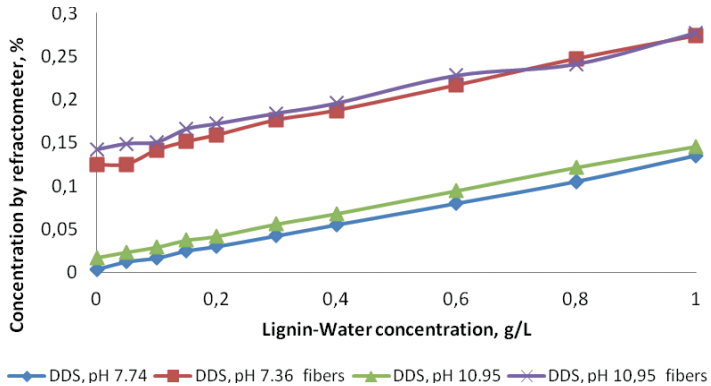
- COD konsentraatio mitattiin hapettamalla näyte dikromaatilla standardin SFS 5504 mukaan.
- TOC mitattiin Shimadzu TOC-V CPH analysaattorilla standardin SFS-EN 1484 mukaan.
- Liuenut happi (DO) and oxygen uptake rates (OUR) mitattiin Oxi 330i instrumentilla.

Tulokset ja keskustelu

Sellutehtaan jätevedenkäsittelyn monitorointi

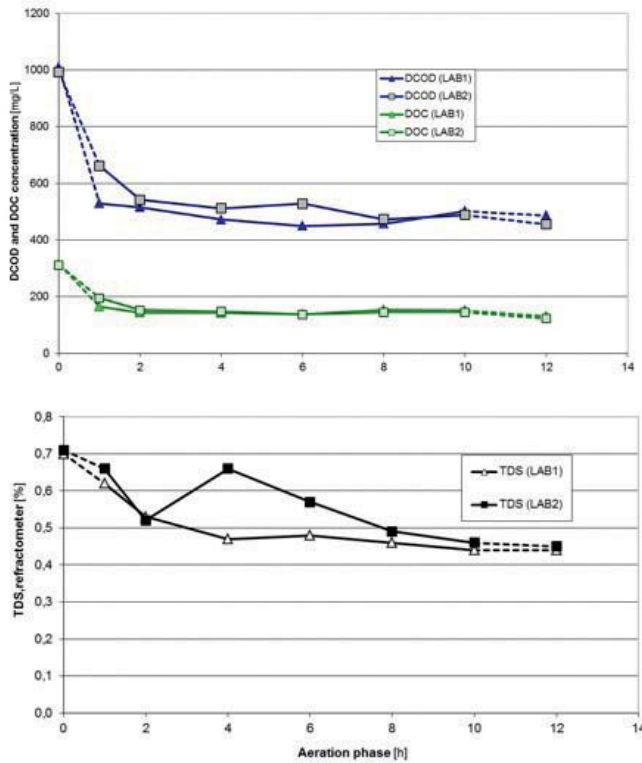
Kuten kuvasta 2 voidaan havaita, niin ligniinin lisääminen vesinäytteisiin kasvatti lineaarisesti liuenutta kuiva-ainepitoisuutta refraktometrillä mitattuna. Refraktometri kykeni mittaamaan niinkin alhaisen kuin 50 ppm:n pitoisuuden. Tasoerot kuitujen / ilman kuituja välillä johtuivat käytetyn massan si-

sältämästä pesuhäviöstä. Pitää kuitenkin huomioida, että mitattaessa hyvin alhaisia liuennon kuiva-aineen pitoisuuksia lämpötilavaihteluilla on merkittävä vaikutus mittaustarkkuuteen. Onneksi sellu- ja paperitehtaiden jätevedenkäsittelyn alueella lämpötilamuutokset ovat tavallisesti hitaita ja kohtuullisen pieniä.



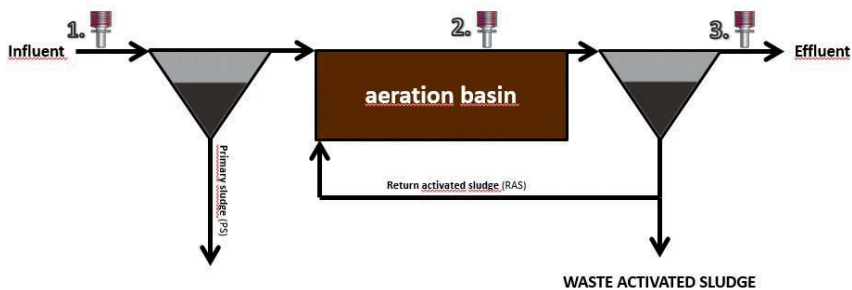
KUVA 2. Ligniinin askelittaisen lisäämisen vaikutus refraktometrillä mitattuun liuennon kuiva-aineeseen (Toivakainen et al. 2014)

Kuvassa 3 on esitetty liuennon COD:n (DCOD) ja liuennon orgaanisen hiilen (DOC) profiili ilmastuksen aikana, sekä liuennon kuiva-aineen (TDS) profiili. Tulevan jäteveden DCOD oli 1500 mg/L ja kun siihen sekoitettiin palautusliete, niin se laski tasolle 1000 mg/L. Kuvaajasta voidaan havaita, että suurin osa DCOD:sta poistuu ilmastuksen alkuvaiheessa. Rinnakkaisilla kokeilla oli pieniä eroavaisuuksia. LAB2:ssa tasaantuminen kesti selkeästi kauemmin kuin LAB1:ssä. Erot rinnakkaiskokeissa johtuivat muun muassa ilmastusjärjestelyistä ja reaktorin koosta. Pienestä tilavuudesta johtuen reaktorin reunaefektit olivat turhan hallitsevia. Kokonaisreduktio DCOD:lla oli kummassakin kokeessa luokkaa 68 - 70 %. DOC-konsentraatio käyttäytyi melko samankaltaisesti, kuten kuvasta voidaan havaita. Reduktioit olivat LAB1:llä 74 % ja LAB2:lla 75 %. Liuennutta kuiva-ainetta poistui ainoastaan 21 - 23%. Alhainen reduktio johtui korkeasta epäorgaanisten aineiden osuudesta. Epäorgaaninen aines kulkeutuu suurelta osin puhdistuslaitoksen läpi. Liuennon kuiva-aineen profiili ilmastuksen aikana erosi muutoinkin DCOD- ja DOC-profiileista. Yhdeksi syyksi epäiltiin mikrobien kasvu, mikä ei näkynyt DCOD:ssa tai DOC:ssa näytteiden suodatusten johdosta. Refraktometrimittaus taas olettaa noin nanometrin kokoluokkaa olevat mikrobit liuennona aineksena. On yleisesti tiedossa, että yksittäisiä bakteereja voidaan mitata refraktometri-mittauksen avulla (Barer et al 1953).



KUVA 3. DCOD-, DOC- ja TDS-konsentraation profiilit ilmastusallaskokeissa LAB1 ja LAB2 (Toivakainen et al. 2014)

Kuvassa 4 on esitetty tutkimustulosten pohjalta esitys, miten mittareita voitaisiin hyödyntää sellutehtaan jätevedenkäsittelylaitoksella. Aktiiviliete-prosessin tilaa voidaan monitoroida liuennon kuiva-aineen mittaamisella (mittari 2.) Mittauksen paikka ilmastusaltaassa pitää olla sen pisteen jälkeen, kun hapen kulutus on tasaantunut, toisin sanoen orgaaninen kuorma eli ruoka on kuluttettu. Mittauksen tässä pisteessä pitäisi näyttää samaa kuin poistuvassa virrassa (mittari 3). Kyseinen mittaus 2 voisi toimia varoitusmittauksena. Jos se alkaa kasvaa, niin laitoksen operaattorilla on aikaa tehdä korjaavia toimenpiteitä.



KUVA 4. Refraktometrimittausten ehdotetut asennuspaikat (Toivakainen et al. 2014)

Johtopäätökset

Jätevedenkäsittelylaitoksen kokeiden tulokset osoittivat, että liuenneen kuiva-aineen pitoisuutta refraktometrillä mitattuna voidaan hyödyntää COD-pitoisuuden arvioimiseen varsinkin, jos epäorgaanisen aineksen määrä ei ole hallitseva. Refraktometrimittauksella voidaan havaita niinkin alhaiset kuin 50 ppm pitoisuusmuutokset. Refraktometria voidaan käyttää myös jätevedenkäsittelyprosessin tilan monitorointiin. Lisää tehdastason tutkimuksia kuitenkin tarvitaan lisätiedon saamiseksi.

LÄHTEET

Thompson G., Swain J., Kay M. and Forster C.F. (2001) The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. *Bioresource Technology*, 77, 275–286.

Pokhrel, D and Viraraghavan, T. (2004) Treatment of pulp and paper mill wastewater a review. *Science of the Total Environment*. Vol. 333, 37-58.

Toivakainen S., Hannukainen, H., Laukkanen, T., Dahl O. (2014) The accumulation of non- or slowly biodegradable organic compounds in an activated sludge process within a kraft pulp mill, TAPPI PEERS Conference, September 14-17.2014, Tacoma, Washington.

Kopra R., Helttunen J., Tervola P., Tirri T. and Dahl O. (2010) Refractive index measurements for brown stock washing loss - mill investigations, *Appita Journal* 63(2):131-136.

Kopra R., Kari E., Harinen M., Tirri T. and Dahl O. (2011b) Optimization of wash water usage in brown stock washing, *TAPPI JOURNAL* vol.10 no.9.

Kopra R., Kari E., Harinen M., Tirri T. and Dahl O. (2012) Improving brown stock washing by using on-line measurement – mill investigations, *O PAPEL* vol.73, num.1, pp.79-85.

Kopra R. (2014) Refraktometrimittauksen hyödyntäminen sellutehtaan ruskean massan pesussa; kooste TAPPI PEERS 2014 konferenssiesityksestä, MAMK julkaisu, xxx.

Toivakainen S., Kopra R., Laukkanen T., Tirri T and Dahl O. (2014) Utilizing refractometer for controlling COD removal in Kraft pulp mill wastewater treatment plant, *Fibre value chain Conference & Expo*, Rotorua, New Zealand, 15.-17.10.2014.

Barer, R., Ross, K.A, Tkaczyk, S. (1953) Refractometry of living cells. *Nature*, Vol. 171, pp. 720 - 724.

REFRAKTOMETRIMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN SELLU- TEHTAAN RUSKEAN MASSAN PESUSSA

Riku Kopra

Olemme kuitulaboratoriolla usean vuoden ajan tutkineet refraktometrimittauksen hyödyntämistä selluteollisuuden eri osaprosesseissa. Refraktometrimittaus perustuu taitekertoimen mittaamiseen hyödyntäen kameratekniikkaa. Refraktometrin hyödyntämistä pesuhäviön (liuennut pestävissä oleva aines) mittaamiseen ruskean massan pesulinjalla on tutkittu sekä laboratorioolosuhteissa että erityisesti tehdasolosuhteissa yhteistyössä K-Patentsin, Mamkin ja Aalto-yliopiston kanssa. Viime aikoina tutkimus on keskittynyt myös alhaisien pitoisuuksien mittaamiseen lähinnä jätevesien käsittelyn alueella. Tuloksia on julkaistu säännöllisesti alan julkaisuissa ja konferensseissa. Tässä artikkelissa esitellään TAPPI PEERS 2014 -konferenssissa esitettyjä tuloksia kootusti.

Sellutehtaan ruskean massan pesun onnistumista tulisi mitata ja reaaliaikaisista mittaustekniikkaa olisi käytettävä, jotta ymmärrettäisiin, kuinka pesurit toimivat, ja jotta tulokset olisivat hyödynnettävissä pesutehokkuuden parantamiseksi. Aihe on ajankohtainen, sillä puuraaka-aine ja kemikaalit tulevat kallistumaan, energian hinta ja uusiutuvan energian tuotannon osuuden tarve nousemaan nykyisestä. Ruskean massan pesua tehostamalla ja haihduttamolle lähtevän mustalipeän kuiva-ainetta nostamalla saadaan välitön kustannus-hyöty tehtaalle. Lisäksi saavutetaan puhtaampi ja laadukkaampi massa valkaisuun, sekä optimoitu veden ja kemikaalien tarve. Näihin päiviin asti pesun tehokkuutta ei ole juurikaan mitattu, lähinnä vain veden määrää ja suodosten johtokykyä.

Johdanto

Kemiallisessa massanvalmistuksessa ruskean massan pesun tarkoitus on poistaa liuennut aines – sekä orgaaninen että epäorgaaninen – massasuspensiosta käyttämällä mahdollisimman vähän vettä. Tämä on perinteisesti tehty vastavirtapesulla, joka minimoi käytettävän pesunesteen määrää (Crotogino et al. 1987). Tehokas pesu parantaa keittokemikaalien (Na ja S) talteenottoa ja puuperäisten orgaanisten aineiden talteenottoa polttoon energian saamiseksi.

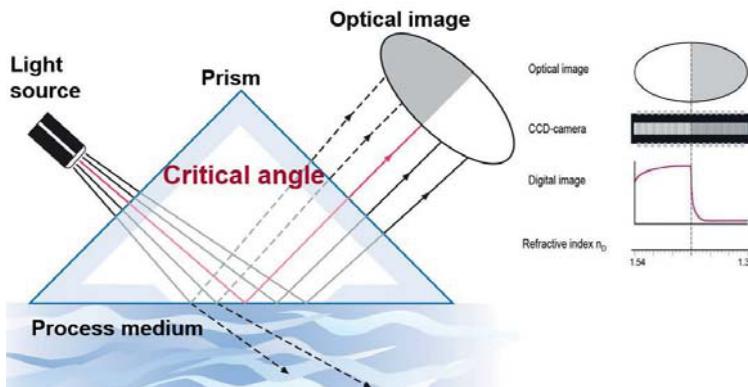
Se vähentää myös kemikaalien tarvetta seuraavissa valkaisuvaiheissa (Tervola and Gullichsen 2007). Riittävällä pesulla on myös positiivisia vaikutuksia massan laatuun sekä sillä estetään saostusongelmia (Wilson 1993). Pesutapah- tumaa voidaan seurata kahdella tapaa: pesuhäviöllä ja laimennuskertoimella. Pesuhäviö indikoi pestävissä olevien aineiden määrää massasuspensiossa, jotka voidaan poistaa pesussa ja laimennuskerroin indikoi pesussa lisättyä pesunes- temäärää, mikä laimentaa mustalipeää. Laimennuskerroin voi olla negatiivinen, nolla tai positiivinen numero.

Pesulaitteiden ja -vaiheiden optimointi on tärkeää taloudellisista syistä. Pro- sessimittaukset ja -säätö ovat tärkeitä myös pesureiden tehokkaan toiminnan kannalta sekä kerätty mittaustiedot on arvokasta prosessin mallintamisen kan- nalta (Kopra et al. 2011). Perinteisesti pesureita on ohjattu yksittäin ja mene- telmät pesuhäviön online- arviointiin ovat olleet epätarkkoja. Jotta saavutetaan oikea kompromissi edellä mainittujen pesusuureiden välillä, kokonaisvaltaista ja tarkkaa pesulinjan säätöä tarvitaan. Tehokas säätö vaatii sekä in-line-pesu- häviön seuranta- että ylempään tason ohjauksen säätämään veden käyttöä ja muita tärkeitä avainparametreja koko pesulinjalla. TAPPI PEERS:ssä (Kopra et al. 2014) julkaistun tutkimuksen tavoitteena oli parantaa erään skandinaa- visen sellutehtaan ruskean massan pesulinjan tehokkuutta. Tietoa kerättiin käyttämällä reaaliaikaisia mittauksia (refraktometri ja johtokyky) ja koko lin- jaa kontrolloitiin ylempään tason säädöllä.

Taitekerroinmittauksen periaate

Modernin sukupolven täysin digitaaliset prosessirefraktometrit mittaavat pro- sessiliuosten konsentraatiota (väkevyyttä) jatkuvatoimisesti. Digitaalinen mit- tausperiaate eliminoi prosessissa mahdollisesti esiintyvien häiriötekijöiden aiheuttamat mittaustulokset. Massavirrassa tällaisia tekijöitä ovat kuplat, liuke- nemattomat epäpuhtaudet, värimuutokset ja kuidut prosessinesteessä. Prosessi- refraktometrin toiminta perustuu valon taittumiseen ja kokonaisheijastuksen ra- jakulmaan. Prosessiaineen pintaan heijastettu valo taittuu eri tavalla eri aineiden pinnasta ja taittumisen jyrkkyys riippuu aineen konsentraatiosta. Mittaamalla taittumisen optinen kulma voidaan mitata minkä tahansa aineen väkevyyttä. Tait- tumiskulmaan vaikuttaa vain aineeseos. Kuplat, väri tai kuidut eivät vaikuta.

Ilmiötä hyödynnetään prosessirefraktometrissa valolähteen, prisman ja di- gitaalisen CCD-kameran eli kuvantunnistimen avulla. Eri kulmissa valon- lähteestä lähtevät säteet muuttavat nopeutta ja suuntaa kohdatessaan ilmaa tiheämmän liuoksen (Kuva 1). Osa valonsäteistä tunkeutuu liuokseen ja osa heijastuu takaisin aineen rajapinnasta. Heijastuneet säteet muodostavat opti- sen kuvan CCD:lle. Säteistä muodostuu optinen kuva tummasta ja vaaleasta sektorista. ”Varjoaluetta” vastaavaa kulmaa kutsutaan kokonaisheijastuksen kriittiseksi kulmaksi. Kriittinen kulma on taitekertoimen funktio ja tässä liu- oksen konsentraatio.

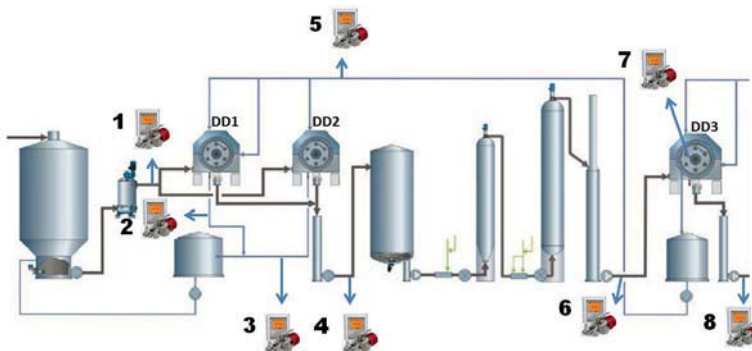


KUVA 1. Refraktometri mittausperiaate (Toivakainen et al. 2014)

Digitaalinen CCD-kamera havaitsee optisen kuvan ja varjorajan. Kamera muuntaa optisen kuvan piste pisteeltä elektroniseksi signaaliksi. Näin saadaan tarkasta varjorajasta määritettyä taitekerroin n_D . Sisäänrakennettu lämpötila-sensori mittaa lämpötilan prosessinesteen pinnasta. Indikoiva lähetin muuntaa taitekertoimen ja lämpötilan konsentraatioyksiköksi.

Koe- ja mittausjärjestelyt sellutehtaan ruskeanmassan pesussa

Tutkimuksen koejärjestelyt jakautuivat ylemmän tason säädön kehittämiseen ja käyttöönottoon sekä uusien mittalaitteiden käyttöön ottoon ja niiden toiminnan arviointiin kokeiden avulla. Kokeita suoritettiin, jotta löydettiin optimit operointiparametrit pesulinjalle, jotta linja pystyisi toimimaan mahdollisimman taloudellisesti. Seurattavia parametreja olivat mm. laimennuskerroin (DF), tuotanto, rummun momentti ja syöttösakeus. Pesulinja koostui kolmesta DD-pesurista ja kaksivaiheisesta happidelignifioinnista. Yhteensä kahdeksan refraktometriä asennettiin pesulinjalle mittaamaan reaaliaikaisesti liuennutta kuiva-ainetta. Kuvassa 2 on esitetty pesulinja ja refraktometrin asennuspaikat.

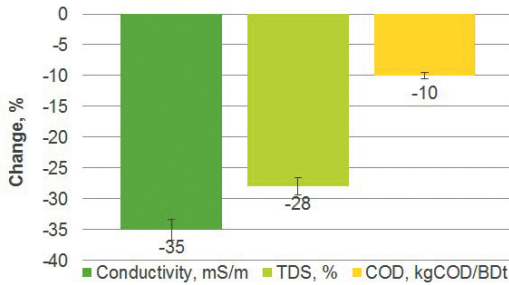


KUVA 2. Refraktometriä asennuspaikat ruskean massan pesulinjalla (Kopra et al. 2014)

Sellutehtaan ruskean massan pesulinjan optimointi

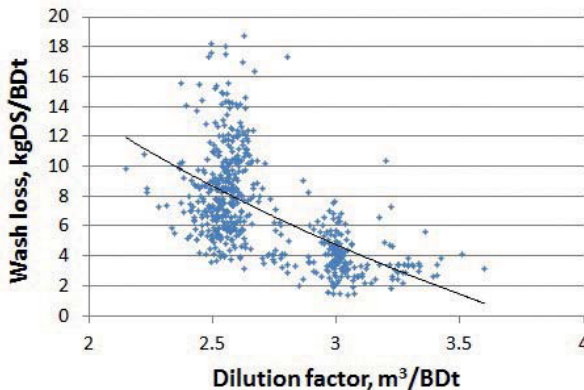
Kuvassa 3 on esitetty koetuloksia ennen sekä jälkeen ylemmän tason säädön käyttöönoton. Tulokset osoittavat, että ylemmän tason säädön ja refraktometrin käyttöönotolla oli merkittävä vaikutus pesulinjan toimintaan. Pesuhäviö COD:na mitattuna laski 10 prosenttia samaan aikaan kun pesulinjalta haihduttamoon poistuvan pesusuodoksen kuiva-aine nousi 0,4 prosenttiyksikköä. Pesuhäviö johtokykyä tai liuenneena kuiva-aineena mitattuna laski vieläkin enemmän. Näillä muutoksilla oli merkittävä taloudellinen vaikutus pesulinjan toimintaan.

Control system	Conventional	Upper level
Production ADt/h	40,7	40,7
Dilution factor m ³ /BDt	3,87	3,77
TDS from liquor leaving the washing line, %	~14,5	+ 0,4
Wash loss to bleaching, kgCOD/BDt	18,1	16,2



KUVA 3. Perinteisen ja ylätaso säädön tulokset seurantajaksoilta (Kopra et al. 2014)

Kuvassa 4 on esitetty laimennuskertoimen (DF) vaikutus pesuhäviöön DD3-pesurilla. Pesuhäviö mitattiin refraktometrillä liuenneena kuiva-aineena. Tulokset osoittavat, että laimennuskertoimen määrällä on selvä vaikutus pesuhäviön määrään.



KUVA 4. DF:n vaikutus pesuhäviöön DD3-pesurilla (Kopra et al. 2014)

Refraktometrien käyttö yhdessä virtaus- ja sakeusmittausten kanssa mahdollisti reaaliaikaisten tehokkuuslukujen laskennan pesureille. Kuvassa 5 on esitetty kuva tehtaan käyttöjärjestelmässä, missä näkyy ”liikennevalojen” tapaan pesureiden reaaliaikainen tehokkuus. Tästä tehtaan ajomiehet voivat nopeasti havaita, onko pesutehokkuus pesureilla huono, kohtalainen vai erinomainen.



KUVA 5. E-arvot ja ”liikennevalot” ylemmän tason säädön operointi näytöllä (Kopra et al. 2014)

Johtopäätökset

Sellutehdaskokeiden tulokset osoittivat, että käyttämällä ylätasoa säätöä ja uusia refraktometrimittauksia pystyttiin laskemaan pesuhäviökuormaa valkaisuun ja samanaikaisesti vähentämään pesuveden määrää, jolla oli suora vaikutus kuiva-aine- tasoon haihdutukseen menevään lipeään. Tällä saatiin aikaan merkittäviä taloudellisia säästöjä. Uudet mittaukset mahdollistivat myös reaaliaikaisten tehokkuusarvojen laskennan pesureille.

LÄHTEET

Crotogino R. H., Poirier N.A. and Trinh D.T. (1987) The principles of pulp washing. *Tappi Journal*, 70(6), 95–103.

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

Kopra R., Koivula K., Dahl O. (2014) Optimization of a brown stock washing line, TAPPI PEERS Conference, Tacoma, WA, USA, 14-17.09.2014.

Tervola P., Gullichsen J. (2007) Confidence limits in mass balances with application to calculation of pulp washing efficiency. *Appita Journal*, 60(6), 474–481.

Wilson J. (1993) Results from improved brown stock washing. Proc. of 1993TAPPI Pulping Conference, Atlanta, GA, USA, 155-157.

