

# Esiselvitys: Pienoistehdas painetun älyn alustan valmistamiseen hiilidioksidi-kalsiumhydroksidi-mikrokuitukomposiittina

MAMK/FiberLaboratory: DI Tuomas Pesonen ja TkT Jari Käyhkö

VTT: FM Janne Keränen, DI Henna Sundqvist ja DI Panu Lahtinen



**MAMK**

University of Applied Sciences



ESISELVITYS:  
PIENOISTEHDAS PAINETUN  
ÄLYN ALUSTAN VALMISTAMISEEN  
HIILIDIOKSIDI-KALSIUM-  
HYDROKSIDI-MIKROKUITU-  
KOMPOSIITTINA

MAMK/FIBERLABORATORY: DI TUOMAS PESONEN  
JA TKT JARI KÄYHKÖ

VTT: FM JANNE KERÄNEN, DI HENNA SUNDQVIST  
JA DI PANU LAHTINEN

**RAPORTTI**

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

MIKKELI 2015

A: TUTKIMUKSIA JA RAPORTTEJA – RESEARCH REPORTS 104

© Tekijät ja Mikkelin ammattikorkeakoulu  
Kannen kuva: Mikkelin ammattikorkeakoulu  
Kannen ulkoasu: Mainostoimisto Nitro ID  
Taitto : Mainostoimisto Groteski  
ISBN: 978-951-588-540-1 (PDF)  
ISSN: 1795-9438

**julkaisut(a)xamk.fi**

# TIIVISTELMÄ

Painetun elektroniikan markkina (markkina jonka voi korvata painetulla elektroniikalla) oli vuonna 2013 12 MRD euroa. Markkinan kasvuvauhdiksi on arvioitu IDTechEx:n toimesta 14,5 – 17 % vuodessa seuraavan viiden-kymmenen vuoden aikana. Vuoden 2020 markkinan koko olisi siis noin 30 MRD euroa. Painettavan elektroniikan sovellutukset ovat tyypillisesti kannettavissa laitteissa, älyrannekeissa, erilaisissa antureissa, sähköisissä tai joustavissa piireissä, RFID-antenneissa ja näytöissä. Teollisuudessa käyttö on pääasiassa sähköisissä kytkimissä, kalvoissa ja sensoreissa. Painettava elektroniikka painetaan tällä hetkellä korkean lämmönkeston muovituotteille, jotka tyypillisesti ovat ohuita ja omaavat hyvät sähköiset ominaisuudet, mittapysyvyyden ja paloneston. Käytetyistä muovituotteista merkittävin on polyimidi. Polyimidin korvaaminen biopohjaisella materiaalilla oli tämän esiselvityksen lähtökohta.

Projektin tavoitteena oli selvittää laboratorioskokeissa biopohjaisen, mikroselluloosa/PCC-komposiitista valmistettujen alustojen ominaisuuksia ja arvioida niiden soveltuvuutta painettavan elektroniikan painoalustaksi. Toisena tavoitteena oli arvioida mahdollisuudet valmistaa ko. komposiittia teollisessa mittakaavassa sekä hahmotella alustavat prosessivaiheet ja näiden mitoituskykyiset valmistusprosessit. Selvitystyön yhtenä tavoitteena oli luoda edellytykset ensimmäisen pilot-tehtaan rakentamiselle Savonlinnaan mukaan lukien raaka-aineena käytettävän hiilidioksidin talteenotto savukaasuista. Kolmantena osiona selvitettiin alustavasti komposiittimateriaalin kaupallinen potentiaali ja markkinapotentiaali.

Laboratoriotutkimuksen perusteella mikroselluloosa/PCC-komposiitista valmistettu painoalusta on kriittisiltä ominaisuuksiltaan hyvä. Lämpötilan kesto komposiitilla on erinomainen, tuote kesti ilman havaittavia muutoksia yli 260 asteen lämpötilaa. Mittapysyvyyttä ei erikseen mitattu, mutta aiempien tutkimusten perusteella sen tiedetään korkean täyteainepitoisuuden komposiittiarkilla olevan hyvä. Pinnan sileys on hyvä (Ra 0,48 µm), vaikkakaan muovikalvon tasolle (0,2 µm) ei päästy. Roiskeveden kesto voidaan tehdä pintakäsittelyllä ja tuotteen ei havaittu pölyävän silmämääräisesti tehdyissä kokeissa. Lujuudet jäivät reilusti esimerkiksi kopiopaperin lujuuksista, mutta tämän ei arvioida olevan ratkaiseva ongelma. Paikallisen Louhen kalkkikaivoksen kalkilla arkin sileys jäi huonommaksi kuin vertailuarkissa, mutta tietyin muutoksin se soveltuu myös painoalustan raaka-aineeksi.

Teknisen selvityksen perusteella pienoistehtaan tuotantoprosessi on haasteellinen, muttei mahdoton toteuttaa. Investointikustannus itsessään on arvioitu 21 - 31 miljoonaksi euroksi. Selvityksen perusteella lopputuotteen hinnan on oltava 0,3 - 2 euroa neliöltä (2 - 13 €/kg) että toiminta on kannattavaa. Haarukan alapäässä vuosituotanto on 5000 tonnia ja yläpäässä 500 tonnia. Kaupallisen selvityksen perusteella polyimidipohjaiset materiaalit voidaan korvata biopohjaisella tuotteella, mutta tuotteen kriittisten ominaisuuksien on oltava riittävällä tasolla. Mikroselluloosa/PCC-komposiitilla hinta on jopa moninverroin alhaisempi kuin polyimidillä (n. 20 €/kg), mutta muiden ominaisuuksien osalta soveltuvuus olisi testattava käytännössä esimerkiksi painatuskokeella.

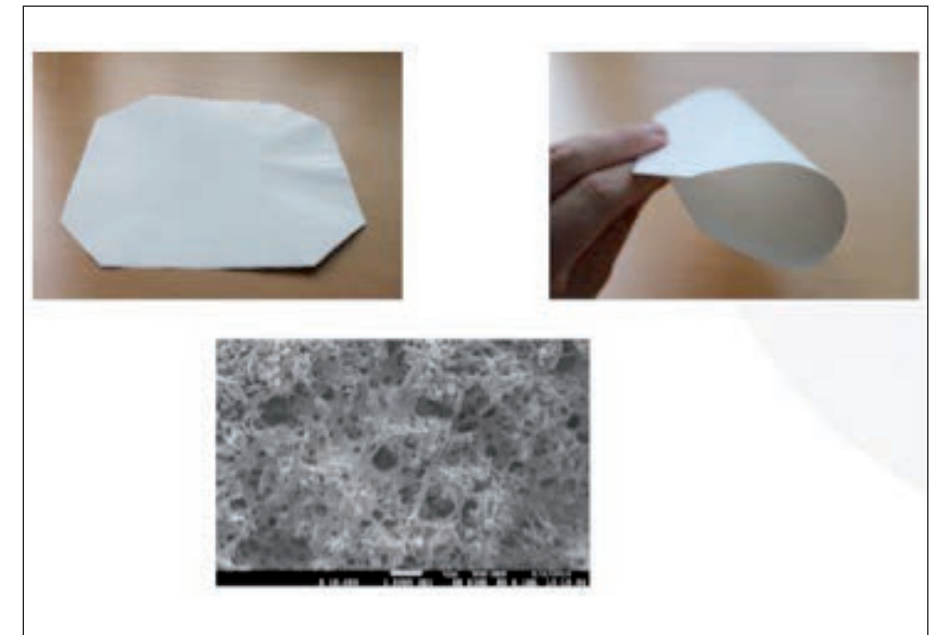
# SISÄLTÖ

<b>TIIVISTELMÄ</b>	<b>6</b>
<b>I TAUSTAA</b>	<b>10</b>
<b>2 TAVOITE</b>	<b>12</b>
<b>3 LABORATORIOTUTKIMUKSET</b>	<b>13</b>
3.1 Omaisen ja läheisen antama tuki ja hoito	13
3.2 Omaisen ja läheisen osallisuus ja erilaiset roolit	14
3.2.1 Materiaalit ja raaka-aineet	14
3.2.1.1. Selluloosa	14
3.2.1.2. Kalsiumhydroksidi ja PCC	15
3.2.1.3. Muut kemikaalit	15
3.2.2 Laboratorioarkkien valmistus	15
3.2.3 Analyysilaitteisto	16
3.2.4 Koesuunnitelma	17
3.3 Tulokset ja johtopäätökset	17
3.3.1 Sileys	19
3.3.2 Vedenpoisto	19
3.3.3 Lujuudet	22
3.3.4 Lämmönkesto	25
3.3.5 Roiskevedon sieto	29
3.3.6 Muut kokeet ja havainnot	30
3.4 Laboratoriotutkimuksen yhteenveto	34
<b>4 TEKNINEN JA KAUPALLINEN SELVITYS SEKÄ ASIANTUNTIJA-WORKSHOPIT</b>	<b>35</b>
<b>5 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET/ PROJEKTISUUNNITELMAN HAHMOTELMA</b>	<b>36</b>
<b>6 PROJEKTIN YHTEENVETO</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>40</b>
<b>LIITTEET</b>	<b>41</b>

# I TAUSTAA

Mikro- ja nanoselluloosa tutkimusta on tehty jo kymmeniä vuosia, mutta aivan viime vuosina tutkimus- ja patentointiaktiiviteetti on lisääntynyt alueella eksponentiaalisesti. Ko. tutkimuksissa keskitytään pääasiassa mikroselluloosan valmistusprosessiin sekä potentiaalsiin käyttökohteisiin. Lisäksi maailmalla on menossa eteenpäin useita eri hankkeita tutkimuslaitosten ja metsäteollisuuden toimesta pilotmittakaavan mikroselluloosa prosessien rakentamiseksi. Kaupallisten tuotteiden volyymi on tällä hetkellä vielä melko vaatimaton mutta metsäteollisuudella ja tutkimuslaitoksilla on vahva usko, että kaupallinen aktiiviteetti tulee lähiaikoina kasvamaan merkittävästi.

VTT:n ym. toimijoiden johdosta on lähiaikoina selvitetty täyteaine-mikroselluloosa komposiitin käyttöä painetun elektroniikan alustana, kuva 1 /1,2/. Tutkimuksissa on todettu materiaalin soveltuvuus ko. tarkoitukseen jolloin se toimisi lähinnä muoviperusteisten alustojen korvaajana. Valmistetun tuotteen hinta tulisi olemaan luokkaa 30 €/kg ja markkinat ovat vahvasti kasvussa. Ko. komposiitin valmistamista teollisuusmittakaavassa ei kuitenkaan ole tutkittu eikä tällaisia tutkimuksia myöskään ole tietävästi tällä hetkellä muiden toimesta suunnitteilla. Savonlinnassa on vahva osaamispotentiaali luoda konsortio (MAMK, Wetend Technologies, Nordkalk, Andritz, Jne...) aihealueen alustavaan selvittämiseen.



**KUVA 1. Mikroselluloosa-kalsiumkarbonaatti arkki /2/**

Mahdollisuus valmistaa rainattava ja rullattava tuote mikroselluloosasta toisi merkittävän edistysaskeleen mikroselluloosapohjaisten tuotteiden valmistuksen ja potentiaalisten uusien käyttökohteiden tutkimuksessa Suomessa ja kansainvälisesti. Pilot-laitoksen olemassa olo toisi siten esim. Savonlinnaan teollisen aktiiviteetin lisäksi erittäin merkittävän jalansijan olla mukana mikroselluloosan ja siitä valmistettavien rainattavien tuotteiden tutkimus- ja kehitystyössä. Mahdollinen vaihtoehto pilot tehtaan sijoittumiselle alueelle olisi Nordkalkin Louhen tuotantolaitosten yhteyteen koska täältä saataisiin suoraan tarvittava kalkkimaito ja hiilidioksidi. Projektissa selvitetään myös kyseisen kalkkilaadun soveltuvuutta ja kalkin tuotantoprosessin kehittämistarpeita ao. komposiitin raaka-aineeksi. Mallinnettavan tuotantolinjan koko on 10-20 000 kg/vrk ( 5 000 tonnia/vuosi) ja tuotteen neliömassa 80-150 g/m<sup>2</sup>. Ko. arvot tarkentuvat selvityksen edetessä.

## 2 TAVOITE

Projektin tavoitteena oli arvioida mahdollisuudet valmistaa ko. komposiittia teollisessa mittakaavassa sekä hahmotella alustavat prosessivaiheet ja näiden mitoitus kyseiselle valmistusprosessille. Projekti on jaettu kolmeen osaan, joista ensimmäinen sisältää laboratoriokokeet ja toinen teknisen esiselvityksen. Lisäksi selvitetään alustavasti komposiittimateriaalin kaupallinen potentiaali. Selvitystyön yhtenä tavoitteena on luoda edellytykset ensimmäisen pilot-tehtaan rakentamiselle Savonlinnaan mukaan lukien raaka-aineena käytettävän hiilidioksidin talteenotto savukaasuista. Painoalustan raaka-aineena käytettävä saostettu kalsiumkarbonaatti valmistetaan savonlinalaisen Wetend Technologies Oy:n In-line PCC-tekniikalla.

Olemassa olevien tutkimusten perusteella mikroselluloosa/PCC-komposiittista valmistettavan kalvon/materiaalin etuina ovat muun muassa alhainen pinnankarheus (alle raskaasti päällystetyn valokuvapaperin) ja korkean täyteainepitoisuuden tuoma mittapysyvyys. /1/ Tuote on lisäksi biopohjainen ja materiaalikustannuksiltaan merkittävästi edullisempi kuin muovipohjainen vertailutuote. Pidemmän aikavälin tavoitteena onkin että mikroselluloosa/PCC-komposiitilla voitaisiin korvata polyimidipohjaisia painoalustoja, vähintään joissakin sovelluskohteissa.

## 3 LABORATORIOTUTKIMUKSET

### 3.1 TAUSTAA JA TAVOITE

Painetun elektroniikan tutkimuksesta on vain vähän julkaisuja viimeisiltä vuosilta. Kotimaassa VTT ja metsäklusteri ovat julkaisseet mikroselluloosa-pohjaisen materiaalin valmistuksesta aihetta käsitteleviä tutkimuksia. /1, 3/ VTT:n vuonna 2010 julkaistussa tutkimuksessa mikroselluloosa/PCC-arkilla todettiin hyvä sileys. Korkea 80 prosentin täyteainepitoisuus taas aikaansai hyvän mittapysyvyyden. Nämä edut yhdessä edullisuuden kanssa lisäävät biopohjaisen painoalustan kiinnostavuutta.

Laboratoriotutkimuksen ja koko projektin lähtökohtana oli käyttää PCC:n valmistukseen In-line PCC-tekniikkaa, eli saostaa PCC suoraan kuituspensiossa kiinni mikroselluloosafibrilleihin. Entuudestaan tiedetään, että kiteytymisreaktion tapahtuessa kuituspensiossa PCC kiteytyy pääasiassa selluloosafibrilleihin. Jopa 98 % syntyvästä PCC:stä on todettu kiinnittyvän nimenomaan fibrilleihin. /4/ Luja mekaaninen kiinnittyminen fibrilleihin mahdollistaa komposiittirakenteen, jolla korkeat täyteainepitoisuudetkin ovat toteutettavissa. /5/ Menetelmän hyötyjä selvitettiin vertaamalla kaupallista, skalenodristä PCC:tä laboratorioreaktorissa valmistettuun In-line PCC:hen painoalustan ominaisuuksien ja vedenpoiston osalta.

Laboratoriotutkimuksen tavoitteena oli selvittää millaiset ominaisuudet mikroselluloosa/PCC-komposiitilla on, ja kuinka hyvin sen arvioidaan soveltuvan painetun elektroniikan alustaksi. Laboratorioarkkien tärkeimmät mitatut ominaisuudet olivat sileys, lujuudet ja vedenpoisto. Tämän lisäksi arvioitiin lämpötilan ja roiskeveden sietoa.

## 3.2. MATERIAALIT JA MENETELMÄT

### 3.2.1 MATERIAALIT JA RAAKA-AINEET

#### 3.2.1.1 Selluloosa

##### *Mikroselluloosa*

Laboratoriokokeissa käytettiin pääasiassa VTT:n jauhamaa mikroselluloosaa. VTT valmistaa mikroselluloosan jauhamalla sitä valkaistusta koivusulfaattisel-lusta Masuko-jauhimella.

TAULUKKO 1. Käytetyn Mikroselluloosan tiedot.

LAATU	LÄHTÖAINE	JAUHIN	KUIVA-AINE	PH
VTT Coarse, standard medium	Kuivattu koivusulfaatti	Masuko MKZA10-15J	2,0 %	5,77

TAULUKKO 2. Käytetyn Mikroselluloosan arvoja.

	YIELD* STRESS	VISCOSITY*, 0.5 RPM	VISCOSITY*, 10 RPM
	Pa	mPa*s	mPa-s
AVG	69±2	524728±6424	46117±272

\*Brookfield RVDV-III+, V73 vane spindle, 1.5%, T=20°C.

Toinen testattu mikroselluloosa oli kaupallista mikroselluloosaa. Sen toimitti saksalainen J.Rettenmaier & Söhne. Kaupallinen nimi tuotteelle on Arbocel UFC-100. Kyseinen mikroselluloosa jauhetaan paalitavarasta kuivana. Valmistajan mukaan kuidut ja fibrillit ovat keskimäärin noin 8 mikrometrin palasina. Kyseessä on heikosti sidoksia muodostava mikroselluloosa.

##### *Jauhamaton selluloosa*

Kokeissa mikroselluloosan joukkoon lisättiin jauhamatonta koivusulfaattisel-lua, joka märkähajotettiin kuitulaboratoriolla kokeisiin kuivasta selluarkista.

##### *Jauhettu selluloosa*

Kokeissa käytetty jauhettu sellu valmistettiin jauhamalla valkaistua ja kuivattua koivusulfaattisel-lua laboratorijauhimella (IKA Magic Lab). Massan SR-luku jauhatuksen jälkeen oli 95.

### 3.2.1.2 Kalsiumhydroksidi ja PCC

##### *Kalsiumhydroksidi*

Kokeissa pääasiassa käytetty kalsiumhydroksidi toimitettiin valmiiksi sammutettuna ja nestemäisenä kalkkimaitona. Koska kaavailtu pienoistehtaan sijoituspaikka olisi Savonlinnan Louhi ja pienoistehdas käyttäisi paikan päältä saatavaa kalkkia, vertailuun otettiin myös Louhen kalkkikaivoksen kalsiumhydroksidia. Tämä kalsiumhydroksidi oli hydraattimuodossa ja se lietettiin kokeita varten kalkkimaidoksi.

##### *PCC*

Valmis saostettu kalsiumkarbonaatti oli kidemuodoltaan skalenodristäjä sitä käytettiin vertailupisteissä.

### 3.2.1.3 Muut kemikaalit

##### *Tärkki*

Käytetty tärkki oli Hi-Cat 5103A. Tärkki valmistettiin kokeisiin keittämällä se koepäivän aamuna.

### 3.2.2 LABORATORIOARKKIEN VALMISTUS

Laboratorioarkkien valmistuksen ensimmäinen vaihe oli täyteaineen valmistus mikroselluloosan joukkoon. Karbonointi toteutettiin Kuitulaboratorion laboratorioreaktorissa. Reaktoriin lisättiin mikroselluloosasuspensio, kalkkimaito ja hiilidioksidi. Lopputuloksena syntyy saostettua kalsiumkarbonaattia pääasiassa suoraan kiinni mikroselluloosakuituihin.

Mikroselluloosapohjaisen rainattavan materiaalin valmistuksesta löytyy vain yksittäisiä julkaisuja. Laboratoriomittakaavainen valmistus päätettiin käytännön syistä tehdä imusuppilossa suodatinpaperille. Tällä varmistettiin käytännössä 100% retentio. Valmis massa kaadettiin imusuppiloon suodatinpaperin päälle. Vedenpoisto tapahtui muutaman minuutin kuluessa, jonka jälkeen raina voitiin märkäpuristaa. Puristimesta arkit nostettiin pikakuivuriin, jonka lämpötila oli noin 160 astetta. Kuivauksen jälkeen suodatinpaperi irrotettiin arkista.

Arkit kalanteroitiin laboratorioskalanterilla. Nipin paine oli noin 30 bar, telojen lämpötila noin 100 astetta ja arkki läpäisi nipin kaksi kertaa puoleltaan.



### 3.2.3 ANALYYSILAITTEISTO

#### *Jauhatusaste*

Selluloosan jauhatuste määritettiin Kuitulaboratorion Shopper&Riegler-laitteella.

#### *Pinnankarheus(sileys)*

Arkien sileys määritettiin mittaamalla pinnankarheus (Ra). mitattiin mekaanisella pinnankarheusmittarilla. Laitteen merkki ja malli on Mitutoyo SJ-201.

#### *Vetolujuus*

Vetolujuus /vetoindeksi määritettiin Lorentzen & Wettre Atwetron TH1 -mittalaitteella.

#### *Repäisylujuus*

Repäisylujuudet mitattiin Lorentzen & Wettre Tearing Testerillä.

#### *Optiset arvot*

Optiset arvot määritettiin Lorentzen & Wettre Elrepho:lla.

#### *Lämpötilan kesto*

Lämpötilan sietoa tutkittiin Kuitulaboratorion tuhkausuunilla. Uunin lämpötilaa nostettiin 10 minuutin välein haluttuun arvoon ja näytteet pidettiin uunissa koko lämmityksen ajan. Näytteet valokuvattiin alussa ja 10 minuutin välein oltuaan erilaisissa lämpötiloissa. Käytetyt lämpötilat olivat 180, 220 ja 265 astetta.

### 3.2.4 KOESUUNNITELMA

Ensimmäisessä koesarjassa selvitettiin imukartongin ja metallilevyn vaikutusta arkin sileyteen kuivattaessa sekä testattiin vaikutuksia ominaisuuksiin, kun arkki kuivataan suodatinpaperin kanssa. Muita tutkimuskohteita olivat tärkein erilaiset annostelumäärät (1 - 50 kg/t), erilaisten kuitufraktioiden vaikutus lopputuotteen ja perinteisen PCC:n ero In-line PCC:hen. Toisessa koesarjassa keskityttiin vedenpoistoon. Mikroselluloosan määrä per arkki pidettiin vakiona ja tutkittiin kuinka lisääntyvä täyteainepitoisuus vaikuttaa vedenpoistoon. Arkkeja ei kuivattu. Kolmannessa sarjassa neliömassa jälleen vakioitiin ja testattiin tarkemmin erilaisen tuhkapitoisuuden merkitystä. Lisäksi testattiin Louhen kuivasammutetun kalkin soveltuvuus ja veteen karbonoidun In-line PCC:n lisäys arkkiin.

TAULUKKO 3. Koesarja 1.

KOE-PISTE	KUITU	TUHKA	TÄYTE-AINE	NELIÖ-MASSA	MUUTA
0	MFC 100%	80	PCC	100	-
1			In-line PCC	100	-
1 B			In-line PCC	100	Imukartonki, ei metallilevyä
2			In-line PCC	150	-
3			In-line PCC	200	-
4			In-line PCC	250	-
5			In-line PCC	100	Suodatinpaperi
6			In-line PCC	100	Tärkki 1 kg/t
7			In-line PCC	100	Tärkki 10 kg/t
8			In-line PCC	100	Tärkki 50 kg/t
9		70	In-line PCC	100	-
10		90	In-line PCC	100	-
11	MFC 70 – jauhattu sellu 30	80	In-line PCC	100	-
12			PCC	100	-
13	MFC 70 – jauhamaton sellu 30		In-line PCC	100	-
14			PCC	100	-
15	MFC 30 – jauhattu sellu 70		In-line PCC	100	-
16			PCC	100	-
17	jauhattu sellu 100 %		In-line PCC	100	-
18			PCC	100	-

TAULUKKO 4. Koesarja 2, josta mitattiin vain vedenpoistoon kulunut aika.

KOE-PISTE	KUITU	TUHKA	TÄYTE-AINE	NELIÖ-MASSA, G/M2	MFC:N MÄÄRÄ, G/M2	PCC:N MÄÄRÄ, G/M2
20	MFC 100%	0		30	30	0
21		20	In-line PCC	37,5	30	7,5
22		40		50	30	20
23		50		60	30	30
24		60		75	30	45
25		70		100	30	70
26		80		150	30	120
27		90		300	30	270
21B		20	PCC	37,5	30	7,5
22B		40		50	30	20
23B		50		60	30	30
24B		60		75	30	45
25B		70		100	30	70
26B		80		150	30	120
27B		90		300	30	270

TAULUKKO 5. Koesarja 3.

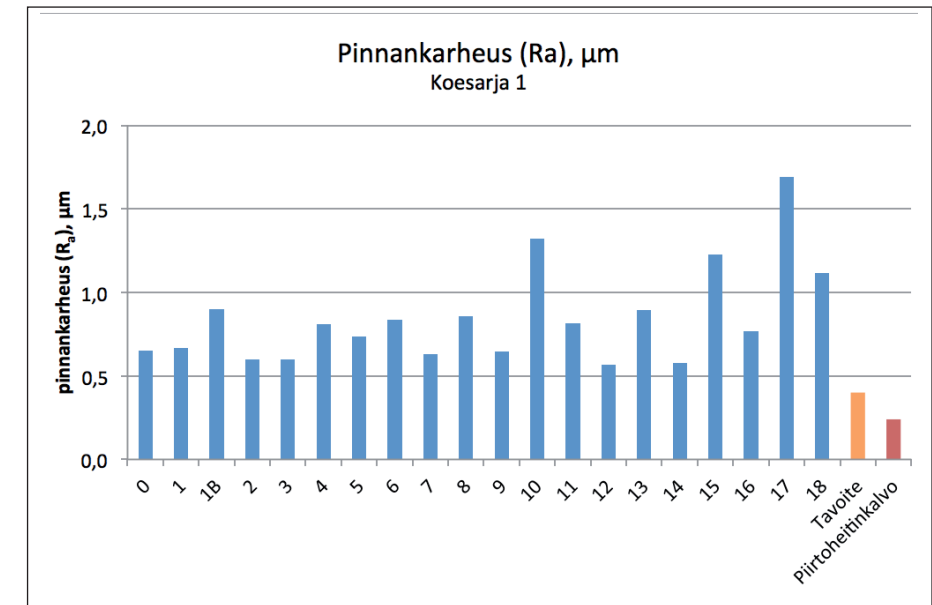
KOE-PISTE	KUITU	TUHKA	TÄYTE-AINE	NELIÖ-MASSA, G/M2	MFC:N MÄÄRÄ, G/M2	PCC:N MÄÄRÄ, G/M2	MUUTA
30	MFC 100%	0	In-line PCC	150	150	0	
31		20			120	30	
32		40			90	60	
33		50			75	75	
34		60			60	90	
35		70			45	105	
36		80			30	120	
37		90			15	135	
40		80			30	120	Louhen kalkki
41		80			30	120	Veteen karbonoitu PCC
42		80			30	120	In-line PCC

### 3.3 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

#### 3.3.1 SILEYS

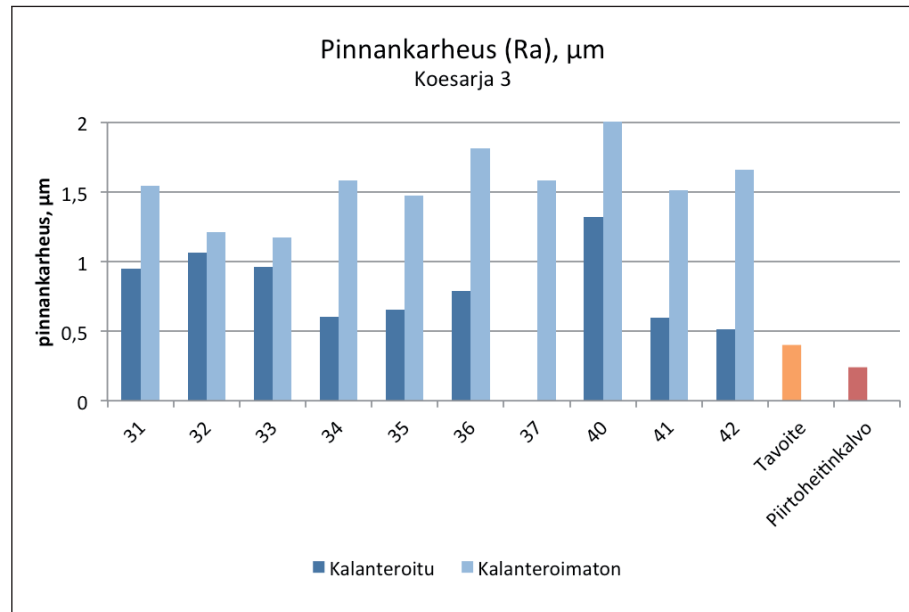
Arkkiens sileys määritettiin mittaamalla pinnankarheus (Ra). mitattiin Savonlinnassa Ket-Met Oy:n pinnankarheusmittarilla. Laitteen merkki ja malli on Mitutoyo SJ-201. Laite on mekaaninen, toisin sanoen sileyden mittaus perustuu ohuen neulamaisen kärjen liikuttamiseen näytteen pinnalla. Jokaisesta näytepalasta mitattiin viisi tulosta, joiden keskiarvoja on käytetty tuloksissa. VTT:n aiemmassa tutkimuksessa käyttämä laitteisto oli optinen profilometri. Sileydet mitattiin jokaisesta koepisteestä. Ensimmäisessä koesarjassa tarkasteltiin neliöpainon vaikutuksia silyteen, perinteisen PCC:n ja In-line PCC:n eroja, tärkein lisäyksen vaikutusta ja erilaisten kuitufraktioiden merkitystä silyksiin.

Tavoitesileydeksi asetettiin pinnankarheusarvoltaan 0,4 (Ra, µm). Esimerkiksi VTT:n Substral-projektissa paras mikroselluloosa/PCC-arkin sileys oli 0,29. Muovipohjaisista tuotteista mitattiin piirtoheitinkalvon sileämpi puoli, sen pinnankarheus oli 0,24.



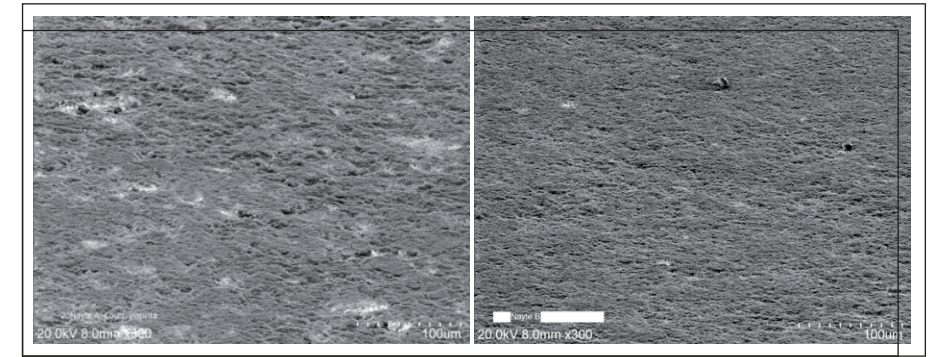
KUVA 1. Sileydet kalanteroiduista arkeista koesarjassa 1.

Pinnankarheus oli parhaimmillaan tässä sarjassa noin 0,6. Pitkä, perinteinen selluloosakuitu nosti pinnankarheutta koearkeissa. Perinteisen PCC:n (KP 0) ja In-line PCC:n (KP 1) välillä ei juurikaan ollut eroa kun kuituna käytettiin mikroselluloosaa. Pitkää kuitua lisättäessä perinteistä PCC:tä sisältävät arkit olivat sileämpiä.



**KUVA 2. Sileydet kalanteroiduista arkeista koesarjassa 2.**

Sileydet toisessa koesarjassa esitetty alla. Koepisteet 31-37 ovat samaan, 150 gramman neliöpainoon tehtyjä arkkeja. Arkkien tuhkapitoisuus vaihteli 20 prosentista 90 prosenttiin koepisteen 31 ja 37 välillä. Koesarjassa 3 paras sileys saavutettiin koepisteessä 42, joka tehtiin lopuksi optimoimalla valmistusolosuhteet. Kyseinen arkki sisälsi 80% In-line PCC:tä ja 20% mikroselluloosaa. Louhen kalkkia sisältävällä arkilla pinnankarheus jäi korkeaksi (1,3). Selitys on todennäköisesti kuivasammutetun kalkin sisältämässä karkeahkossa sivukivessä. Arkeista otettiin pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvat Mikpolis Oy:llä Mikkelissä.



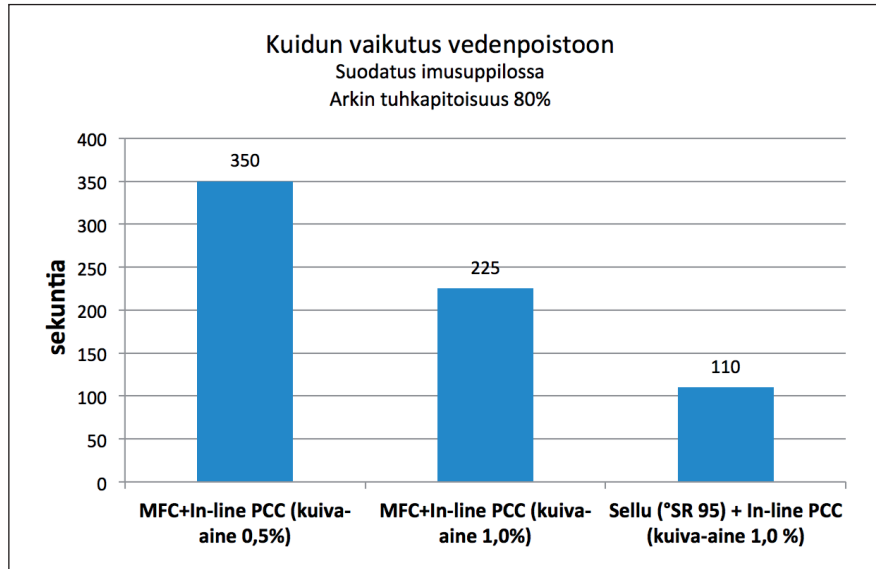
**KUVA 3 ja 4. SEM-kuva laboratorioarkeista. Vasemmalla Louhen kalkkia sisältävä arkki, oikealla vertailuarkki, jonka valmistukseen on käytetty sykloinoitua kalkkimaitoa. Pinnankarheus (Ra) Louhen arkissa 1,3 ja vertailuarkissa 0,5.**



**KUVA 5. Arkkeja koesarjasta 3. Arkkien sileys paranee sitä mukaa kun täyteainepitoisuus kasvaa.**

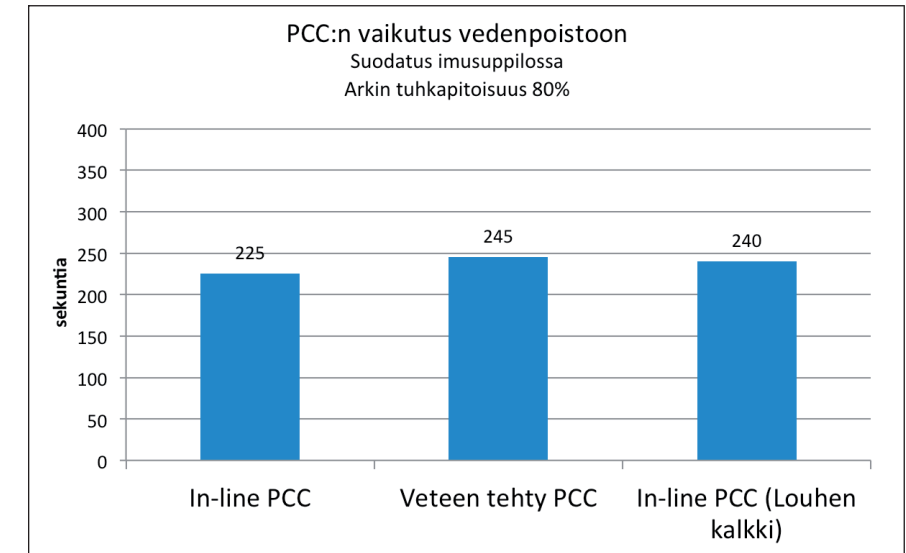
### 3.3.2 VEDENPOISTO

Vedenpoistoa tutkittiin mittaamalla bühner-imusuppilossa suotautumiseen kuluva aika. Suotautumisen katsottiin olevan loppu, kun vesipisaroiden valumaväli arkkiä tehtäessä oli kasvanut viiteen sekuntiin.



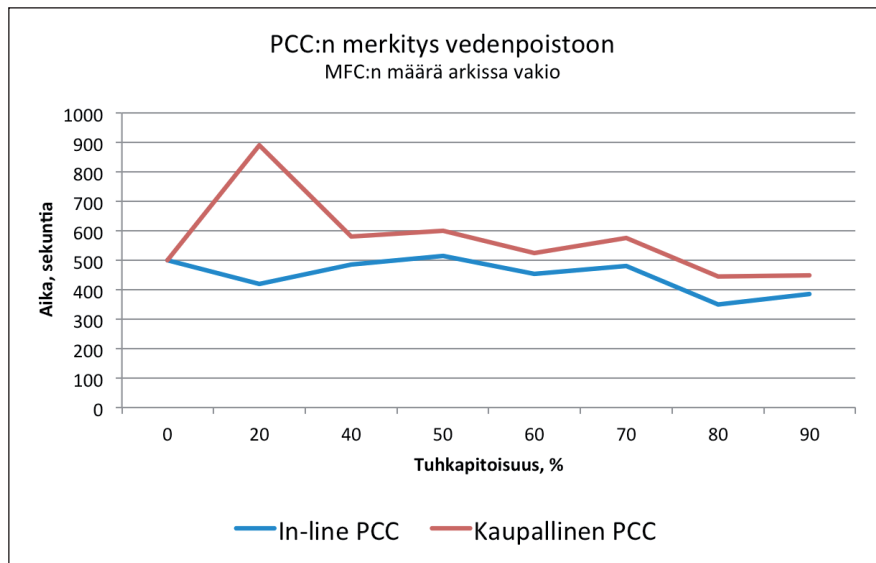
**KUVA 6. Kuidun ja kuiva-aineen merkitys vedenpoistoon. Lämpötila 25 astetta, arkin neliömassa 100 grammaa.**

Mikroselluloosaa sisältävällä arkilla suotautumisaika on yli kaksinkertainen pitkälle (°SR 95) jauhettua selluloosaa sisältävään arkkiin. Korkeampi kuiva-aine alussa vähentää vedenpoiston tarvetta, jolloin myös suotautumisaika lyhenee.



**KUVA 7. Täyteaineen vaikutus vedenpoistoon. Massan kuiva-aine alussa 1 %, lämpötila 25 astetta, arkin neliömassa 150 grammaa.**

Erot vedenpoistoajoissa ovat pieniä. In-line PCC:llä vedenpoisto on hieman nopeampaa kuin erikseen lisättyä veteen karbonoidulla PCC:llä ja louhen kalkin tai vertailukalkin väliltä ei suuria eroja löytynyt.

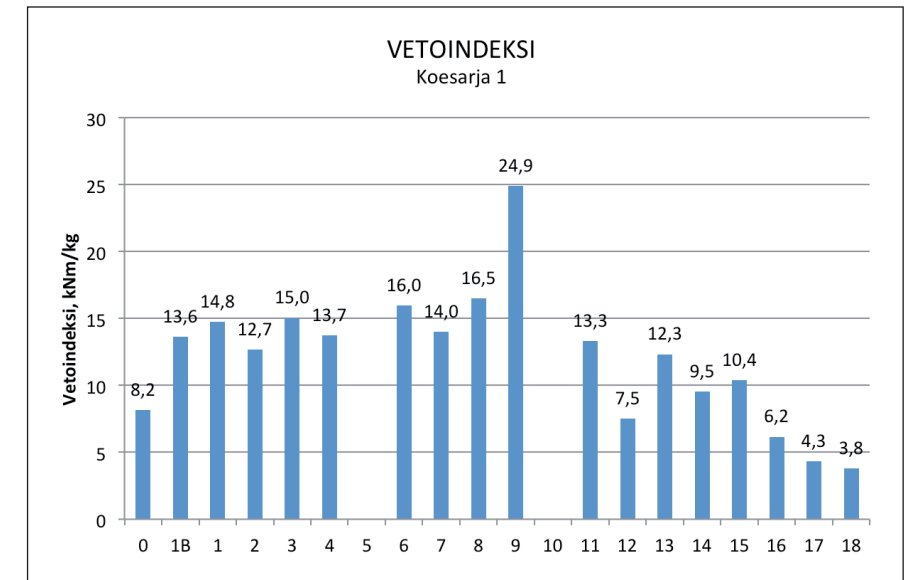


**KUVA 8. Täyteaineen vaikutus vedenpoistoon. Kuitu MFC:tä.**

Kuvassa 7 on esitetty In-line PCC:tä ja skalenoedristä PCC:tä sisältävien arkien suotautumisajat. Mikroselluloosan määrä per arkki on pidetty vakiona ja ainoa muuttuja on ollut kasvava täyteainepitoisuus. Suotautumisajat ovat silti melko pitkät, yli 5 minuuttia per arkki. Täyteainepitoisuuden kasvaessa vedenpoisto nopeutuu hieman. In-line PCC:llä saavutettiin perinteistä PCC:tä nopeampi vedenpoisto, paikoin noin 20 % nopeampi. Eron arvellaan syntyvän PCC:n mekaanisesta kiinnittymisestä fibrilleihin In-line PCC:llä, jolloin irrallista PCC-kidettä on vähemmän. Irrallinen PCC voi kulkeutua kanaviin ja huokosiin josta vesi poistuu, hidastaen vedenpoistoa.

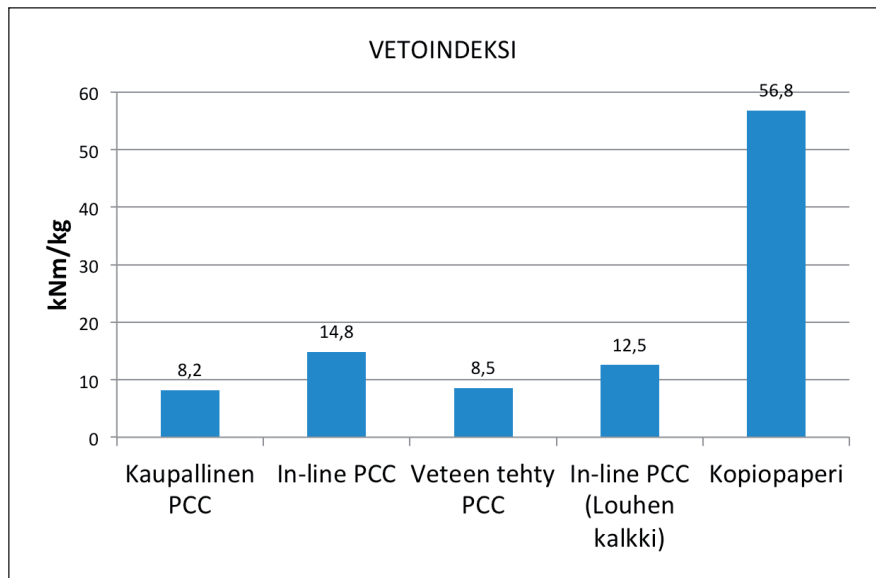
### 3.3.3 LUJUUDET

Arkkien lujuudet määritettiin mittaamalla veto- sekä repäisyindeksit. Lujuudet mitattiin kattavasti koesarjasta 1 ja valikoidusti muista koepisteistä.

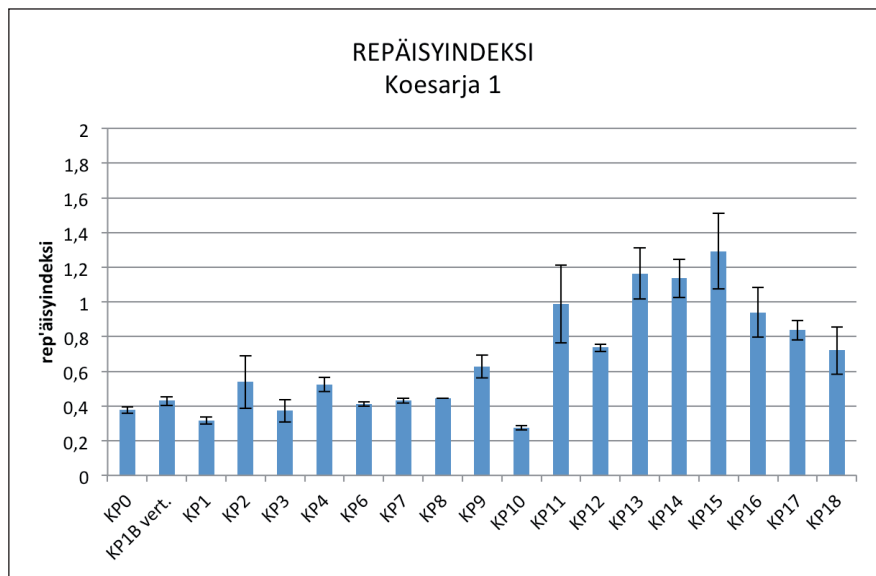


**KUVA 9. Vetoindeksit koesarjassa 1.**

Koesarjassa 1 nähdään, että vetolujuuden paranevat merkittävästi In-line PCC:tä sisältävillä arkeilla (KP 0 vs KP 1). Paras vetolujuus saavutettiin koepisteessä 9, jossa täyteainepitoisuus oli 70 %. Koepisteessä 10 täyteainepitoisuus oli 90 % ja arkki oli niin hauras, ettei siitä saatu mitattua vetolujuutta. Koepisteen 5 tiedot puuttuvat, koska kyseisessä pisteessä arkki kuivattiin suodatinpaperin ollessa kiinni. Vetolujuus ei parantunut juurikaan lisäämällä tärkin annostusta (koepisteet 6, 7 ja 8). Vetolujuus on heikoin pitkälle jauhetulla sellulla, koepisteet 17 ja 18. Kuvassa 10 näkyy, kuinka paljon korkeampi on kopiopaperin vetolujuus.

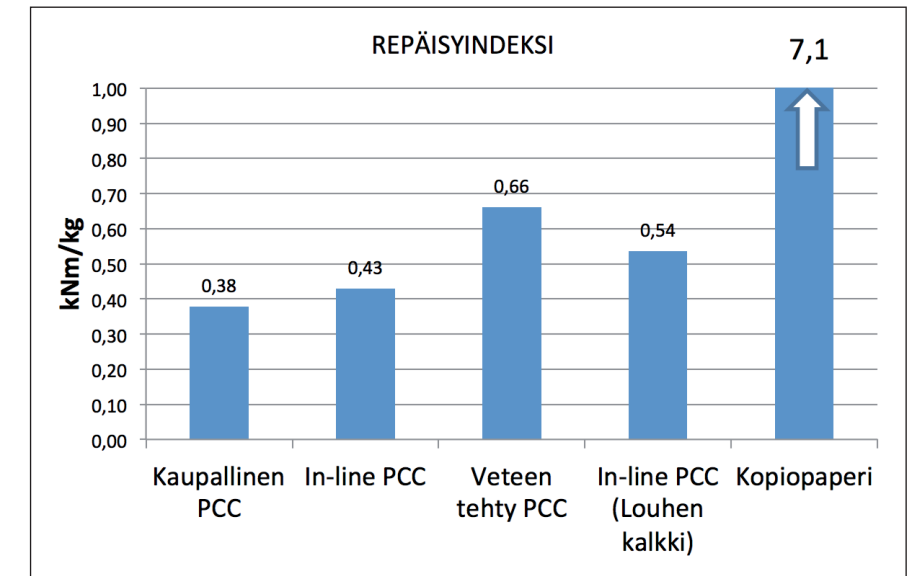


KUVA 10. Vetoindeksit vertailussa.

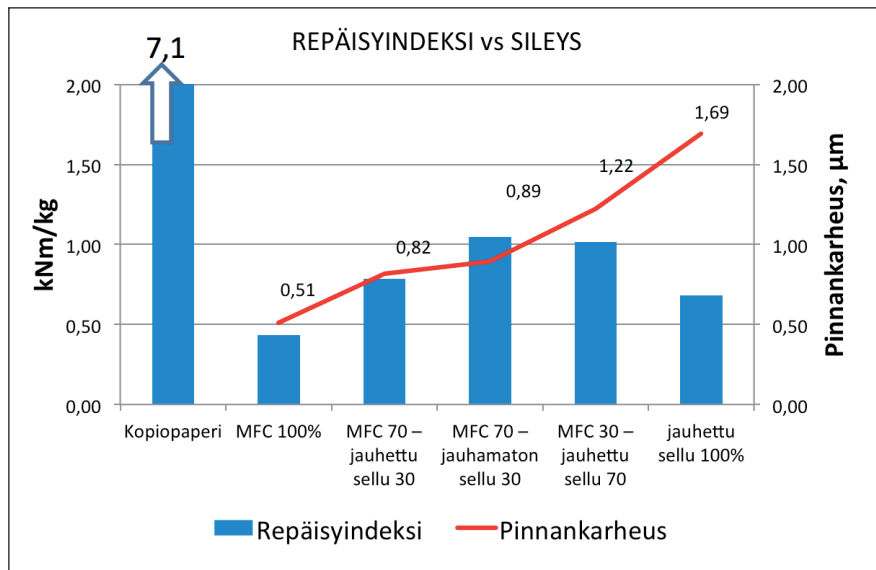


KUVA 11. Repäisyindeksit koesarjassa 1.

Repäisylujuuksien osalta pitkää kuitua sisältävien arkkien repäisylujuus paranee. In-line PCC:llä repäisylujuudet ovat samalla tasolla tai marginaalisesti paremmat kuin skalenoodrisella PCC:llä.



KUVA 12. Repäisyindeksit suhteutettuna kopiopaperin vastaavaan.



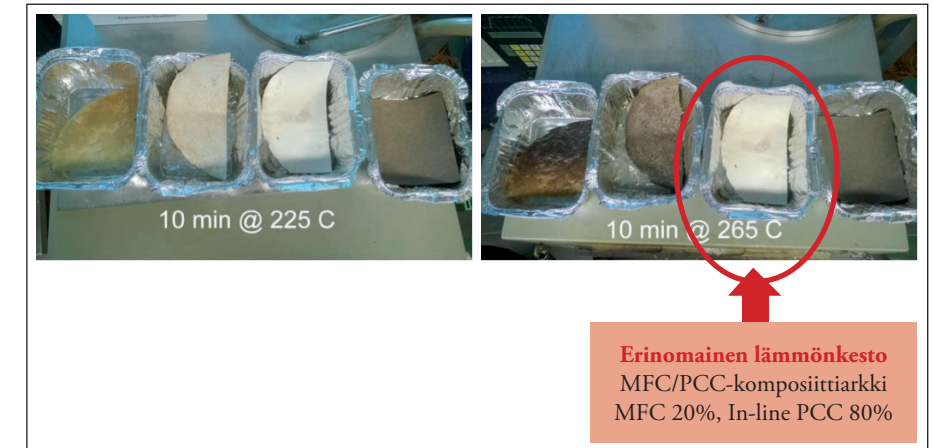
KUVA 13. Repäisyindeksin ja pinnankarheuden yhteys. Lisäämällä pitkää kuitua repäisyjuuutta voidaan parantaa, mutta samalla arkin sileys heikkenee nopeasti. Kopiopaperista ei valitettavasti ole sileysarvoa.

### 3.3.4 LÄMMÖNKESTO

Arkkien lämpötilan kesto määritettiin lämmittämällä 4 eri näytettä tuhkausuunissa. Arkit sisälsivät 0, 40 ja 80 % täyteainetta. Vertailun vuoksi mukana oli kopiopaperia. 80 % täyteainetta sisältävä arkki kesti yli 260 asteen lämpötilaa erinomaisesti. Arkissa ei ollut havaittavissa selkeää haurastumista. Ruskea tahra arkissa on palanut sormenjälki.



KUVA 14 ja 15. Lähtötilanne ja tilanne 10 minuutin jälkeen.



KUVA 16 ja 17. Näytteet lämpötilan noston jälkeen.

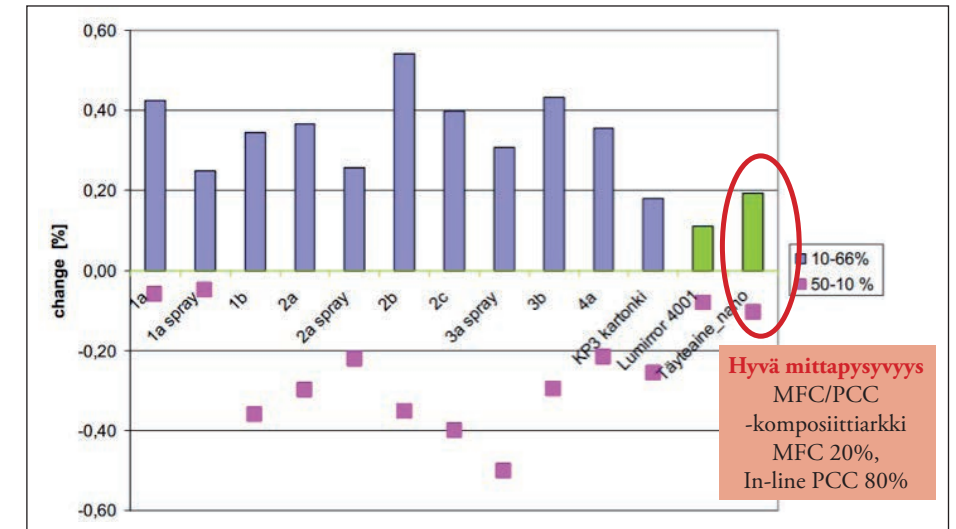


KUVA 18. Käsittelemätön 80% PCC:tä sisältävä arkki ja AKD-liuoksella käsitelty, 80% PCC:tä sisältävä arkki.

### 3.3.6 MUUT KOKEET JA HAVAINNOT

#### Mittapysyvyys

Mittapysyvyyttä ei tämän selvityksen puitteissa mitattu erikseen, mutta MFC/PCC-komposiitilla se oli hyvällä tasolla VTT:n tutkimuksessa jossa dimensiomuutokset määritettiin Optidim-laitteella. 50 % -> 10% ja 10% -> 66% RH muutoksia pidetään olennaisimpina painetun elektroniikan tuotteissa. /1/ Näillä dimensiomuutokset olivat melko hyvällä tasolla MFC/PCC-komposiit- tiarkilla. Muutokset olivat hieman suurempia kuin muovipohjaisella verrokillä.



KUVA 19. Sovellusten kannalta olelliset dimensiomuutokset suhteellisen kosteuden funktiona. /1/ Mikroselluloosa/PCC-arkki on ”Täyteaine\_nano”. Arkki sisälsi 20% mikroselluloosaa ja 80% PCC:tä.

#### Kaupallinen mikroselluloosa, J. Rettenmaier & Söhne UFC-100

Rettenmaier UFC-100-mikroselluloosasta tehtiin myös laboratorioarkit, mutta kokeessa paljastui heti kyseisen mikroselluloosan huono sidoskyky. UFC-100 jauhetaan kuivana ja se on hyvin hienoa. Edustajan (Finnpool Oy) mukaan fibrillin ja kuidun palaset ovat keskimäärin alle 8 mikrometrin kokoisia. Koe osoittaa että mikä tahansa mikroselluloosa ei sovellu elektroniikan painoalustan valmistukseen.



KUVA 20 ja 21. UFC-100-mikroselluloosaa sisältävä arkki.



### *Pölyävyys*

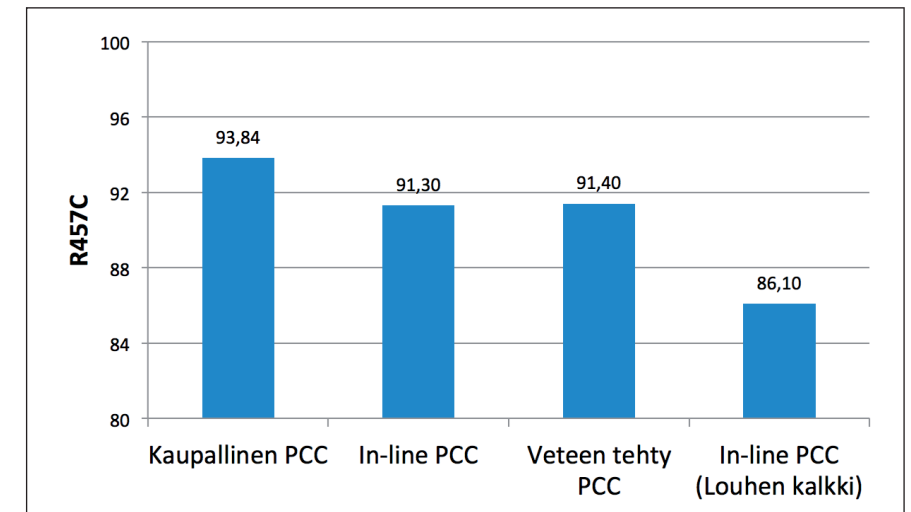
Elektroniikan painoalusta ei saa pölytä, jotta mahdollinen painomuste pysyisi hyvin paikallaan. Painoalustojen pölyämättömyyttä selvitettiin pyyhkimällä kalanteroidun laboratorioarkin pintaa mustalla kankaalla. Kankaaseen ei näyttäisi tarttuvan valkoista kalsiumkarbonaattia pienellä hankauksella.



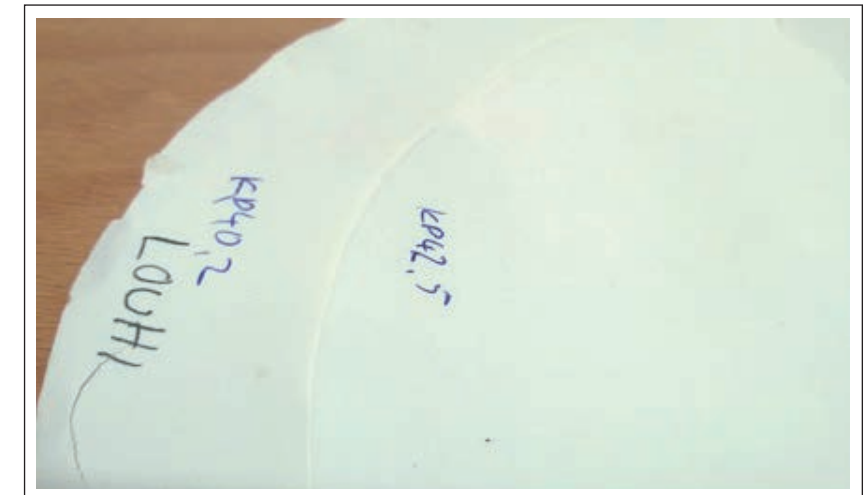
**KUVA 22 ja 23. Painoalustaa (KP42) hangattiin mustalla kankaalla, kankaaseen ei tarttunut valkoista pölyä.**

### *Vaaleus*

On arvioitu, että painoalustan vaaleus tai läpinäkyvyys ei ole kriittinen suure. Kuvassa 23 on esitetty muutamien arkkien vaaleuksia. Kuvasta nähdään että Louhen kalkilla arkin vaaleus jää alhaisemmaksi, mutta sen ei tässä käyttötarkoituksessa katsota olevan ongelma.



**KUVA 24. Laboratorioarkkien vaaleusarvoja.**



**KUVA 25. Laboratorioarkit rinnakkain, Louhen kalkkia sisältävässä näytteessä vaaleus ei ole yhtä korkea kuin vertailuarkissa.**

### 3.4 LABORATORIOTUTKIMUKSEN YHTEENVETO

Laboratoriokokeiden perusteella voidaan arvioida, että kriittisiltä ominaisuuksiltaan valmistetut laboratorioarkit ovat hyvällä tasolla. Lopullinen soveltuvuus elektroniikan painoalustaksi selviää vasta painatuskokeessa. Lämmönkesto oli selkeästi erinomaisella tasolla ja on etu mietittäessä potentiaalisia käyttökohteita. Mittapysyvyyttä ei tässä selvityksessä mitattu, mutta VTT:n tutkimuksesta tiedetään että korkean, 80 % täyteainepitoisuuden arkilla se on hyvällä tasolla, joskin ei yhtä hyvä kuin muovipohjaisella verrokillaan. /1/

**TAULUKKO 6. Yhteenveto ominaisuuksista.**

OMINAISUUS	TILANNE	VOIDAANKO PARANTAA?
Sileys	OK (0,48 µm)	Todennäköisesti
Vedenpoisto	OK -	Kyllä
Vetolujuus	OK	Ei tarvetta
Repäisyjuuus	OK	Kyllä
Lämmönkesto	OK +	Tarvittaessa
Mittapysyvyys	OK	
Hydrofobisuus	OK	Kyllä
Pölyävyys	OK	

Lisäksi voidaan todeta, että PCC:n valmistukseen kaavailtu In-line PCC tuo etuja kaupalliseen PCC:hen nähden. Laboratoriokokeiden perusteella In-line PCC:llä saavutetaan seuraavat hyödyt skalenodriseen PCC:hen nähden:

- Vetolujuus kasvaa merkittävästi
- Vedenpoisto paranee (kun sama kuiva-ainepitoisuus)
- Repäisyjuuus paranee hieman
- Sileys paranee hieman (lukuunottamatta arkkeja, joissa paljon pitkää kuitua)

Louhen kalkilla tehdyt laboratorioarkit olivat ominaisuuksiltaan pitkälti vertailukalkilla tehtyjen arkkien tasolla. Sileyden osalta Louhen kalkki jäi muista arkeista, minkä uskotaan johtuvan kuivasammutetun kalkin sisältämästä sivukivestä. Karkea sivukivi on poistettavissa lajittelemalla lietetty kalsiumhydroksidi. Muuta estettä käyttä Louhen kuivasammutettua kalkkia ei löytynyt.

## 4. TEKNINEN JA KAUPALLINEN SELVITYS SEKÄ ASiantuntija-WORKSHOPIT

Tekninen selvitys teetettiin ostopalveluna Wetend Technologies Oy:llä. Kaupallinen selvitys teetettiin ostopalveluna VTT:llä, liite 1. Osana ko. selvityksiä projektissa toteutettiin myös kaksi asiantuntija Workshopia. Workshoppien ohjelmat ja raportit on koostettu liitteeseen 2. Yhteenveto teknisestä ja kaupallisesta selvityksestä sekä workshoppeista on esitetty kohdassa 7. projektin yhteenveto.

## 5. JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Projektin pohjalta näyttää siltä, että mikroselluloosapohjaisten uusien tuotteiden kehittämisessä on pitkällä jännteellä valtavasti potentiaalia. Kehitystyö omaa valtavia haasteita mutta myös valtavasti mahdollisuuksia kehittää hyvin erilaisia tuotteita eri tyyppisille ja laajuisille markkinoille. Tämän johdosta päätettiin jo ennen projektin loppua toimintaan osallistuneiden instanssien kanssa suunnitella laajempi konsortiohanke jossa valittuihin tutkimuksellisiin aiheisiin tartutaan laajemmalla osaamisella useamman tutkimusinstanssin toimesta. Syksyn 2014 Bioinka ohjelmaa silmälläpitäen laadittiin konsortiohanke seuraavien osapuolten yhteistyönä:

- MAMK/FiberLaboratory, Jari Käyhkö, Petteri Paananen, Tapio Tirri
- LUT/Chemtech/Material Physics, Kari Ullakko
- ISY/Wood Science, Ari Pappinen, Antti Haapala
- VTT/Janne Keränen, Panu Lahtinen
- OYO/ Henriikki Liimatainen
- Aalto CHEM/ Biotuotteiden prosessit, Thad Maloney

Konsortion rinnakkaishankkeiden yhteenlaskettu budjetti oli 2,5 M€. Projektin perusideana on tehdä alueen tutkimustoimintaa tuoteorientoituneesti: optimoidaan raaka-aineita ja tuotantoprosesseja sekä haetaan selkeitä käyttökohteita ja uusia tuotteita tuotespesifikaatioineen. Lisäksi tutkitaan mahdollisuuksia tuottaa mikroselluloosapohjaiselle komposiitille aivan uusia funktionaalisia, esim. sähköisiä tai magneettisia ominaisuuksia sekä selvitetään ko. funktionaalisten tuotteiden markkinoita ja tuotteistusta.

## 6. PROJEKTIN YHTEENVETO

Projektin tavoitteena oli arvioida mahdollisuudet valmistaa mikroselluloosa/PCC-komposiittia teollisessa mittakaavassa sekä hahmotella alustavat prosessivaiheet ja näiden mitoitukset kyseiselle valmistusprosessille. Lisäksi tavoitteena oli määrittää saavutettavat ja tarvittavat tuotteen tilasuureet sekä kaupallinen potentiaali. Projekti jaettiin kolmeen osaan; laboratoriokokeet ja yleiset (kirjallisuus)selvitykset tekninen selvitys sekä komposiittimateriaalin kaupallisen potentiaalın selvitys. Kaksi jälkimmäistä näistä teetettiin ostopalveluna. Selvitystyön yhtenä tavoitteena oli myös luoda edellytykset ensimmäisen pilot-tehtaan rakentamiselle Savonlinnaan mukaan lukien raaka-aineena käytettävän hiilidioksidin talteenotto savukaasuista.

Laboratoriotutkimuksen perusteella mikroselluloosa/PCC-komposiitista valmistettu painoalusta on kriittisiltä ominaisuuksiltaan hyvä. Lämpötilan kesto komposiitilla on erinomainen, tuote kesti ilman havaittavia muutoksia yli 260 asteen lämpötilaa. Mittapysyvyyttä ei erikseen mitattu, mutta aiempien tutkimusten perusteella sen tiedetään korkean täyteainepitoisuuden komposiittiarvilla olevan hyvä. Pinnan sileys on hyvä (Ra 0,48 µm), vaikkakaan muovikalvon tasolle (0,2 µm) ei päästy. Roiskeveden kesto voidaan tehdä pintakäsittelyllä ja tuotteen ei havaittu pölyävän silmämääräisesti tehdyissä kokeissa. Lujuudet jäivät reilusti esimerkiksi kopiopaperin lujuuksista, mutta tämän ei arvioida olevan ratkaiseva ongelma.

Paikallisen Louhen kalkkikaivoksen kalkilla arkin sileys jäi huonommaksi kuin vertailuarkissa, mutta tietyin muutoksin se soveltuu myös painoalustan raaka-aineeksi. Komposiittituotteen valmistaminen In-line PCC -menetelmällä todettiin parantavan lujuuksia huomattavasti sekä vedenpoistoa hieman. Olettavasti In-line PCC menetelmällä voidaan parantaa myös retentio- ja pölyävyysominaisuuksia. Siten In-line PCC menetelmä voi olla olennainen tekniikka tuotteen valmistuksen kannalta ja se kannattaa ehdottomasti sisällyttää jatkotutkimuksiin.

Teknisen esiselvityksen perusteella valmistusprosessin vaikein osuus liittyy tuotteen rainaukseen ja vedenpoistoon. Tekniikoita mikroselluloosapohjaisen materiaalin rainaukseen on olemassa. Yksi on tasoviirille tapahtuva rainaus ja alle 10 prosentin kuiva-aineessa olevan massan fluidisointi ennen perälaatikon

huulta. Selvityksen perusteella rainaussakeuden tuleekin olla mahdollisimman korkea (esimerkiksi 7,5 %), jolloin poistettavan veden määrä pienenee. Selvityksessä tarkasteltiin Louhen kalkin soveltuvuutta prosessiin ja esiin ei noussut estettä käyttää sitä. Louhen sammutettu kalkki vaatii lieton jälkeisen lajittelun karkeamman sivukiven poistamiseksi.

5000 tonnin vuotuinen tuotanto keskeytymättömällä työaikamuodolla ja 7,5 % rainaussakeudella tarkoittaa noin 2,5 litran virtausta sekunnissa. Prosessiputken halkaisija voidaan laskea 50 millimetriin. Korkea kuiva-aine rainauksessa vaatii prosessipaineen nostamista In-line PCC:n valmistuksen yhteydessä. Metrin leveän koneen nopeus olisi noin 70 metriä minuutissa, kun valmistetaan neliömassaltaan 150 grammaista lopputuotetta. Valmiiksi annettujen lähtöoletusten ja laskentamallissa käytettyjen oletusten perusteella pienoistehaan investointikustannus olisi 21 – 31 miljoonaa euroa ja vuotuinen käyttökustannus 4,7 – 6,7 miljoonaa. Korkeampi investointiarvio sisältää mikroselluloosan valmistuslaitteiston. Samojen oletusten perusteella lopputuotteen vähimmäishinnan tulisi olla noin 2 euroa per kilo. 150 gramman neliöpainolla tuotteen minimihinta neliöltä olisi hieman alle 30 senttiä. Hinta nousee 32 senttiin neliöltä, mikäli mikroselluloosa ostetaan valmiina markkinoilta. Mikäli vuosituotanto/markkina on 5000 tonnin asemesta 500 tonnia, lopputuotteen minimineliohintana olisi samalla investoinnilla 1,4 – 2,0 euroa.

Kaupallisen selvityksen perusteella painetun elektroniikan markkina (markkina jonka voi korvata painetulla elektroniikalla) oli vuonna 2013 12 MRD euroa. Markkinan kasvuvauhdiksi on arvioitu IDTechEx:n toimesta 14,5 – 17 % vuodessa seuraavan viiden-kymmenen vuoden aikana. Vuoden 2020 markkinan koko olisi siis noin 30 MRD euroa.

Korkean lämmönkeston muovituotteiden suurimpina trendeinä on korvata metalleja, tuottaa ohuempia ja pienempiä elektronisia tuotteita, samalla kuitenkin kehittäen uusia tuotteita ja helpottaa prosessoitavuutta käyttökohdemahdollisuuksia laajentaen. Yleensä korkean lämmönkeston tuotteet omaavat hyvät sähköiset ominaisuudet, mittapysyvyyden ja paloneston. Tässä markkinassa hinnoittelu on suurin kilpailutekijä – edulliselle tuotteelle on suuri kysyntä ja markkinapenetraatio tälle tuotteelle on nopea. Korkean lämpötilan termoplastisten muovien markkinakooksi arvioitiin n. 1.8 MRD euroa (2012) tällä alueella, joka on tuotantona n. 180 000 t/a. Tästä polyimidi n. 12 % (21600 t/a), polyimidin hinnan ollessa luokkaa 20 €/kg. Näin polyimidin markkinakoko maailmassa on n. 430 M€. Painetun elektroniikan sovellutuksista listattiin alustamateriaalit ja niiden tärkeimmät vaatimukset. Suurimpina mainittiin lämmönkestävyys, pinnansileys, mittapysyvyys, pölyämättömyys ja barrierominaisuudet.

Pääkilpailijat näillä varsin keskittyneillä markkinoilla ovat Solvay, SABIC ja Ticona. Nämä kolme suurinta pitävät hallussaan lähes puolta markkinoista. Uuden tuotteen kehitysaika tässä markkinassa on noin kaksi vuotta ja hinnoit-

telu mahdollistaa uusien toimijoiden tulon markkinoille nopeasti, varsinkin jos näillä on omaa tuotekehitystä. Pitkät ja vakiintuneet suhteet toimittajien ja käyttäjien välillä ovat keskeisiä, suoramyynä on tärkein markkinakanava. Lisäksi asiakaspalvelua ei voi korostaa tarpeeksi.

Painettavan elektroniikan sovellutukset ovat tyypillisesti kannettavissa laitteissa, älyrannekeissa, erilaisissa antureissa, sähköisissä tai joustavissa piireissä, RFID-antenneissa ja näytöissä. Teollisuudessa käyttö on pääasiassa sähköisissä kytkimissä, kalvoissa ja sensoreissa. Aurinkosähkösovelluksissa käyttö on tällä hetkellä kupari-indium-gallium-seleeni-aurinkopaneeleissa. Lisäksi tuotetaan viivakoodeja korkean lämpötilan piirilevyihin. Polyimidiä käytetään myös ohuina kalvoina sähköisenä eristeenä erilaisissa johdotuksissa ja moottoreissa. Tätä täydentää käyttö turvallisuuksosovelluksissa kuluttajatuotteissa (sähköiset ja eristävät tuotteet).

Projektissa saatujen tulosten ja kokemusten perusteella mikroselluloosa/PCC-komposiitista valmistettua painoalustaa tulisi testata käytännössä elektroniikan painoalustana. Seuraava askel olisi siis löytää/ottaa yhteyttä potentiaaliseen asiakkaaseen/loppukäyttäjään. Hinnaltaan tuote on riittävän kilpailukykyinen ja sen teollinen tuotanto on toteutettavissa, vaikkakin se vaatii lisätutkimusta.

Projektin tuloksena/ myötävaikutuksella suunniteltiin laajempi konsortiohanke Tekes bioinka ohjelmaan. hankkeen tavoitteena on kehittää ja luoda edellytyksiä uusien mikrofibrilliseluloosa tuotteiden kehittämiseksi.

# LÄHTEET

/1/ Torvinen, K., Substral-loppuraportti, VTT Jyväskylä, 2010, 33 s.

/2/ Maijala, J., Substrate for Printed Electronics, 2012, saatavissa: <http://fibic.fi/wp-content/uploads/2012/11/3-Effnet-SE-NFC-substrate-20112012-Final.pdf> , viitattu [1.9.2014].

/3/ Maloney, T., High Consistency Forming of Microfibrillated Composite Webs, Effnet Programme Report 2010 - 2013, Finnish Bioeconomy Cluster, 2013, s. 14 – 29, saatavissa: [http://fibic.fi/wp-content/uploads/2013/03/EffNet\\_Ohjelmakirja\\_web1.pdf](http://fibic.fi/wp-content/uploads/2013/03/EffNet_Ohjelmakirja_web1.pdf) , viitattu [1.9.2014].

/4/ Silenius, P., Improving the combinations of critical properties and process parameters of printing and writing papers and paperboards by new paper-filling methods, Doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Espoo, 2002.

/5/ Subramanian, R., Engineering fine paper by utilising the structural elements of the raw materials, Doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Espoo, 2008.

# LIITTEET

## 1. Asiantuntija-workshopien raportit

## Workshop: Pienoistehdas painetun älyn alustan valmistamiseen hiilidioksidi-kalsiumhydroksidi-mikrokuitukomposiittina

**Aika ja Paikka:** ti 27.5 klo 10-15 Savonlinna, Savonlinnasali/Onnellisten ateljee

### Seminaariraportti

#### 1. Taustaa

Kuitulaboratoriossa on meneillään maakuntaliiton EU-rahoitteinen esiselvityshanke jonka tavoitteena on hahmotella mikrokuitu-täyteaine komposiitin valmistustekniikka sekä kaupallinen potentiaali. Komposiitin ensisijainen käyttökohde on painetun elektroniikan alusta. Workshopin tavoitteena tuoda yhteen asiasta kiinnostuneita tahoja, jakaa tietoa sekä saada näkemyksiä jatkotyön toteutukselle.

#### 2. Osallistujat

Wetend Technologies Oy	Jouni Matula, Pekka Kotila, Tuomas Pesonen
VTT	Janne Keränen, Panu Lahtinen
SYKE	Lasse Pulkkinen
MAMK/Fiberlaboratory:	Jari Käyhkö, Tapio Tirri, Teijo Linnanen, Elina Havia, Jarkko Männynsalo

Yhteensä 11 henkeä.

#### 3. Alustukset

Alustusesitykset on koostettu liitteisiin 2-6 ja alle on koostettu alustuksista ja keskusteluista esille tulleet mielenkiintoisimmat kommentit.

##### 1. Pienoistehdas projektin ja workshopin esittely, Jari Käyhkö, MAMK

##### 2. Yleisluontoinen esitys painetun elektroniikan kehitystilanteesta ja sovelluksista sekä komposiitin kaupallisen potentiaalin arviointi, Janne Keränen, VTT

- Pääasiallisena käyttökohteena arvioitu polyimidin korvaamista MFC-komposiitilla. Polyimidin käyttö tällä hetkellä 20 000 ton/v josta prosentin murto-osa menee elektronisen painatuksen sovelluksiin; markkinat suht pienet ja hajanaiset mutta kasvavat. Tulisi tarkemmin arvioida/mitata vastaavat ominaisuudet mitä polyimidiltä normaalisti ja tätä kautta rakentaa kuvaa missä kohteissa MFC-komposiitti voisi olla kilpailukykyinen.

##### 3. Projektin laboratoriotutkimukset, Jari Käyhkö ja Tuomas Pesonen, MAMK

-Tuotteen tilasuureista olennainen on sileys, mitä sileämpi sen parempi. Kaikissa kohteissa ei kuitenkaan niin kriittinen. MFC-PCC komposiitin sileydessä vielä parantamisen varaa mitä voidaan tehdä valmistusparametrejä esim. kalanteroinnin muuttujia optimoimalla

-Painomusteen imeytyminen tärkeä tekijä. Tähän vaikuttaa pääasiassa huokoisuus ja pintakemia. Oletettavasti pintakemiaa pystytään säätämään kemiallisesti joten tämä voi olla erillinen ongelma. Komposiitin imeytymisominaisuuksien mittausta (esim cobb tai muu painomustetta paremmin kuvaava menetelmä) kannattaa kuitenkin harkita vakavasti.

-Koepainatukset. Arkin voisi leikata 10\*15 kokoon ja tulostaa valokuvatulostimella pinnalle, kertooko tulos tarpeeksi jää nähtäväksi.

-Kosteuden kesto. Pinnan hydrofobointi esim. 1% ASA- tai AKD-emulsiosumutteella.

-Mittapysyvyys oletettavasti hyvä, mutta selvitettävä. Esim. KCL:llä on ollut joskus Optidim-laite tämän mittaamiseksi.

-Tuotteen käsiteltävyyden kannalta repäisyjuuus on tällä hetkellä todennäköisesti aivan liian alhainen joten tämän parantamiseen kannattaa keskittyä. Selkein vaihtoehto on lisätä tuotteeseen pidempiä kuituja.

##### 4. Projektin tekninen suunnittelu, Jouni Matula ja Tuomas Pesonen, Wetend Technologies

Luotu ns. laskennallinen pohja arvioida prosessin virtauksia ja kustannuksia ja näitä voidaan nyt lähteä tarkentamaan. Karkeiden arvioiden perusteella tuotteen valmistuskustannus olisi luokkaa 5 €/kg

Hintahaitari kustannukselle on tässä vaiheessa 2,1 €/kg (5000t/a) – 7,1 €/kg (500t/a). Arviot korjattu uusimpaan teknisen selvityksen esitykseen.

##### 5. MFC:n valmistus, ominaisuudet ja prosessoitavuus painoalusta sovelluksen kannalta, Panu Lahtinen, VTT

-VTT:llä ”rainaus”-laite tekevät NFC/MFC kalvoja. Ajatuksena oli myös että ko. laitteella voisi tehdä myös MFC-täyteaine komposiittia mutta rahoituskuvioiden takia tämä ei vielä onnistunut

-Maailmalla jo 1000 ton/v NFC/MFC kapasiteettia mutta yritykset tekevät pääasiassa tätä omiin sovelluksiin -> ”markkina MFC/NFC:n” määrä pieni ja saatavuus huono. Tilanne voi muuttua nopeasti.

-Energian kulutus (ja hinta) valmistuksessa nykyisin jo mahdollista saada kohtuulliselle tasolle

##### 6. Aluerahoittajan näkökulma, Lasse Pulkkinen, Savonlinnan yrityspalvelut

-Oltu jo Jyväskylän Substral hankkeesta lähtien mukana seuraamassa ja suunnittelemassa aktiviteetia ko. tutkimusalueelle -> usko ja sln:n alueen kiinnostus kova.

-Jatkohanketta voisi rakentaa BIO-INKA:n suuntaan ja pohjalle. Lähiaaikoina mm. keskusteluja Tekesin kanssa tämän ja muiden biohankkeiden osalta.

-Markkinointipotentiaalın karakterointi tässä erinomaisen tärkeää. Pitäisi saada selkeästi lisää eväitä, esim. suorat kontaktit massiivisemmin elektronista painamista toteuttaviin yrityksiin ja tästä kumppaneita, ahaa-elämyksiä, rajausta ja konsepteja jatkotutkimuksien pohjaksi.

#### 4. Keskustelut

-Janne K. toivoi yleisöltä ideoita ja rajauksia minkälaisiin tuotteisiin tulisi keskittyä: esim. voisiko tähtäimessä olla kuluttajille markkinoitava paperi johon voi itse printata ja rakentaa erilaisia elektronisia sovelluksia.

- Tarravalmistajan tontilta voisi löytää mielenkiintoisia sovelluksia.

Seuraava Workshop pidetään 7.8.2014 klo 10.00 Savonlinnassa. Projektin etenemisen ja tulosten esittelyn lisäksi workshopin päätavoitteena on hahmotella minkälaisella hankekokonaisuudella ko. tutkimusaluetta tullaan jatkossa viemään eteenpäin.

#### Liitteet

LIITE 1: Seminaari ohjelma

LIITE 2: Projektin esittely sekä laboratoriotutkimukset, J. Käyhkö ja T. Pesonen

LIITE 3: Painettu elektroniikka sekä kaupallinen potentiaali, J. Keränen

LIITE 4: Tekninen suunnittelu, T. Pesonen ja J. Matula

LIITE 5: MFC painoalusta sovelluksen kannalta, P. Lahtinen

#### Workshop II:

### Pienoistehdas painetun älyn alustan valmistamiseen hiilidioksidi-kalsiumhydroksidi-mikrokuitukomposiittina

**Aika ja Paikka:** Ke 20.8.2014 klo 10-15 Ravintola Paviljonki, Rajalahdenkatu 4, Savonlinna

#### Seminaariraportti

#### 5. Taustaa

Kuitulaboratoriossa on meneillään maakuntaliiton EU-rahoitteinen esiselvityshanke jonka tavoitteena on hahmotella mikrokuitu-täyteaine komposiitin valmistustekniikka sekä kaupallinen potentiaali. Komposiitin ensisijainen käyttökohde on painetun elektroniikan alusta. Workshopin tavoitteena tuoda yhteen asiasta kiinnostuneita tahoja, jakaa tietoa sekä saada näkemyksiä jatkotyön toteutukselle.

#### 6. Osallistajat

Wetend Technologies Oy Jouni Matula, Tuomas Pesonen  
VTT Janne Keränen, Panu Lahtinen  
SYKE Lasse Pulkkinen  
MAMK/Fiberlaboratory: Jari Käyhkö, Tapio Tirri, Teemu Sairanen, Jarkko Männynsalu, Tuomas Pesonen

Yhteensä 10 henkeä.

#### 7. Alustukset

Alustusesitykset on koostettu liitteisiin 2-4 ja alle on koostettu alustuksista esille tulleet mielenkiintoisimmat kommentit.

##### 1. Komposiitin kaupallisen potentiaalin arviointi, Janne Keränen, VTT

Selvitys on nyt pääosin tehty ja powerpoint kalvot käytettävissä (Liite 2). Word raportti toimitetaan myöhemmin sisältäen myös aineistot tilatusta tuotekonsepti/asiakas lisäselvityksestä. Komposiitilla on kaupallista potentiaalia mutta markkinat ovat haastavat, heterogeeniset ja pienet. Toisaalta kasvupotentiaali on huikea. Potentiaaliset sovellukset asettavat komposiittituotteelle mm. seuraavia haasteita ja mahdollisuuksia:

- Etupäässä komposiitin täytyy olla ominaisuuksiltaan vastaava verrattuna korvattavaan tuotteeseen
- Sähköisten ominaisuuksien säätömahdollisuus komposiitissa voi olla merkittävä etu
- Tuotteiden kehitys on nopeaa max. kaksi vuotta, markkinat B to B pohjaiset

- Haasteita voivat olla mm. kosteus, mittapysyvyys ja muovattavuus

## 2. Projektin laboratoriotutkimukset, Tuomas Pesonen ja Jari Käyhkö, MAMK

Kokeet on tehty ja loppuraportointi meneillään (Kalvoesitys liitteenä 3). Kokeissa on selvitetty oletettujen merkittävien tuotteen tilasuureiden tasoa ja prosessimuuttujien vaikutusta näihin sekä tuotteen valmistusteknisiä kysymyksiä tärkeimpänä vedenpoisto rainauksessa. Tulosten mukaan näköpiirissä ei ole selkeää estettä painettavan älyn alustan valmistamiseksi rainaamalla ko. konseptilla. Komposiitin venymä on huomattavasti pienempi kuin muovipohjaisilla tuotteilla, mutta tällä ei välttämättä merkitystä, pitäisi enemmänkin seurata kimmomodulia (eli paljonko tarvitaan voimaa jotta kappaleessa alkaa ilmetä muodonmuutosta). Komposiitin repäisyjujuus on myös heikko, toisaalta tämä ei välttämättä ole ongelma jos vain raina kestää painatus- ja tuotantoprosessin katkeamatta.

## 3. Projektin tekninen suunnittelu, Tuomas Pesonen ja Jouni Matula, Wetend Technologies

MFC-PCC Pienostehtaan investoinniksi saatiin tilanteesta riippuen 11-21 M€ ja valmistuskustannuksiksi 5000 t/a tuotannolla noin 2 €/kg ja 500 t/a tuotannolla noin 8 €/kg (Liite 4).

Keskusteltiin tulisiko prosessin jatkuvatoiminen vai ei. Erittäin todennäköisesti pitäisi olla jatkuvatoiminen. Laskennoissa nyt oletettu toisin ja tämä on huomioitava tulosten tulkinnessa. Raportoinnissa kannattaisi yksikköhintasuuorena käyttää mieluummin €/m<sup>2</sup> koska tätä käytetään ko. tuotteen markkinoilla.

## 8. Työpaja ja yhteenveto jatkotoimenpiteistä

Kokonaisuutena hankkeesta todettiin, että PCC-MFC komposiitin valmistamiselle on olemassa taludelliset ja tekniset mahdollisuudet joskin molempien osalta ja varsinkin tuotteen käyttökohteiden ja markkinoiden luomiseksi tarvitaan vielä paljon valmistelutyötä

Työpajassa keskityttiin suunnittelemaan jatkotoimia liitteenä olevan alustavan BioPolKu hankkeen tutkimusuunnitelman pohjalta (Liite 5). BioPolKu on laajempi konsortiohanke jossa pääasiallinen eri tutkimusosioita ja tutkimusosapuolia yhdistävä tekijä on MFC:hen liittyvät tutkimukset. Yhtenä työpaketina hankkeessa on MFC-täyteaine komposiitti tutkimukset. Tutkimushankkeen osalta havainnoitiin seuraavaa;

- Tavoitteena on saada hakemus Tekesiin 30.9 mennessä BioInka ohjelmaan kuuluen. Hanke on esitelty alustavasti BioINKA koordinaattorille ja hän on näyttänyt hankkeelle vihreää valoa. Kuitulaboratorio, Joensuun yliopisto, BioINKA koordinaattori ja Tekesin edustaja tapaavat seuraavan kerran asian liittyen ma 8.9.2014 Joensuussa
- MFC-täyteainekomposiitti tutkimuksista (WP4) tulisi tehdä mahdollisimman tavoite/demonstraatiofokusoitua. Eli panostetaan tuote tähdätään selkeisiin tuotteisiin ja näiden tuotteiden tuotantoprosessien ratkaisemiseen.
- Kuitulaboratoriolla ja VTT:llä on erillisiä Batch tutkimuslaitteita joilla päästään hyvin eteenpäin. Yhtenä tavoitteena päästä tekemään kokeita pilot (SUORA) ympäristössä.

- Listattiin mm. seuraavat potentiaaliset projektiin osallistuvat yritykset: Wetend, Kemira, Chemigate, Roguette (tärkkitoimitaja), Andritz, Valmet, Excell, Stora-Enso, Savon sellu jne..
- Valkaisematomaan selluun pohjautuvista tuotteista voisi WP 2:n osalta löytyä myös sovelluskohteita (Savon sellu linkki)
- Hankkeelle tulisi luoda myös laajempi/haastavampi skenaario/tavoite

### Sovittiin seuraavat toimenpiteet:

- VTT hakee hankkeelle valmisteluluvan
- Jatketaan WP 1:n työstämistä (Kuitulaboratorion vastuu)
- VTT (Panu Lahtinen) jatkaa WP 2:n valmistelua
- VTT (Janne) ja Kuitulaboratorio (Jari) jatkavat WP 3:n valmistelua. VTT mahdollisesti lisää mm. ympäristö, elintarvikeriski/mikraatio ja ”robotiikka” näkökulmaa.
- WP 4 sisällytetään työpaketteihin 1 ja 2. WP 5 poistetaan.
- Jari kontaktoi Aalto yliopistoa ja sopii jatkotoimet
- Tavoitteena 5.9. 2014 valmiina seuraava versio suunnitelmasta jolla mahdollisesti jo voitaisiin kontaktoida yrityksiä.

### Liitteet

LIITE 1: Seminaari ohjelma

LIITE 2: Komposiitin kaupallisen potentiaalin arviointi, Janne Keränen, VTT

LIITE 3: Projektin laboratoriotutkimukset, Tuomas Pesonen ja Jari Käyhkö, MAMK

LIITE 4: Projektin tekninen suunnittelu, Tuomas Pesonen ja Jouni Matula, Wetend Technologies

LIITE 5: BioPolKu tutkimussuunnitelma



## MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

### MIKKELI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES. MIKKELI. FINLAND

PL 181, SF-50101 Mikkeli, Finland. Puh.vaihde (tel.vx.) 0153 5561

Julkaisujen myynti: Tähtijulkaisut verkkokirjakauppa, www.tahtijulkaisut.net.  
Julkaisutoiminta: Kirjasto- ja oppimisteknologiapalvelut, Kampuskirjasto,  
Patteristonkatu 2, 50100 Mikkeli, puh. 040 868 6450 tai email: julkaisut(a)  
xamk.fi

### MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

A: Tutkimuksia ja raportteja ISSN 1795-9438  
Mikkeli University of Applied Sciences, Publication series

A: Tutkimuksia ja raportteja – Research reports

- A:1 Kyllikki Klemm: Maalla on somaa. Sosiaalinen hyvinvointi maaseudulla. 2005. 41 s.
- A:2 Anneli Jaroma – Tuija Vanttinen – Inkeri Nousiainen (toim.) Ammattikorkeakoulujen hyvinvointiala alueellisen kehittämisen lähtökohtia Etelä-Savossa. 2005. 17 s. + liitt. 12 s.
- A:3 Pirjo Käyhkö: Oppimisen kokemuksia hoitotyön kädentaitojen harjoittelusta sairaanhoitaja- ja terveydenhoitajaopiskelijoiden kuvaamina. 2005. 103 s. + liitt. 6 s.
- A:4 Jaana Lähteenmaa: "AVARTTI" as Experienced by Youth. A Qualitative Case Study. 2006. 34 s.
- A:5 Heikki Malinen (toim.) Ammattikorkeakoulujen valtakunnalliset tutkimus- ja kehitystoiminnan päivät Mikkeli 8. – 9.2.2006. 2006. 72 s.
- A:6 Hanne Orava – Pirjo Kivijärvi – Riitta Lahtinen – Anne Matilainen – Anne Tillanen – Hannu Kuopanportti: Hajoavan katteen kehittäminen riviviljelykasveille. 2006. 52 s. + liitt. 2 s.
- A:7 Sari Järn – Susanna Kokkinen – Osmo Palonen (toim.): ElkaD – Puheenvuoroja sähköiseen arkistointiin. 2006. 77 s.
- A:8 Katja Komonen (toim.): Työpajatoimintaa kehittämässä - Työpajojen kehittäminen Etelä-Savossa -hankkeen kokemukset. 2006. 183 s. (nid.) 180 s. (pdf)

- A:9 Reetaleena Rissanen – Mikko Selenius – Hannu Kuopanportti – Reijo Lappalainen: Puutislepinoitusmenetelmän kehittäminen. 2006. 57 s. + liitt. 2 s.
- A:10 Paula Kärmeniemi – Kristiina Lehtola – Pirjo Vuoskoski: Arvioinnin kehittäminen PBL-opetussuunnitelmassa – kaksi tapausesimerkkiä fysioterapeuttikoulutuksesta. 2006. 146 s.
- A:11 Eero Jäppinen – Jussi Heinimö – Hanne Orava – Leena Mäkelä: Metsäpolttoaineen saatavuus, tuotanto ja laivakuljetusmahdollisuudet Saimaan alueella. 2006. 128 s. + liitt. 8 s.
- A:12 Pasi Pakkala – Jukka Mäntylä: "Kiva tulla aamulla..." - johtaminen ja työhyvinvointi metsänhoitoyhdistyksissä. 2006. 40 s. + liitt. 7 s.
- A:13 Marja Lehtonen – Pia Ahoranta – Sirkka Erämaa – Elise Kosonen – Jaakko Pitkänen (toim.): Hyvinvointia ja kuntoa kulttuurista. HAKKU-projektin loppuraportti. 2006. 101 s. + liitt. 5 s.
- A:14 Mervi Naakka – Pia Ahoranta: Palveluketjusta turvaverkoksi -projekti: Osaaminen ja joustavuus edellytyksenä toimivalle vanhus-palveluverkostolle. 2007. 34 s. + liitt. 6 s.
- A:15 Paula Anttila – Tuomo Linnanto – Iiro Kiukas – Hannu Kuopanportti: Lujitemuovijätteen poltto, esikäsittely ja uusiutuotteiden valmistaminen. 2007. 87 s.
- A:16 Mervi Louhivaara (toim.): Elintarvikeyrityksen opas Venäjän markkinoille. 2007. 23 s. + liitt. 7 s.
- A:17 Päivi Tikkanen: Fysioterapian kehittämishanke Mikkelin seudulla. 2007. 18 s. + liitt. 70 s.
- A:18 Aila Puttonen: International activities in Mikkeli University of Applied Sciences. Developing by benchmarking. 2007. 95 s. + liitt. 42 s.
- A:19 Iiro Kiukas – Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Martti Pouru: Puun lämpökäsittelyssä muodostuvien hajukaasujen puhdistaminen biosuotimella. 2007. 80 s. + liitt. 3 s.
- A:20 Johanna Heikkilä, Susanna Hytönen – Tero Janatuinen – Ulla Keto – Outi Kinttula – Jari Lahti – Heikki Malinen – Hanna Mylly – Marjo Eerikäinen: Itsearviointityökalun kehittäminen korkeakouluille. 2007. 48 s. + liitt. (94 s. CD-ROM)

- A:21 Katja Komonen: Puhuttu paikka. Nuorten työpajatoiminnan rakentuminen työpajakerronnassa. 2007. 207 s. + liitt. 3 s. (nid.) 207 s. + liitt. 3 s. (pdf)
- A:22 Teija Taskinen: Ammattikeittiöiden ruokatuotantoprosessit. 2007. 54 s.
- A:23 Teija Taskinen: Ammattikeittiöt Suomessa 2015 – vaihtoehtoisia tulevaisuudennäkymiä. 2007. 77 s. + liitt. 5 s. (nid.) 77 s. + liitt. 5 s. (pdf.)
- A:24 Hanne Soininen, Iiro Kiukas, Leena Mäkelä: Biokaasusta bioenergiaa eteläsavolaisille maaseutuyrityksille. 2007. 78 s. + liitt. 2 s. (nid.)
- A:25 Marjaana Julkunen – Panu Väänänen (toim.): RAJALLA – aikuiskasvatus suuntaa verkkoon. 2007. 198 s.
- A:26 Samuli Heikkonen – Katri Luostarinen – Kimmo Piispa: Kiln drying of Siberian Larch (*Larix sibirica*) timber. 2007. 78 p. + app. 4 p.
- A:27 Rauni Väättäimöinen – Arja Tiippana – Sonja Pyykkönen – Riitta Pylvänäinen – Voitto Helander: Hyvän elämän keskus. ”Ikä-keskus”, hyvinvointia, terveyttä ja toimintakykyä ikääntyville –hankkeen loppuraportti. 2007. 162 s
- A:28 Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Saana Oksa: Etelä-Savon maaseutuyritysten ympäristö- ja elintarviketurvallisuuden kehittäminen. 2007. 224 s. + liitt. 55 s.
- A:29 Katja Komonen (toim.): UUDISTUVAT OPPIMISYMPÄRISTÖT – puheenvuoroja ja esimerkkejä. 2007. 231 s. (nid.) 221 s. (pdf)
- A:30 Johanna Logrén: Venäjän elintarviketurvallisuus, elintarvikelainsäädäntö ja -valvonta. 2007. 163 s.
- A:31 Hanne Soininen – Iiro Kiukas – Leena Mäkelä – Timo Nordman – Hannu Kuopanportti: Jätepolttoaineiden lentotuhkat. 2007. 102 s.
- A:32 Hannele Luostarinen – Erja Ruotsalainen: Opiskelijoiden oppimisen ja osaamisen arviointikriteerit Mikkelin ammattikorkeakoulun opiskelija-arviointiin. 2007. 29 s. + liitt. 25 s.
- A:33 Leena Mäkelä – Hanne Soininen – Saana Oksa: Ympäristöriskien hallinta. 2008. 142 s.
- A:34 Rauni Väättäimöinen – Merja Tolvanen – Pekka Valkola: Laatu arvi-

- oiden. Mikkelin ammattikorkeakoulun ja Savonia-ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön benchmarking. 2008. 46 s. + liitt. 22 s. (nid.) 46 s. + liitt. 22 s. (pdf)
- A:35 Jari Kortelainen – Yrjö Tolonen: Vuosiluston kierresyisyys sahatavaran pinnoilla. 2008. 23 s. (pdf)
- A:36 Anneli Jaroma (toim.): Virtaa verkostosta. Tutkimus- ja kehitystyö osana ammattikorkeakoulujen tehtävää, AMKtutka, kehittämisverkosto yhteisellä asialla. 2008. 180 s. (nid.) 189 s. (pdf)
- A:37 Johanna Logrén: Food safety legislation and control in the Russian federation. Practical experiences. 2008. 52 p. (pdf)
- A:38 Teija Taskinen: Sähköisten järjestelmien hyödyntäminen ammattikeittiöiden omavalvonnassa. 2008. 28 s. + liitt. 2 s. (nid.) 38 s. + liitt. 2 s. (pdf)
- A:39 Kimmo Kainulainen – Pia Puntanen – Heli Metsäpelto: Etelä-Savon luovien alojen tutkimus- ja kehittämissuunnitelma. 2008. 68 s. + liitt. 17 s. (nid.) 76 s. + liitt. 17 s. (pdf)
- A:40 Nicolai van der Woert – Salla Seppänen – Paul van Keeken (eds.): Neuroblend - Competence based blended learning framework for life-long vocational learning of neuroscience nurses. 2008. 166 p. + app. 5 p. (nid.)
- A:41 Nina Rinkinen – Virpi Leskinen – Päivikki Liukkonen: Selvitys matkailuyritysten kehittämistarpeista 2007–2013 Savonlinnan ja Mikkelin seuduilla sekä Heinävedellä. 2008. 41 s. (pdf)
- A:42 Virpi Leskinen – Nina Rinkinen: Katsaus matkailutoimialaan Etelä-Savossa. 2008. 28 s. (pdf)
- A:43 Kati Kontinen: Maaperän vahvistusratkaisut huonosti kantavien maiden puunkorjuussa. 2009. 34 s. + liitt. 2 s.
- A:44 Ulla Keto – Marjo Nykänen – Rauni Väättäimöinen: Laadun vuoksi. Mikkelin ammattikorkeakoulu laadunvarmistuksen kehittäjänä. 2009. 76 s. + liitt. 11 s.
- A:45 Laura Hokkanen (toim.): Vaikuttavaa! Nuoret kansalaisvaikuttamisen kentillä. 2009. 159 s. (nid.) 152 s. (pdf)
- A:46 Eliisa Kotro (ed.): Future challenges in professional kitchens II. 2009. 65 s. (pdf)

- A:47 Anneli Jaroma (toim.): Virtaa verkostosta II. AMKtutka, kehitys-impulsseja ammattikorkeakoulujen T&K&I –toimintaan. 2009. 207 s. (nid.) 204 s. (pdf)
- A:48 Tuula Okkonen (toim.): Oppimisvaikeuksien ja erilaisten opiskelijoiden tukeminen MAMKissa 2008–2009. 2009. 30 s. + liitt. 26 s. (nid.) 30 s. + liitt. 26 s. (pdf)
- A:49 Soile Laitinen (toim.): Uudistuva aikuiskoulutus. Eurooppalaisia kokemuksia ja suomalaisia mahdollisuuksia. 2010. 154 s. (nid.) 145 s. (pdf)
- A:50 Kati Kontinen: Kumimatot maaperän vahvistusratkaisuna puunkorjuussa. 2010. 37 s. + liitt. 2 s. (nid.)
- A:51 Laura Hokkanen – Veli Liikanen: Vaikutusvaltaa! Kohti kansalaisvaikuttamisen uusia areenoja. 2010. 159 s. + liitt. 17 s. (nid.) 159 s. + liitt. 17 s. (pdf)
- A:52 Salla Seppänen – Niina Kaukonen – Sirpa Luukkainen: Potilashotelli Etelä-Savoon. Selvityshankkeen 1.4.–31.8.2009 loppuraportti. 2010. 16 s. + liitt. 65 s. (pdf)
- A:53 Minna-Mari Mentula: Huomisen opetusravintola. Ravintola Tallin kehittäminen. 2010. 103 s. (nid.) 103 s. (pdf)
- A:54 Kirsi Pohjola. Nuorisotyö koulussa. Nuorisotyö osana monialaista oppilashuoltoa. 2010. 40 s (pdf).
- A:55 Sinikka Pöllänen – Leena Uosukainen. Oppimisverkosto voimaannuttajana ja hyvinvoinnin edistäjänä. Savonlinnan osaverkoston toiminnan esittely Tykes -hankkeessa vuosina 2006–2009. 2010. 60 s. + liitt. 2 s. (nid.) 61 s. liitt. 2 s. (pdf)
- A: 56 Anna Kapanen (toim.). Uusia avauksia tekemällä oppimiseen. Työpajojen ja ammattiopistojen välisen yhteistyön kehittyminen Etelä- ja Pohjois-Savossa. 2010. 144 s. (nid.) 136 s. (pdf)
- A:57 Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Veikko Äikäs – Anni Laitinen. Ympäristöasiat osana hevostallien kannattavuutta. 2010. 108 s. + liitt. 11 s. (nid.) 105 s. + liitt. 11 s. (pdf)
- A:58 Anu Haapala – Kalevi Niemi (toim.) Tulevaisuustietoinen kehittäminen. Hyvinvoinnin ja kulttuurin ammattikorkeakoulutuksen suuntaviivoja etsimässä. 2010. 155 s + liitt. 26 s. (nid.) 143 s. + liitt. 26 s. (pdf)

- A:59 Hanne Soininen – Leena Mäkelä – Anni Kyyhkynen – Elina Muukkonen. Biopoltoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten tuhkien hyötykäyttö- ja logistiikkavirrat Itä-Suomessa. 2010. 111 s. (nid.) 111 s. (pdf)
- A:60 Soile Eronen. Yhdessä paremmin. Aivohalvauskuntoutuksen tehostaminen moniammatillisuudella. 2011. 111 s + liitt. 10 s. (nid.)
- A:61 Pirjo Hartikainen (toim.). Hyviä käytänteitä sosiaali- ja terveysalan hyvinvointipalveluissa. Tuloksia HYVOPA-hankkeesta. 2011. 64 s. (pdf)
- A:62 Sirpa Luukkainen – Simo Ojala – Antti Kaipainen. Mobiilihoiva turvallisen kotihoidon tukena -hanke 1.5.2008–30.6.2010. EAKR toimintalinja 4, kokeiluosio. Loppuraportti. 2011. 78 s. + liitt. 19 s. (pdf)
- A:63 Sari Toijonen-Kunnari (toim.). Toiminnallinen kehittäjäkumppanuus. MAMKin liiketalouden koulutus Etelä-Savon innovaatioympäristössä. 2011. 164 s. (nid.) 150 s. (pdf)
- A:64 Tuula Siljanen – Ulla Keto. Mikkeli muutoksessa. Muutosohjelman arviointi. 2011. 42 s. (pdf)
- A:65 Päivi Lifflander – Pirjo Hartikainen. Savonlinnan seudun palveluseteliselvitys. 2011. 59 s. + liitt. 6 s. (pdf)
- A:66 Mari Pennanen – Eva-Maria Hakola. Selvitys matkailun luontoaktiiviteettien, Kulttuurin ja luovien alojen Yhteistyön kehittämismahdollisuuksista ja -tarpeista Etelä-Savossa. Hankeraportti. 2011. 29 s. + liitt. 18 s. (pdf)
- A:67 Osmo Palonen (toim.). Muistilla on kolme ulottuvuutta. Kulttuuriperinnön digitaalinen tuottaminen ja tallentaminen. 2011. 136 s. (nid.) 128 s. (pdf)
- A:68 Tuija Vääntinen – Marjo Nykänen (toim.). Osaamisen palapeli. Mikkelin ammattikorkeakoulun opetussuunnitelmien kehittäminen. 2011. 137 s.+ liitt. 8 s. (nid.) 131 s. + liitt. 8 s. (pdf)
- A:69 Petri Pajunen – Pasi Pakkala. Prosessiorganisaatio metsänhoitoyhdistyksen organisaatiomallina. 2012. 48 s. + liitt. 6 s. (nid.)
- A:70 Tero Karttunen – Kari Dufva – Antti Ylhäinen – Martti Kempainen. Väsyttävästi kuormitettujen liimaliitosten testimenetelmän kehitys. 2012. 45 s. (nid.)

- A:71 Minna Malankin. Venäläiset matkailun asiakkaina. 2012. 114 s. + liitt. 7 s. (nid.) 114 s. + liitt. 7 s. (pdf)
- A:72 María del Mar Márquez – Jukka Mäntylä. Metsätalouden laitoksen opetussuunnitelman uudistamisprosessi. 2012. 107 s. + liitt. 17 s. (nid.)
- A:73 Marjaana Kivelä (toim.). Yksin hyvä – yhdessä parempi. 2012. 115 s. (nid.) 111 s. (pdf)
- A:74 Pekka Hartikainen – Kati Kontinen – Timo Antero Leinonen. Metsätiensuunnitteluopas – metsä- ja piennartiet. 2012. 44 s. + liitt. 20 s. (nid.) 44 s. + liitt. 20 s. (pdf)
- A:75 Sami Luste – Hanne Soininen – Tuija Ranta-Korhonen – Sari Seppäläinen – Anni Laitinen – Mari Tervo. Biokaasulaitos osana energiaomavaraista maatilaa. 2012. 68 s. (nid.) 68 s. (pdf)
- A:76 Marja-Liisa Kakkonen (toim.). Näkökulmia yrittäjyyteen ja yritysyhteistyötoimintaan. 2012. 113 s. (nid.) 106 s. (pdf)
- A:77 Matti Meriläinen – Anu Haapala – Tuija Vääntinen. Opiskelijoiden hyvinvointi ja siihen yhteydessä olevia tekijöitä. Lähtökohtia ja tutkittua tietoa ohjauksen ja pedagogiikan kehittämiseen. 2013. 92 s. (nid.) 92 s. (pdf)
- A:78 Jussi Ronkainen – Marika Punamäki (toim.). Nuoret ja syrjäytyminen Itä-Suomessa. 2013. 151 s. (nid.) 151 s. (pdf)
- A:79 Anna Kähkönen (toim.). Ulkomaalaiset opiskelijat Etelä-Savon voimavaraksi. Kokemuksia ja esimerkkejä. 2013. 127 s. (nid.) 127 s. (pdf)
- A:80 Risto Laukas – Pasi Pakkala. Suomen suurimpien kaupunkien metsätaloustoimintojen kehittäminen. 2013. 55 s. + liitt. 8 s. (nid.)
- A:81 Pekka Penttinen – Jussi Ronkainen (toim.). Itä-Suomen nuorisopuntari. Katsaus nuorten hyvinvointiin Itä-Suomen maakunnissa 2010–2012. 2013. 147 s. + liitt. 15 s. (nid.) 147 s. + liitt. 15 s. (nid.)
- A:82 Marja-Liisa Kakkonen (ed.). Bridging entrepreneurship education between Russia and Finland. Conference proceedings 2013. 2013. 91 s. (nid.) 91 s. (pdf)
- A:83 Tero Karttunen - Kari Dufva. The determination of the mode II fatigue threshold with a cast iron ENF specimen. 2013. 24 s. (nid.)

- A:84 Outi Pyöriä (toim.). Vesi liikuttaa ja kuntouttaa - hyviä käytänteitä vesiliikuntapalveluissa. Tuloksia VESKU-hankkeesta. 2013. 63 s. (nid.) 63 s. (pdf)
- A:85 Laura Hokkanen - Johanna Pirinen - Hanna Kuitunen. Vapaaehtoistyö, kansalaisjärjestöt ja hyvinvointipalvelujen kehittäminen Etelä-Savossa –esiselvitys. 2014. 114 s. (nid.) 114 s. (pdf)
- A:86 Johanna Hirvonen. Luontolähtöisen toiminnan hyvinvointivaikutukset ja niiden arviointi. Asiakasvaikutusten arviointi Luontohoiva-hankkeessa. 2014. 70 s. (nid.) 70 s. (pdf)
- A:87 Pasi Pakkala. Liiketoimintaa ja edunvalvontaa – Näkökulmia työhyvinvointiin metsähoitoyhdistyksissä. 2014. 52 s. (nid.)
- A:88 Johanna Arola - Piia Aarniosalo - Hannu Poutiainen - Esa Hannus – Heikki Isotalus. Open-tietojärjestelmä. Etämonitoroinnin kehittäminen osana ympäristötekniikan koulutusta ja innovaatiotoimintaa. 2014. 71 s. (nid.) 71 s. (pdf)
- A:89 Tapio Lepistö. Luonnonkuitukomposiitit. 2014. 67 s. (nid.) 67 s. (pdf)
- A:90 Kirsti Ilomäki - Kari Dufva - Petri Jetsu. Luonnonkuitulujitettujen muovikomposiittien tutkimus ja opetuksen kehittäminen. 2014. 49 s. (nid.) 49 s. (pdf)
- A:91 Jaana Dillström - Erja Ruotsalainen. Huomaan, että osaan. Opiskelijoiden kokemuksia simulaatiosta. 2014. 46 s. (nid.) 46 s. (pdf)
- A:92 Kati Kontinen. Huonosti kantavien maiden ja teiden vahvistamisratkaisut. 2014. 39 s. (nid.) 39 s. (pdf)
- A:93 Mika Liukkonen - Elina Havia - Henri Montonen - Yrjö Hiltunen. Life-cycle covering traceability and information management for electronic product using RFID. 2014. 55 s. (pdf)
- A:94 Liisa Uosukainen (ed.). Open source archive. Towards open and sustainable digital archives. 2014. 90 s. (nid.) 100 s. (pdf)
- A:95 Anu Haapala (toim.). Opinnollistaminen tki-projekteissa. Lähtökohtia ja kokemuksia käytännöstä. 2014. 95 s. (nid.) 88 s. (pdf)
- A:96 Päivi Niiranen-Linkama – Tiina Kuru. Kokemuksellinen hyvinvointi. Mitä 65–74-vuotiaat kertovat hyvinvoinnistaan. 2014. 55 s. (nid.) 55 s. (pdf)

- A:97 Marketta Koskinen. Mikkelin seudun Digipuntari 2014. Pilottitutkimuksen raportti. 2014. 67 s. (pdf)
- A:98 Sari Laanterä – Terttu Liimatainen – Marja-Liisa Laitinen. Ehkäisevän ja matalan kynnyksen hyvinvointipalvelumallin kehittäminen Mikkelin seudulle. 2014. 130 s. (nid) 162 s. (pdf)
- A:99 Maarit Karhula. Omaisen ja läheisen näkemykset roolistaan palveluverkostossa. 2015. 76 s. (nid.) 76 s.(pdf)
- A:100 Sonja Miettinen – Sanna-Mari Pöyry. Vainulla Etelä-Savossa. Vaikeimmin työllistyvät nuoret palvelujärjestelmässä -selvitys. 2015. 90 s. (nid.) 102 s. (pdf)
- A:101 Tuija Vanttinen (ed.). Enhancing learning outcomes evaluation. Benchmarking learning outcomes evaluation in Finland, Scotland and Kansas. 2015. 116 s (nid.) 126 s. (pdf)
- A:102 Marjo Nykänen (toim.). Itsearviointi korkeakoulun laatutyökaluna. 2015. 141 s. (nid.) 143 s. (pdf)
- A:103 Riitta Tuikkanen – Paula Mäkeläinen. Työmiesten työaikaiset ruokapalvelut ja syöminen työaikana. 2015. 55 s. (nid.) 66 s. (pdf)
- A:104 Tuomas Pesonen – Jari Käyhkö – Janne Keränen – Henna Sundqvist – Panu Lahtinen. Esiselvitys: Pienoistehdas painetun älyn alustan valmistamiseen hiilidioksidi-kalsiumhydroksidi-mikrokuitukomposiittina. Raportti. 2015. 60 s. (pdf)



Vipuvoimaa  
EU:lta  
2007-2013



MAMK

University of Applied Sciences