

SUBSTRAL loppuraportti

Kirjoittajat: Katariina Torvinen

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi Substral loppuraportti		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Petri Nyberg, Jyväskylä Innovation Oy		Asiakkaan viite
Projektin nimi Substral		Projektin numero/lyhytnimi 37533 / Substral
Raportin laatija(t) Katariina Torvinen		Sivujen/liitesivujen lukumäärä 33/
Avainsanat Kuitupohjainen substraatti, painettu elektoniikka, alusta, karheus, sileys, profilometri, kosteusmuutokset, muovi, kalanterointi, nanoselluloosa, NFC, päällystys, jauhatus, organosolv		Raportin numero VTT-R-00993-10
Tiivistelmä <p>Projektissa kartoitetaan nykyinen tilanne liittyen kuitusubstraatin käyttöön painetun elektroniikan sovelluksissa (sekä paperi- että kartonkisovellukset). Erityisinä tarkastelun kohteina substraatin materiaaliominaisuuksista ovat pinnankarheus sekä dimensiomuutokset kosteuden ja lämpötilan suhteen. Tarkoituksena on myös modifioida kuitusubstraattia, jotta saavutettaisiin riittävän laadukas pinta painetun elektroniikan sovelluksia varten. Projektissa valmistettavien demonstraatorakenteiden avulla arvioidaan kuinka kaukana kuitutuotteilla ollaan muovimateriaaleista kriittisten ominaisuuksien suhteen.</p> <p>Projektissa on saavutettu erittäin hyvä pinnan sileys muutamalla eri koepisteellä. Paras tulos sileyden suhteen saavutettiin korkean täyteaineen (80 %) arkilla, joka sisältää täyteaineen lisäksi 20 % nanoselluloosaa. Tarvittavan sileyden aikaansaaminen vaati näytearkin kalanteroinnin. Riittäväällä lämpö- ja painekäsittelyllä pintaan saatiin Mylar A muovin suuruusluokan sileystaso ja muovimainen tuntu. Profilometrimittauksilla saavutettu pinnan sileys on myös selvästi parempi kuin referenssinäytteenä olleen kaupallisen valokuvapaperin sileys.</p> <p>Lupaavia ja mielenkiintoisia tuloksia on myös projektissa saavutettu lisäämällä pieni määrä nanoselluloosaa kuituranteeseen. Erittäin hyvä pinnan sileys on saavutettu, kun NFC on sumutettu jauhamattoman selluarkin pintaan ja näyte on käsittelyn jälkeen kalanteroitu. Jatkossa on mielenkiintoista tutkia tarkemmin, miksi juuri jauhamaton koivusellu toimii niin hyvin tässä suhteessa NFC:n kanssa. Tämä tulos todistaa myös sen, miten tärkeää on tutkia sekä kuitupohjan vaikutusta että massan käsittelymenetelmiä jotta sopiva kuitupohjainen substraatti löydetään painetun elektroniikan sovelluksiin</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Jyväskylä 02.02.2010 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Katariina Torvinen, tutkija	Petri Jetsu, kehityspäällikkö	Janne Poranen, teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot VTT, Koivurannantie 1 40101 Jyväskylä		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		

Petri Nyberg, Jyväskylä Innovation Oy, Kari Luostarinen Metso Oyj, Juhani Virtanen UPM Raflatac, Jussi Tarvainen M-Real, Pekka Pakarinen Papera, Petri Jetsu VTT, Katariina Torvinen VTT

VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
2	Projektin tavoite	4
3	Kirjallisuusselvitys.....	5
	3.1.1 Kuitusubstraatin käytön edut.....	5
	3.1.2 Vaatimukset kuitusubstraatilta	6
	3.1.3 Olennaiset viitereferenssit.....	6
4	Demonstraatiot	8
	4.1 Koesuunnitelma	8
	4.1.1 Näytteiden valmistus.....	8
	4.1.2 Näytteiden jatkokäsittely	10
	4.1.3 Referenssinäytteet.....	11
	4.2 Käytetyt mittausmenetelmät.....	12
5	Tulokset.....	13
	5.1 Standardimittaukset	13
	5.1.1 Vetolujuudet.....	13
	5.1.2 Bulkkisuus.....	15
	5.1.3 Ilmanläpäisy.....	16
	5.2 Profilometrimittaukset pinnan sileydelle	18
	5.3 Dimensiostabiliiteettimittaukset kosteudelle.....	23
6	Johtopäätökset	25
7	Jatkotoimenpide-ehdotukset.....	26
8	Lähdeviitteet ja abstrakteja.....	27

1 Johdanto

Johtavan elektroniikan sovelluksissa yhdistyvät painotekniikan ja perinteisen elektroniikan teknologiat. Tyypillisinä painomenetelminä käytetään silkkipainatusta, syväpainatusta, fleksopainatusta ja ink-jet painatusta. Painoalustoina käytetään tällä hetkellä pääasiassa muovipintoja, esim. Mylar- ja PET- kalvoja. Painetun elektroniikan avulla saavutetaan yksinkertaisempi valmistusprosessi kuin perinteisen elektroniikan menetelmillä, joissa erilaisia valmistusvaiheita on tyypillisesti 5-7 kpl (esim. substraatin pintakäsittely, johteen lisäys, kovetus, eristeen lisäys, kovetus jne.). Painetulla elektroniikalla on mahdollisuus saavuttaa jopa 1-vaiheinen valmistusprosessi.

Painetun elektroniikan sovelluksissa tarkka viivanleveys on oleellinen asia tuotteen toimivuuden kannalta. Vertailun vuoksi resoluutio perinteisillä painomenetelmillä on 5-500 μm ja tuotetta tehdään suurella nopeudella paljon. Perinteisessä elektroniikkatekniikassa resoluutio on 0.02 – 0.1 μm ja tuotetta tehdään paljon hitaammin kuin painamalla. Painettu elektroniikka toimii näiden kahden teknologian rajamaastossa, sekä resoluution että nopeuden suhteen.

Muita oleellisia vaatimuksia painetun elektroniikan substraatilta tarkan viivanleveyden lisäksi ovat lämpötilan ja kosteuden suhteen dimensiostabiilisuus sekä pieni painovärin tunkeuma. Johtuen näistä haastavista vaatimuksista kuitusubstraatteja ei ole käytetty toistaiseksi painetun elektroniikan sovelluksissa. Painetussa elektroniikassa käytetyt musteet ovat erilaisia kuin perinteisessä painotekniikassa. Monilla musteilla on mm. funktionaalisia ominaisuuksia.

Mielenkiintoisia painetun elektroniikan sovelluskohteita ovat mm. ohuet, taipuisat, suuren pinta-alan omaavat tuotteet, kuten taipuisat näytöt, pakkaukset, valolaitteet ja muistit. Koska sovelluskohteen vaatima teknologia on uutta, prosessit ja materiaalit kaipaavat vielä paljon kehitystä, jotta tuotteita syntyy riittävällä suorituskyvyllä kustannustehokkaasti.

2 Projektin tavoite

Projektissa kartoitetaan nykyinen tilanne liittyen kuitusubstraatin käyttöön painetun elektroniikan sovelluksissa (sekä paperi- että kartonkisovellukset). Erityisinä tarkastelun kohteina substraatin materiaaliominaisuuksista ovat pinnankarheus sekä dimensiomuutokset kosteuden ja lämpötilan suhteen. Tarkoituksena on myös modifioida kuitusubstraattia, jotta saavutettaisiin riittävän laadukas pinta painetun elektroniikan sovelluksia varten. Projektissa valmistettavien demonstraatorakenteiden avulla arvioidaan kuinka kaukana kuitutuotteilla ollaan muovimateriaaleista kriittisten ominaisuuksien suhteen.

3 Kirjallisuusselvitys

Projektin ensimmäisessä osassa tehtiin kirjallisuusselvitys, jonka avulla kartoitettiin nykyinen tilanne liittyen kuitusubstraatin käyttöön painetun elektroniikan sovelluksissa. Kirjallisuusselvityksen avulla pyrittiin erityisesti löytämään fysikaalisia raja-arvoja, jotka pitää täyttää painetun elektroniikan sovelluksissa. Loppuraportissa on keskitytty esittämään tärkeimmät löydökset kirjallisuusviitteistä. Lisäksi raportissa esitetään joidenkin mielenkiintoisempien artikkeleiden sisältöä erikseen. Raportin liitteenä löytyy laajempi luettelo haetuista viitteistä, joista löytyy yksityiskohtaisempaa tietoa aiheesta.

Hakuja on tehty sekä viitetietokannoista että myös patenttijärjestelmistä, keskittyen kuitenkin näistä ensimmäiseen. Näiden lisäksi myös google:n hakusanoilla on löytynyt hyviä referenssi viitteitä. Käytetyt hakukoneet ovat olleet:

- PaperChem
- E-kirjasto Engineering Village
- PatBaseExpress
- Esp@cenet patenttitietojärjestelmä
- Lisäksi Google eri hakusanayhdistelmillä

Näistä tietokannoista tehtiin hakuja kolmella erilaisella hakusanakombinaatiolla. Viimeisin on keskittynyt RFID antennien soveltamiseen paperi- tai kuitusubstraatilla.

- Ensimmäinen hakukerta viitetietokannoista (osumia 167)
 - (fibre* OR fiber* OR substrate* OR paper*) AND "printed electronics"
- Toinen hakukerta (osumia 185)
 - packaging* OR board* AND printed electronics
 - RFID* AND fibre* OR fiber* OR substrate* OR paper* OR packaging* OR board*

3.1.1 Kuitusubstraatin käytön edut

Kuitusubstraatin / paperin / kartongin käytölle painetun elektroniikan sovelluksissa löytyy monta etua verrattuna muoveihin:

- kierrätettävyys
- uusiutuva raaka-aine
- edullisuus rullalta rullalle menetelmänä
- käytettävyys rullalta rullalle menetelmänä

On kuitenkin huomioitava, että laminoitujen ja ekstruusiolla päällystettyjen papereiden kierrätettävyys on heikko. Tämän vuoksi on hyvä keskittyä pohjapaperin muokkaamiseen, jotta kalanterointi ja päällystys riittäisivät jatkokäsittelyiksi. Tällöin hyvät kierrätettävyysominaisuudet kuitusubstraateilla säilyisivät.

3.1.2 Vaatimukset kuitusubstraatilta

Painetun elektroniikan sovelluskohteissa pinnan karheus ja pintaenergia yhdessä muodostavat hyvän johtokyvyn [1]. Myös substraatin absorptiokyky on oleellista liittyen polymeerin leviämiseen. Alhaisen polymeerin leviämisen kautta saavutetaan suurempi johtokyky kuitupohjaiselle substraatille.

Myös viitteessä [2] todetaan, että oleellista siihen, miten paksu mustekerros ja sitä kautta hyvä johtokyky saavutetaan, on substraatin pinnan karheus ja pintaenergian vuorovaikutus. Tutkimuksessa on käytetty kartonkisubstraatteja sekä etikettipaperipohjia.

RFID- sovellusten osalta etikettipapereilla on tutkittu lämpötilan ja kosteuden vaikutusta johtavuuteen viitteessä [3]. Tutkimuksessa on todettu, että lämpötilan nousu lisää johtavuutta samassa suhteellisessa kosteudessa. Kosteuden vaikutus johtokykyyn taas vaihtelee, joten lisää tutkimusta tästä aihepiiristä tarvitaan.

3.1.3 Olennaiset viitereferenssit

1) [Polymeric materials for printed electronics and their interactions with paper substrates \[Hrehorova et all\]](#)

Ensisijaisesti painetulla elektroniikalla halutaan tuottaa rakenteita, jotka toimivat samoin kuin perinteisellä elektroniikalla tuotetut, mutta painettuna rakenteita voidaan tehdä suuremmalla nopeudella, alhaisemmilla kustannuksilla ja helpommilla toimintamalleilla. Sovelluskohteet ovat mm. RFID tagit, aurinkokennot, näytöt, kemikaaliset sensorit yms. Tässä julkaisussa on tutkittu paperin ominaisuuksien vaikutusta resistiivisyyteen. Musteen tunkeutuminen ja absorptio substraattiin vähentävät johtavuutta. Mitä korkeampi musteen penetraatio on sitä alhaisempi johtokyky. Myös substraatin pintaenergian pitää olla oikeanlainen suhteessa johtavan musteen pintajännitykseen.

Julkaisussa on tutkittu kaupallisia substraatteja, mm. paineherkkiä etikettipapereita. Karheus ja pintaenergia yhdessä selittävät hyvän johtavuuden. Alhainen substraatin absorptiokyky aiheuttaa paremman polymeerin leviämisen josta syystä saavutetaan parempi johtokyky.

2) [Effect of substrate properties on conductive traces printed with silver-based flexographic ink \[Kattumenu et all\]](#)

Julkaisussa on tutkittu etikettipaperien ja pakkauskartongien ominaisuuksia painetun elektroniikan sovelluksia varten. Profilometrillä (Emveco) on mitattu keskimääräiset karheudet substraateille. Johtopäätöksenä on todettu, että vuorovaikutus pinnan karheuden ja pintaenergian välillä näyttelee tärkeää roolia musteen paksuuden suhteen. Millä on tärkein vaikutus filmin paksuuteen, ei ole tässä tutkimuksessa pystytty identifioimaan.

Musteen siirtyminen oli suurempaa substraateilla, joilla oli korkeampi karheus sekä alhainen pintaenergia johtaen paksumpaan filmikerrokseen. Parempaa

painoparametrien kontrollointi tarvitaan, jotta ymmärretään paremmin substraatin ominaisuuksien vaikutukset elektroniseen johtokykyyn.

3) [Paper substrates and Inks for Printed Electronics; Laura K. Wood et al,](#)

Julkaisussa on tutkittu paperin ominaisuuksien vaikutusta elektronisiin ominaisuuksiin hopeamusteilla. Tutkitut ominaisuudet ovat olleet sileys, suhteellinen kosteus, huokoisuus, permeabiliteetti sekä kastuminen. Painetun elektroniikan sovelluksista mainitaan mm. RFID anturit ja patterit paperi- ja kartonkisovelluksille. Johtopäätöksenä on, että alhainen huokoisuus ja korkea permeabiliteetti aiheuttavat alhaisempaa johtavuutta verrattuna substraattiin, jossa on korkea huokoisuus ja alhainen permeabiliteetti. Kontaktikulmamittauksilla ei havaittu olevan korrelaatiota substraatin permeabiliteettiin hopeapohjaisella musteella. Suhteellisen kosteuden nousu vähentää johtavuutta, kun taas lämpötilan nousu kasvattaa johtavuutta.

Paperisubstraatin ominaisuuksilla on merkittäviä vaikutuksia painetun elektroniikan sovellusten johtokykyyn. Ymmärtämällä nämä vaikutukset voidaan muodostaa ideaalinen painetun elektroniikan substraatti. Tulevaisuudessa tutkimusta tarvitaan lisää siitä, miten lämpötila ja suhteellinen kosteus vaikuttavat johtavuuteen.

4) [A multilayer coated fiber-base substrate suitable for printed functionality; Roger Bollström et al. Organic Electronics 10 \(2009\)](#)

Julkaisussa esitellään kierrätettävä monikerrosrakenne kuitupohjaiselle substraatille. Tämä rakenne sisältää riittävät barrier-ominaisuudet sekä painettavuusominaisuudet painetun funktionaalisuuden rullalta rullalle sovelluksiin. Substraatti sisältää mineraali pigmentti kerroksen päällimmäisenä päällystyskerroksenä. Rakenne sisältää myös lateksista tehdyn barrier kerroksen, toisen kaoliinipäällystyskerroksen sekä vielä näiden lisäksi esipäällystyskerroksen. Tämän rakenteen sileyttä on verrattu Mylar A – muovikalvoon. Kuitupohjaiselle rakenteelle on onnistuneesti painettu HIFET – transistori. Muita mahdollisia sovelluksia ovat esim. sensorit, näytöt ja RFID- antennit. Lopullisen tuotteen sileydeksi on saatu pieneltä alueelta (25*25 mm², paitsi Mylar 35 *35 mm²) mitattuna RMS =55 nm, kun taas Mylar A kalvon sileys on samalta alueelta mitattuna RMS= 30 nm. Paperiteollisuudessa pidetään pinnan sileyttä RMS = 100 nm jo todella sileänä pintana.

5) [The role of paper in the future of printed electronics \[Alan Hodgson\]](#)

Älypakkauksissa ja muissa vastaavissa sovelluksissa paperin / kartongin potentiaali on nähtävissä. Paperin ongelmana on epätasainen pinta, joka johtaa diffuusiin pisteeseen. Tämä aiheuttaa sen, että painetun elektroniikan sovelluksiin kuitupinnan ominaisuudet eivät ole riittävät. Painettujen pisteiden morfologian kontrollointi onkin avaintekijä siihen, että paperipohjaisia substraatteja voidaan hyödyntää painetun elektroniikan sovelluksissa. Pigmenttipäällysteiset, kompleksiset monikerrosrakenteet (esim. valokuvauspaperi) ovat yksi esimerkki miten voidaan tuottaa korkealaatuinen painokuva.

6) [PATENTTI: Microporous materials suitable as substrates for printed electronics: James L. Boyer, PPG Industries Inc \(2008\)](#)

Edellä mainittujen julkaisujen lisäksi tämä mikrohuokoisten materiaalien käyttö substraattina painetun elektroniikan sovelluksissa kannattaa tuoda tässä esille. Patentissa on esitelty tietyn huokoisuuden omaavien substraattien mahdollinen käyttö, esim. polyolefiinin, mutta myös kalsiumkarbonaattia sisältävä täyteainerakenne (10 – 30 % tai vähemmän massapainosta) on patentissa esitelty. Mikrohuokoisen materiaalin tiheys on luokassa 0.5 – 0.8 g/cc.

4 Demonstraatiot

4.1 Koesuunnitelma

Demonstraatio-osuudessa on tarkoituksena valmistaa erilaisia kuitupohjaisia substraatteja painetun elektroniikan sovelluksia varten. Tämä tarkoittaa, että valmistusprosessin jokaisessa vaiheessa yritetään optimoida sovellukseen sopiva pohja. Tärkeimmät fysikaaliset kriteerit, jotka on saatu kirjallisuudesta ja haastatteluiden pohjalta ovat mahdollisimman sileä pinta sekä dimensiostabiilisuus. Näiden lisäksi tärkeitä suureita ovat myös liuotinherkkyys (esim. asetaatit) sekä painomusteen mahdollisimman pieni tunkeuma ja leviäminen substraattissa. Nämä asiat on selvitetty tarkemmin kirjallisuusselvitys-osiossa (ks. raportti luku 3).

4.1.1 Näytteiden valmistus

Demonstraatiönäytteiden kuitupohjaksi valittiin lyhytkuituinen koivusellu. Koivusellua on käsitelty mahdollisimman fibrilloivalla sekä katkovalla jauhatuksella. Nämä jauhatukset on tehty entisen KCL:n laitteilla. Jauhatuksen onnistumista on seurattu SR-luvuilla sekä mikroskooppikuvilla. SR-luvut on esitetty taulukossa 1. Referenssinäytteet näille on valmistettu samasta materiaalista eli jauhamattomasta koivusellusta. Näiden käsittelyiden lisäksi koivusellusta on tehty Organosolv- keitto VTT Rajamäellä, jota pohjaa on myös hyödynnetty tutkimuksessa.

Näyte / KP	SR-luku	KA
Fibrilloitu koivusellu / KP2	90	90
Fibrilloitu koivusellu / KP2	90	
Katkottu koivusellu / KP3	84	84
Katkottu koivusellu / KP3	84	
Jauhamaton koivusellu / KP1	16	15,8
Jauhamaton koivusellu / KP1	15,5	

Taulukko 1 Valmistetut demonstraatiomassat ja niiden SR-luvut.

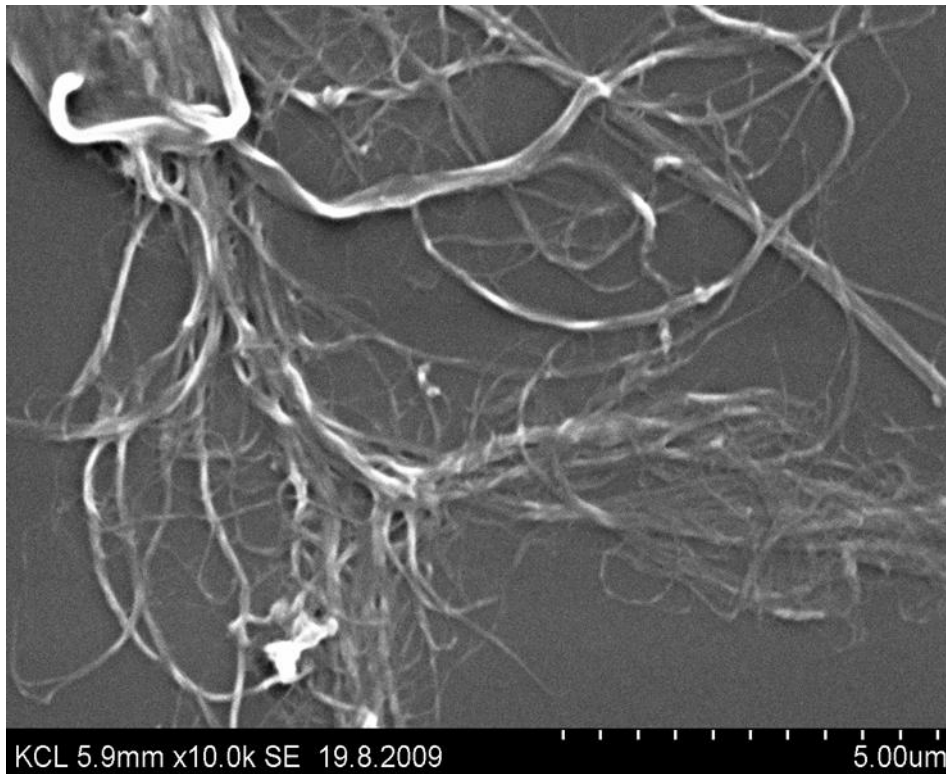
Käsiarkit on valmistettu 60 g/m² neliöpainoon. NFC:n massalisäyksen vaikutusta on tutkittu myös näillä samoilla koepisteillä. Nanoselluloosan lisäyspisteissä peruskuitua on vähemmän, koska neliömassatavoite on ollut koko ajan sama. Alla olevassa taulukossa on esitetty kaikki arkatut koepisteet. Täyteainelisäyksenä on NFC:n (kaupallinen DAICEL KY-100G) lisäksi kokeiltu Rajamäen VTT:llä valmistettua termoplastista tärkkiä (MOX). Ainoastaan Organosolv- massalle ei tässä demonstraatiolarjassa tehty täyteainelisäyksiä.

- 1 Jauhamaton koivusellu
 - 1 a referenssi
 - 1 b nano täyteaineena
- 2 Pitkälle fibrilloitu koivusellu
 - 2 a referenssi
 - 2 b nano täyteaineena
 - 2 c MOX täyteaineena
- 3 Pitkälle katkottu koivusellu
 - 3 a referenssi
 - 3 b nano täyteaineena
 - 3 c MOX täyteaineena
- 4 Organosolv keitetty koivuhake
 - 4 a referenssi

NFC:tä lisättiin täyteainepisteisiin 8 %, jolloin retentoitumisprosentin ollessa n. 75 %, voidaan karkeasti arvioida arkkiin jäävän n. 6 % nanoselluloosaa. MOX:n retentoimisessa arkkiin oli ongelmia. Käytetty MOX- lisäysmäärä oli 10 %, jonka lisäksi arkkauspisteisiin lisättiin retentiokemikaalia, Percol 47 0,02 %. MOX flokkasi prosessin aikana pahasti, joka nähdään myös valmiissa arkeissa. Näissä termoplastinen tärkki on jäänyt flokeiksi, jotka kalanteroidessa muuttuvat muovimaisiksi ja läpinäkyviksi. Lopputulos ei kuitenkaan ole haluttu, koska tarkoituksena olisi saada MOX lisättyä tasaisesti koko arkkiin ja täten saavuttaa haluttu plastisuus ja muovimaisuus. Tämä ei näissä kokeissa valitettavasti onnistunut, mutta jatkossa on mahdollisuus yrittää vaikuttaa MOX:in tasaisuuteen jo valmistusvaiheessa.

Arkkauksessa testasimme myös sileämpiä kuivatuslevyjä standardilevyjen sijaan. Tämä kokeilu aiheutti sen, että näytteet pääsivät joissakin pisteissä irtoamaan sileistä levyistä huonomman kontaktin vuoksi. Irtoamisen vuoksi arkkien karheus kasvoi. On siis syytä huomioida, että osasta pisteistä olisi ollut mahdollista saada vielä sileämpi lopputulos karheampia levyjä käyttäen. Jatkossa on mahdollista kokeilla muitakin levymateriaaleja näytteiden kuivatuksessa.

Kuvassa 1 on esitetty SEM - kuva kaupallisesta Daicel KY-100G nanoselluloosasta, joka sisältää paljon pitkähköjä ja kapeita fibrilloituja nanoselluloosasäikeitä.



Kuva 1 SEM- kuva Daicel KY-100G nanoselluloosasta.

Yllä lueteltujen koepisteiden lisäksi projektissa valmistettiin 80 % täyteainetta (Albacar) sekä 20 % nanoselluloosaa (Daicel KY-100G) sisältävä arkki.

4.1.2 Näytteiden jatkokäsittely

Osa näytteistä käsiteltiin sumuttamalla pieni määrä Daicel nanoselluloosaa (samaa kuin täyteaineena käytetty) paperin pintaan. Sumutuksessa liuoksen konsentraatio joudutaan pitämään alhaisena aineen suuren viskositeetin vuoksi, joten sumutusoperaatio tehtiin jokaiselle näytteelle kaksi kertaa peräjälkeen. Näin lopulliseksi NFC-määräksi pinnassa saatiin vaihtelevasti 4,2 – 5,6 % näytteen neliöpainosta. Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty punnitut arkkien neliömassapainot sekä sumutetut NFC määrät arkeissa. Jossakin pisteessä suutin tukkeutui ja nanoselluloosan saanto oli vähäisempi. Lisäksi pieni laskeva trendi NFC:n määrässä on nähtävissä esim. 1 a pisteen rinnakkaisnäytteiden kesken. Näytettä 3 ei pystytty sumuttamaan kuin yksi piste suuttimen tukkeutumisen takia. Suutinta oli vaikea puhdistaa ultraäänellä täysin puhtaaksi. Jatkokokeita ajatellen opetuksena on, että nanoselluloosalla on taipumus tehdä kalvoja liuoksessakin jo kohtuullisen nopeassa ajassa, joten uusi liuos on syytä tehdä joka kerta uusia kokeita varten.

KP	nanomäärä	
	g/m ²	g/m ²
1a1	64,48	3,56
1a2	65,05	3,30
1a3	64,29	3,08
1a4	64,01	3,10
1a5	64,54	2,89
1a6	64,05	2,66
2a1	61,09	3,03
2a2	61,11	2,82
2a3	60,04	2,45
2a4	58,97	1,22
2a5	60,39	2,27
2a6	61,26	2,37
3a1	62,61	2,17

Taulukko 2 Arkattujen pisteiden neliömassat ja näiden nanomäärät g/m²

Osa arkeista kalanteroitiin. Kalanteroimisessa lämpötila pidettiin vakiona 150 astetta mitattuna alatelan pinnalta. Nippipaine oli 10 bar, tarkoittaen viivanleveytenä 33.5 kN/m. Kalanterointi tehtiin myös nanosumutetuille ja kaoliinipäälystetyille arkeille.

Joillekin näytteille tehtiin myös kevyet kaoliinipäälystykset VTT:llä Espoossa Coatman – päälystysyksikössä. Päälystemäärän tavoite / koepiste n. 4 g/m². Näiden päälystysten tulokset sileyteen ovat myös nähtävissä vertailun vuoksi kappaleessa 5.2 profilometrimittaukset.

Osa näytteistä jätettiin referenssipisteiksi, joille ei tehty mitään käsittelyä.

4.1.3 Referenssinäytteet

Tässä projektissa haluttiin määrittää myös jo olemassa olevien tuotteiden käyttöpotentiaali painetun elektroniikan sovelluksiin. Alla on lueteltu mittauksiin referensseiksi mukaan otetut näytteet.

REFERENSSINÄYTTEET

- Leivinpaperi
- Valokuvauspaperi
- Glassine
- Tarrantausta
- AP250 / VTT testirulla
- FPP / VTT testirulla
- FP1 / VTT testirulla

Valokuvauspaperi mielletään markkinoiden parhaaksi sekä sileydeltään että käytettävyydeltään. Tämä paperi on moneen kertaan päälystettyä, laadukasta ja korkeahintaista. Yllä mainitut VTT:n testirullat ovat toisessa VTT:n projektissa

kehitettyjä rullia, jotka onnistuneesti painettiin Oulussa Pico roll-to-roll menetelmällä joulukuussa 2009. Näiden sileydystulokset on myös esitetty vertailun vuoksi kappaleessa 5.2 profilometritulokset.

Referenssinäytteinä projektin mittauksissa on myös käytetty painetun elektroniikan sovelluksissa yleisesti käytettyjä kolmea erilaista muovia:

REFERENSSIMUOVIT

- Mylar A 50 μm
- Lumimirror 40.01
- Melinex ST504

Näistä Mylar A on karheinta muovia ja lähempänä substraattia, joka kuitupohjalla olisi mahdollista korvata.

Projektin puitteissa on myös mitattu kartonkinäytteitä, jotka on saatu M-Realilta. Näiden näytteiden koodit ovat K1, K2, K3 ja K4.

K1 = päällystämätön pohjakartonki

K2 = esipäällystetty pohjakartonki

K3 = hyvälaatuinen ja sileä perustaivekartonki

K4 = erittäin sileä taivekartonki (edustaa taivekartonkien ”parasta tasoa”)

4.2 Käytetyt mittausmenetelmät

Näytteistä on mitattu yleiset paperitekniset ominaisuudet seuraavilla standardimenetelmillä:

- ilmanläpäisevyys SCAN-P 26:78
- lujuusmittaukset SCAN-P 38:80 ja SCAN-P 67:93
- bulkkisuus (neliömassa SCAN-P 6:75 ja paksuus SCAN-P 7:75)

Pinnan sileyden määrittämiseksi näytteet mitattiin AltSurf 500 –optisella profilometrillä, joka on pintaa koskettamaton ja korkea resoluutioinen menetelmä pinnan karheuden analysoimiseen kolmiulotteisesti. Profilometrissä valosäteen halkaisija on $1\mu\text{m}$, jolloin profilometrillä saadaan informaatiota pinnan topografiasta muutaman mikrometrin mittakaavassa. Laitteen z-suuntainen resoluutio on 10nm ja näissä mittauksissa näytteistä mitattiin 10 kpl 30 mm:n pituisia viivoja $1\mu\text{m}$ tasonsuuntaisella resoluutiolla. Näistä kaikista viivoista poistettiin isomittakaavainen vaihtelu (yli 5 mm) ja niistä laskettiin keskiarvot.

R_a = laskennallinen keskiarvo keskiarvopoikkeamista [μm]

$$R_a = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} |z_{x,y}| \quad (1)$$

Kosteusdimensiomuutoksia varten näytteet on skannattu eri kosteuksissa. Määritetty kosteussykli on ollut seuraavanlainen: ensin RH 50 %, josta

näytteiden suhteellinen kosteus laskettiin 10 %:iin. Tästä vuorostaan nosto 66 % kosteuteen ja edelleen nosto 90 %:n kosteuteen. Tästä vielä suhteellinen kosteus laskettiin 10 %:iin. Näytteet on pussitettu ja skannaus on tehty pussin läpi. Näytteiden leikkaus on suoritettu 50 % RH kosteudessa, jolloin näytekappaleiden sivujen pituudet olleet 6*6 cm². Näytteet ovat skannattu 300 dpi resoluutiolla, joka tarkoittaa 11.8 pikseliä / mm. Näytteitä on pidetty vähintään 14 tuntia kussakin kosteudessa.

5 Tulokset

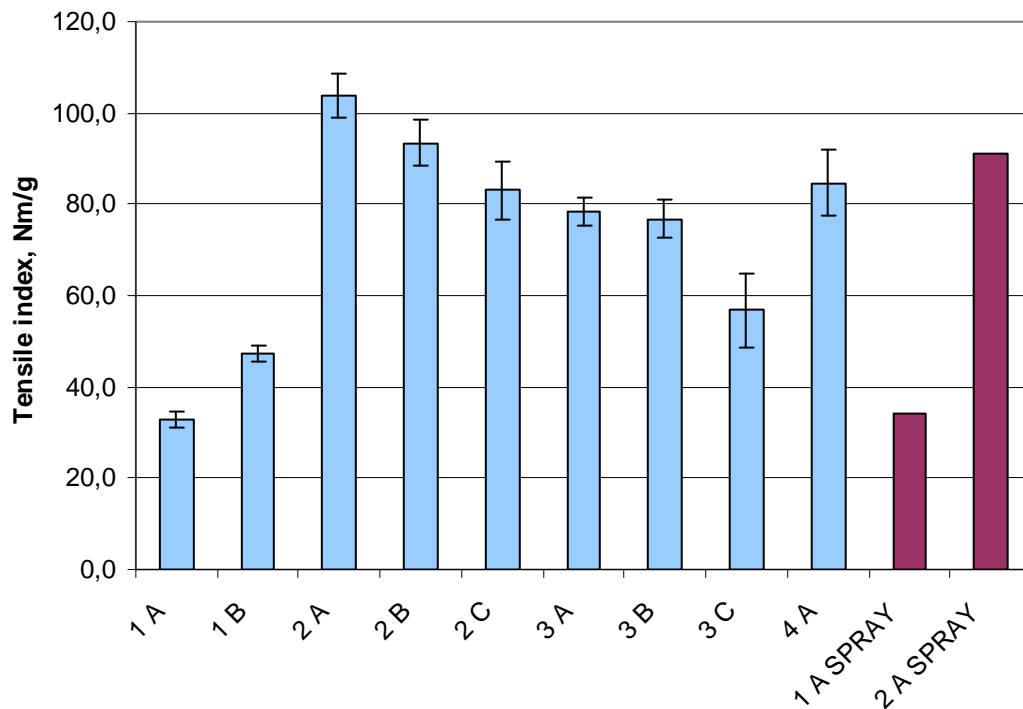
5.1 Standardimittaukset

5.1.1 Vetolujuudet

Kuvassa 2 on esitetty vetolujuusindeksit laskettuna kaikille projektissa valmistetuille pohjapaperinäytteille. Vertailun vuoksi myös nanoselluloosalla sumutetut arkit ovat mukana kuvassa. Nähdään, että fibrilloidulla jauhatuksella (kp 2 A) on saavutettu suurin vetolujuus. Odotetusti pienin vetolujuus on jauhamattomasta koivusellusta valmistetussa pisteessä (1 A). Nanoselluloosan lisäys täyteaineena (B-pisteet) ei vaikuta systemaattisesti vetolujuuteen, vaan toisissa pisteissä se nostaa lujuutta ja toisissa se laskee lujuutta. Nanoselluloosa applikoituna pintaan ei nosta vetolujuusindeksiä ainakaan näin pienillä määrillä.

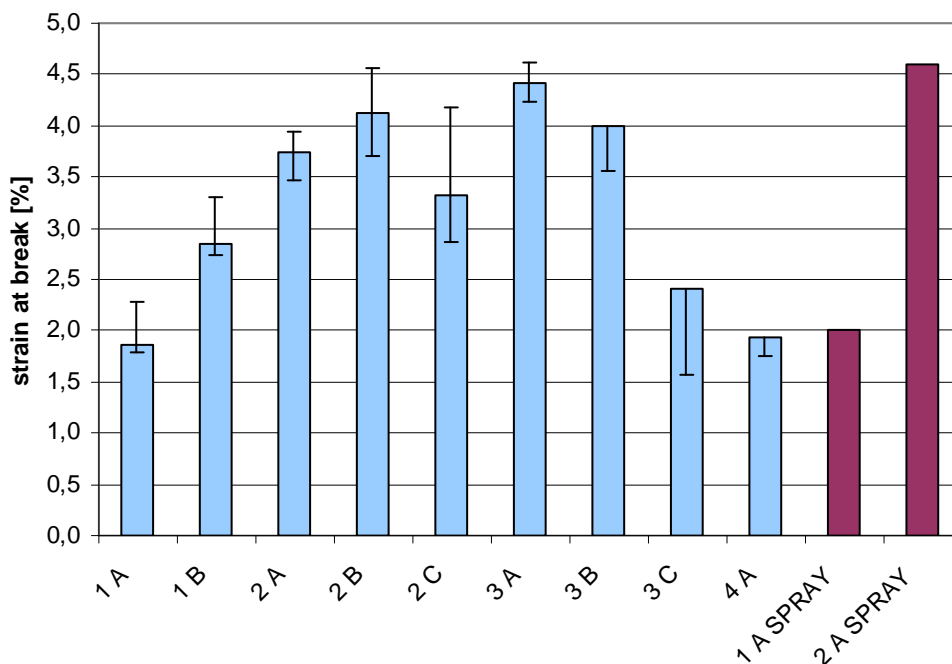
Huomion arvoista on, että organosolv-keitolla valmistetussa näytepisteessä (4 A) jauhamattoman arkin vetolujuusindeksi on yli 80 Nm/g. Tämä on yli kaksi kertaa isompi kuin tavallisella kemiallisella keitolla käsitelty vertailupiste (1 A).

Täyteaineena lisätty termoplastinen tärkki (MOX) vähentää vetolujuusindeksiä (C-pisteet).



Kuva 2 Pohjapaperinäytteiden vetolujuusindekset.

Vastaavat koepisteet on esitetty kuvassa 3 murtovenymän suhteen. Murtovenymä on suurin katkovan jauhatuksen pisteessä (3 A) ja taas vastaavasti pienin organosolv- käsitellyssä pisteessä (4 A). NFC:n lisäys (B-pisteet) vaikuttaa jälleen toisiin arkkipohjiin lisäämällä murtovenymää, kun taas toisissa pisteissä NFC laskee sitä. MOX:n lisäys laskee murtovenymää (C-pisteet). NFC:n applikointi pintaan ei merkittävästi muuta murtovenymää.

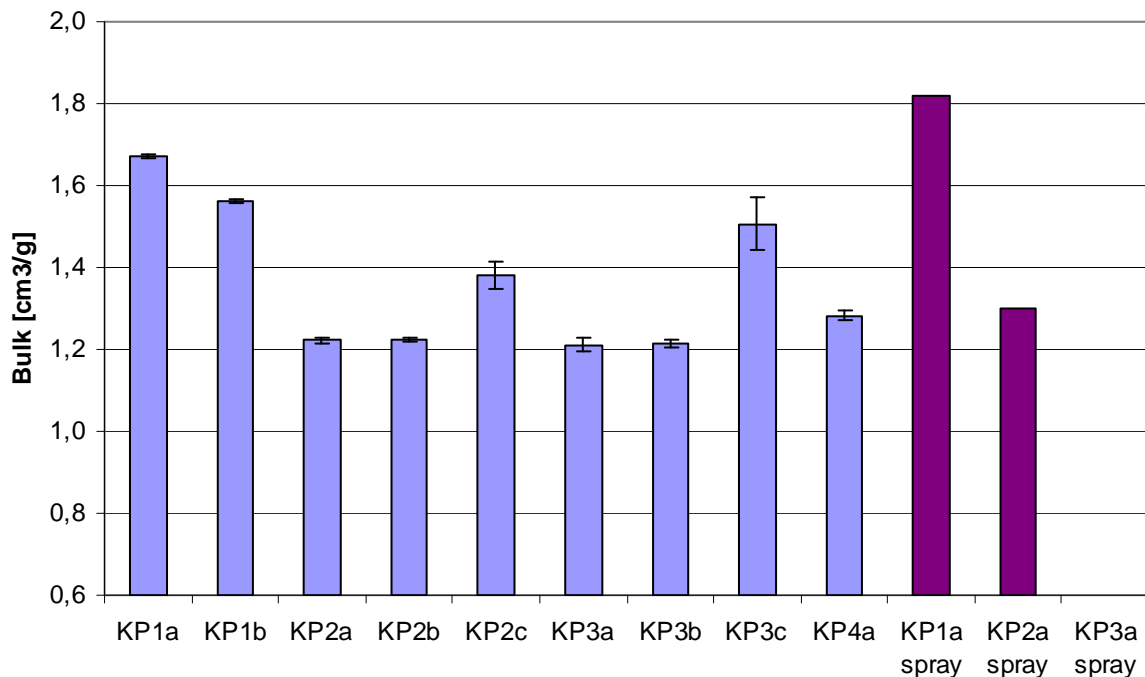


Kuva 3 Pohjapaperinäytteiden murtovenymät.

5.1.2 Bulkkisuus

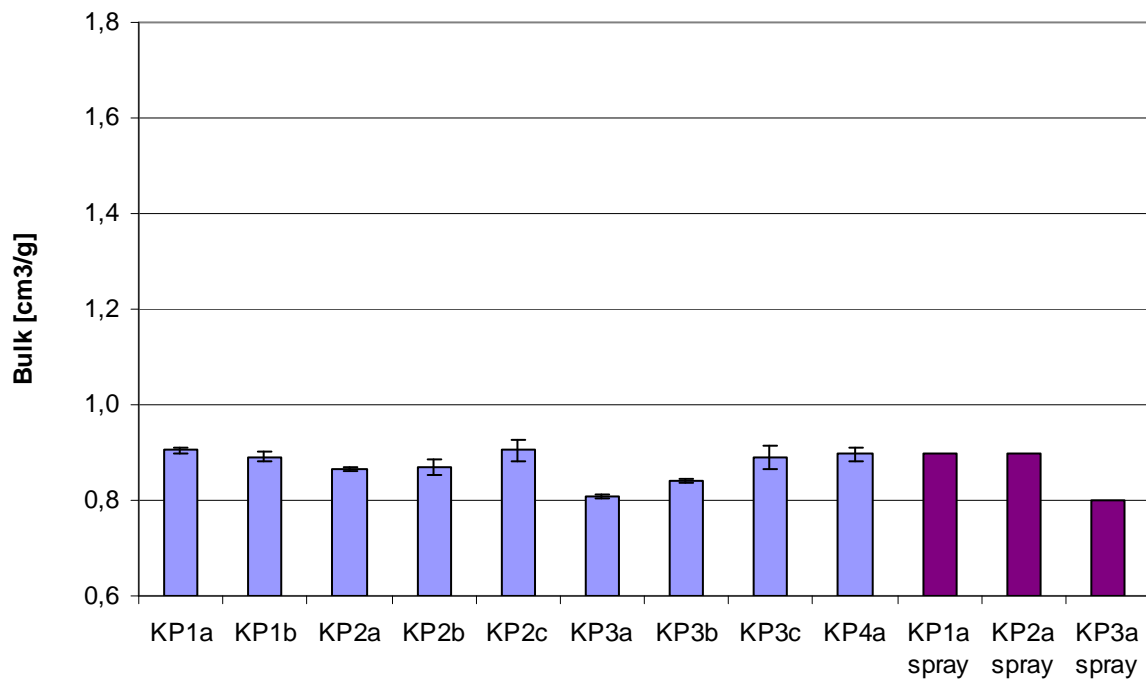
Valmistettujen pohjapaperinäytteiden bulkkisuudet ennen kalanterointia on esitetty kuvassa 4. Nähdään, että jauhamattomasta koivusellusta tehty piste (1a) on bulkkisin, kuten on odotettavaakin. Fibrilloivalla ja katkovalla jauhatuksella on saavutettu bulkkisuudeltaan samanlaiset näytearkit (2a ja 3a). NFC:n lisäyksellä täyteaineena (b-pisteet) ei juuri ole vaikutusta bulkkisuuksiin. MOX:n lisäys täyteaineena puolestaan lisää bulkkisuutta näytteissä (c-pisteet).

NFC:n lisäyksellä pintaan sumuttamalla on lisätty näytteiden bulkkisuutta.



Kuva 4 Pohjapaperinäytteiden bulkkisuudet ennen kalanterointia.

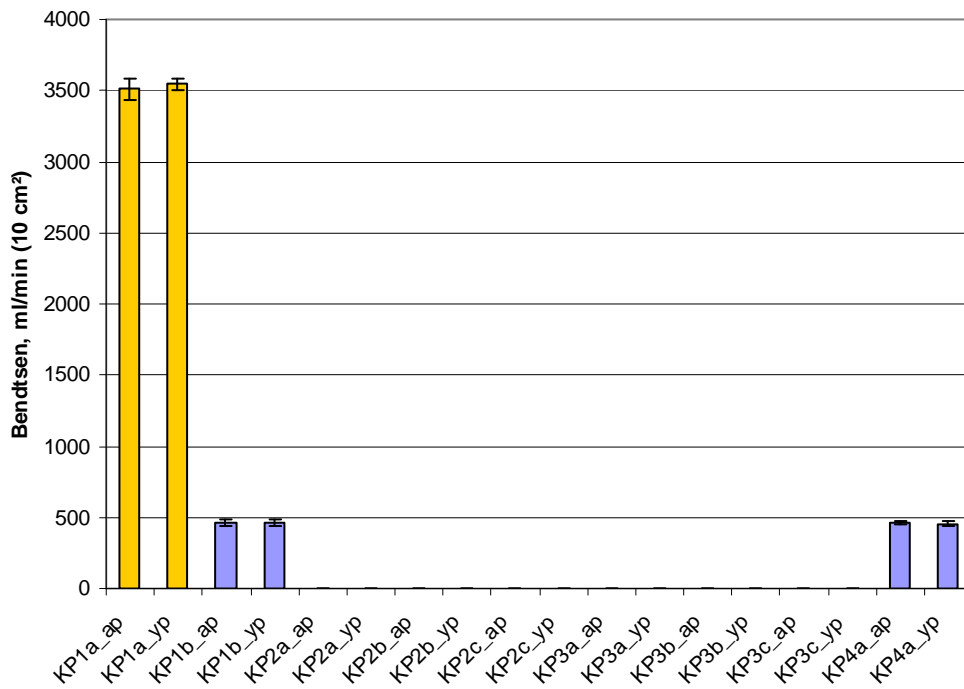
Kuvassa 5 nähdään, että kalanteroinnilla on odotuksien mukaan laskettu kaikkien näytteiden bulkkisuuksia. Erot näytteiden välillä tasaantuvat. Katkovalla jauhatuksella tehty 3a koepiste on kalanteroinnin jälkeen vähiten bulkkisin. Näissä tuloksissa on myös KP3a sumutettu piste mukana, vaikka edellisissä tuloksissa tämä piste puuttuu näytemäärän vähäisyyden vuoksi.



Kuva 5 Pohjapaperinäytteiden bulkkisuudet kalanteroinnin jälkeen.

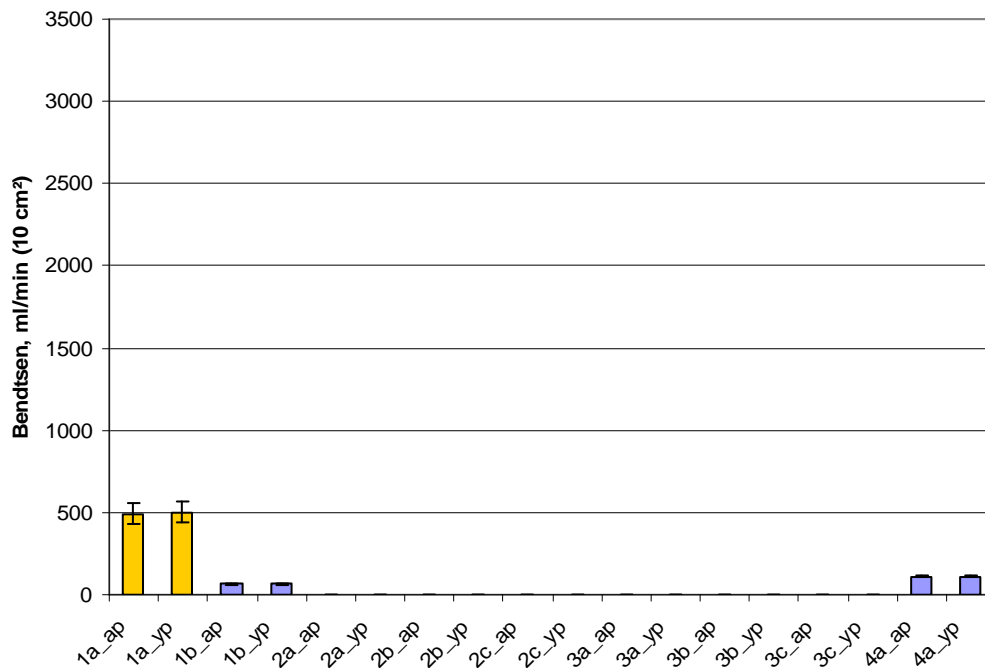
5.1.3 Ilmanläpäisy

Kuvassa 6 on esitetty ilmanläpäisevyydet ennen kalanterointia. Jauhamattomasta koivusellusta tehdyt demonstraatiopisteet (1a) ovat ilmanläpäisevyydeltään aivan omassa luokassaan muihin koepisteisiin verrattuna eli ne ovat erittäin huokoisia rakenteita. Jo pieni määrä nanoselluloosaa täyteaineena laskee ilmanläpäisevyyttä todella paljon (ks. kuvassa pisteet 1a ja 1 b ero). Organosolv- massasta tehty piste (4a) on myös mitattavissa ilmanläpäisevyys mittarilla. Kaikki muut koepisteet ovat mittausrajan alapuolella, eli bentsen-mittarilla näitä ei pysty analysoimaan.



Kuva 6 Pohjapaperinäytteiden ilmanläpäisyarvot Bentsen-mittarilla mitattuna ennen kalanterointia.

Kuvassa 7 on esitetty samat koepisteet kalanteroinnin jälkeen. Nähdään, että kalanterointi laskee ilmanläpäisevyyttä paljon odotusten mukaisesti kaikissa mittausrajan yläpuolella olevissa pisteissä.

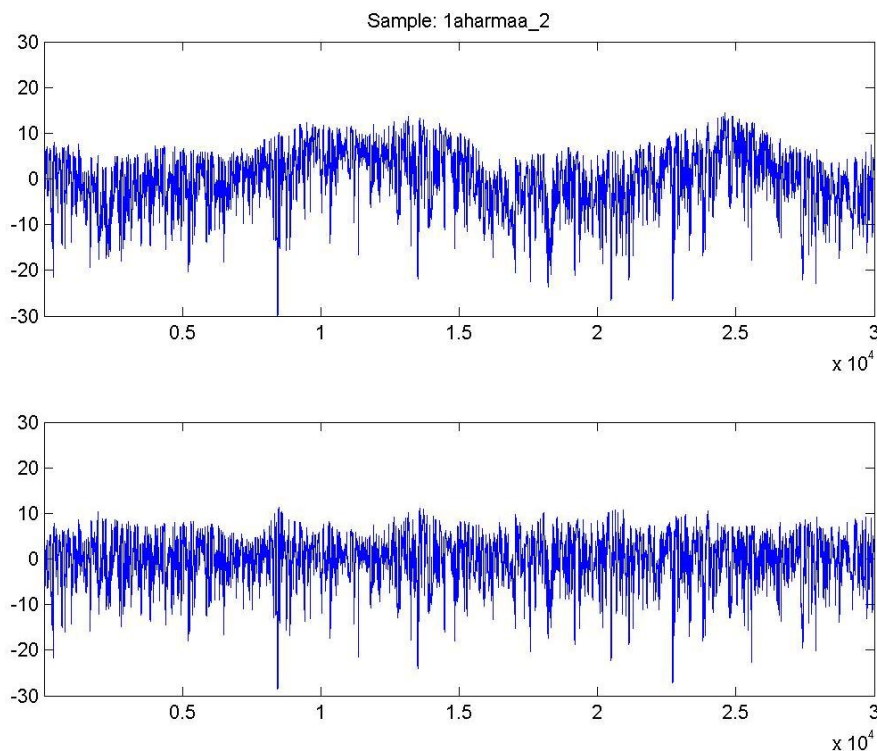


Kuva 7 Kalanteroitujen arkkien ilmanläpäisyarvot Bentsen-mittarilla mitattuna.

5.2 Profilometrimittaukset pinnan sileydelle

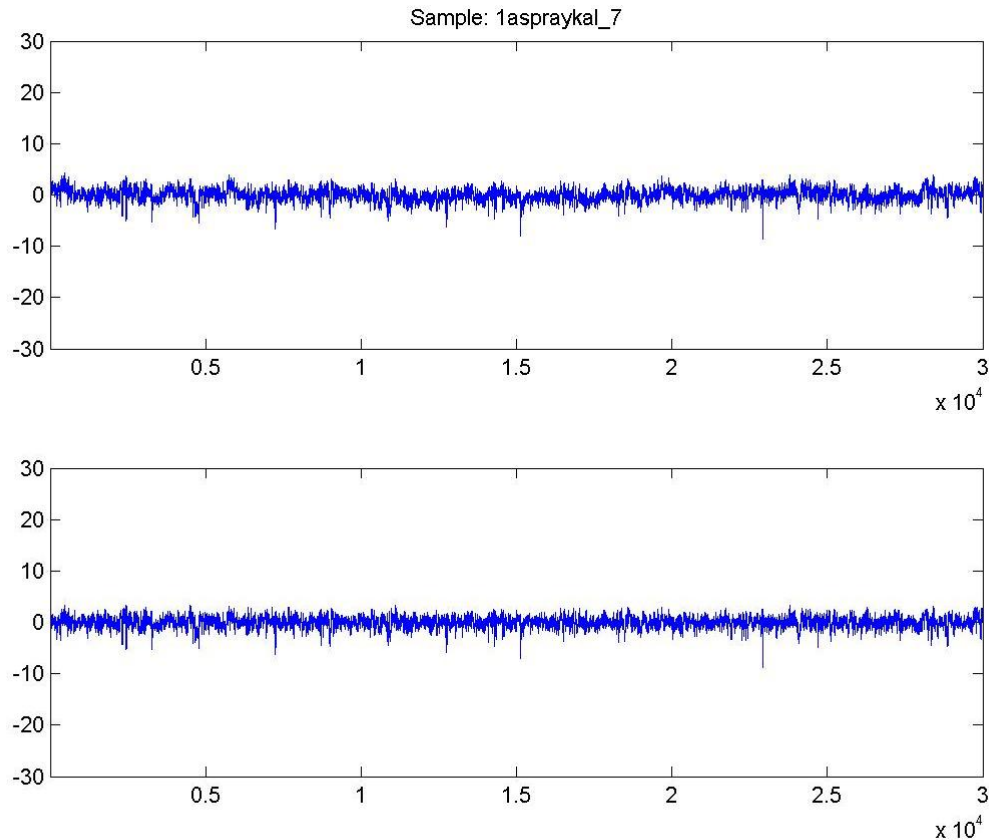
Pohjapaperinäytteistä on tehty pinnan sileysmittaukset optisella profiometrillä sekä ennen kalanterointia että kalanteroinnin jälkeen. Näiden lisäksi myös kaikki referenssinäytteet ovat mitattu optisella profiometrillä.

Kuvassa 8 on esitetty esimerkkinä jauhamattomasta koivusellusta tehdyn näytteen käsittelemätön profiili. Ylhäällä on kalanteroimattoman näytteen profiili ja alhaalla on vastaava profiiliviiva, josta on poistettu yli 5 mm:n kokoinen vaihtelu. Vastaavat profiiliviivat on mitattu myös muista näytepisteistä. Näistä on laskettu keskiarvovaihtelu keskiviivan suhteen, R_a , jota käytetään näytteiden vertailuun.



Kuva 8 Jauhamattomasta koivusellusta tehdyn arkin pinnankarheusprofiilit ennen ja jälkeen suodatuksen.

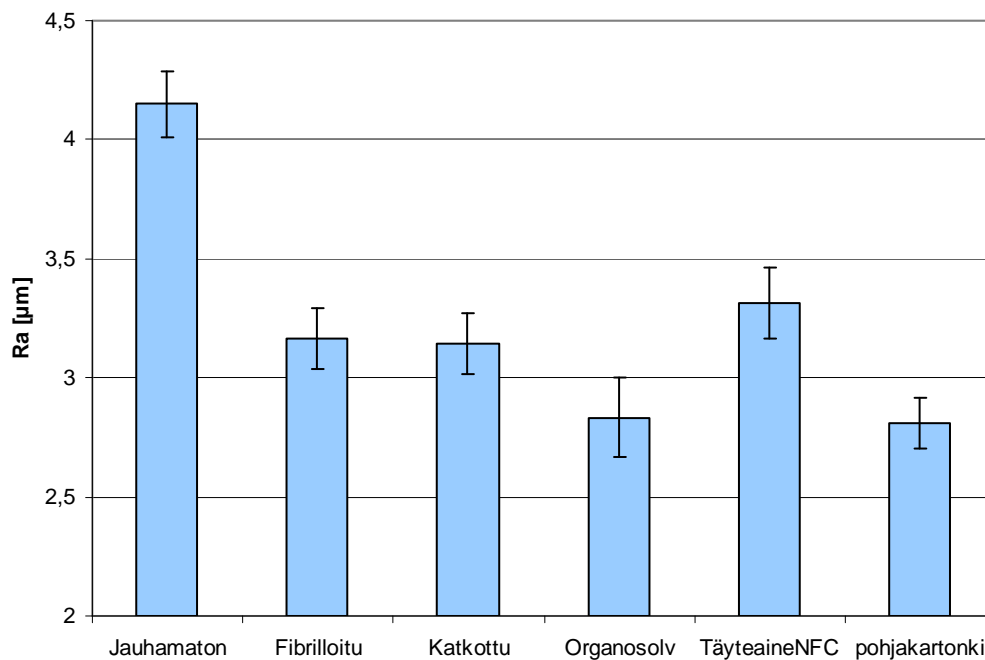
Vertailun vuoksi kuvassa 9 on esitetty sileämpi karheusprofiili eli kyseessä on jauhamattoman sellun pintaan sumutettu pieni määrä nanoselluloosaa kalanteroinnin jälkeen. Ylemmässä kuvassa on käsittelemätön profiili ja alemmassa on suodatettu pois yli 5 mm:n vaihtelut.



Kuva 9 Nanoselluloosaa pintaan sumutetun pohjapaperiarkin pinnankarheusprofiilit kalanteroinnin jälkeen ennen ja jälkeen suodatuksen.

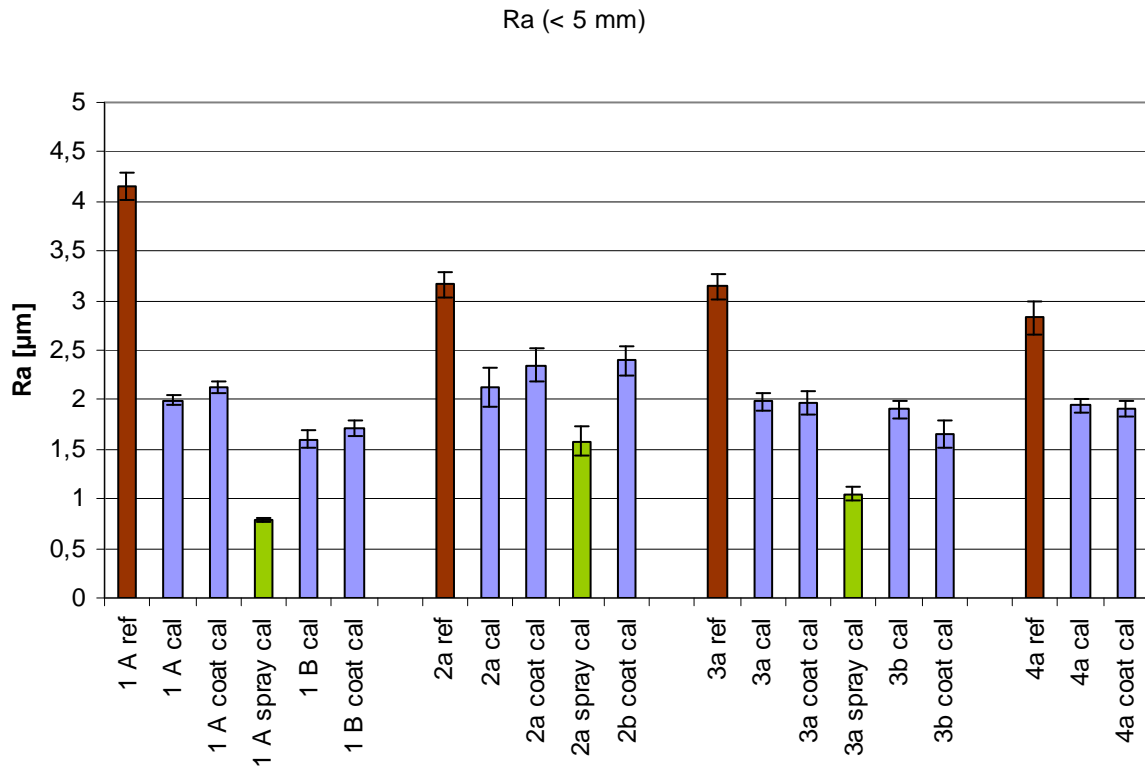
Kuvassa 10 on esitetty pinnan karheustulokset kalanteroimattomille pohjanäytteille. Huomataan, että lähtötasoltaan karhein paperi saavutetaan jauhamattomasta koivusellusta, kuten odotettavissa olikin. Fibrilloidusta ja katkotusta koivusellusta saavutetaan molemmille suhteellisen sileä pinta, mutta keskenään näillä ei havaita eroa. Mielenkiintoista on, että organosolv- keitetystä koivusellusta voidaan arkata näitäkin sileämpi pinta.

Vertailun vuoksi kuvaajassa on esitetty pohjakartongin ja suuren täyteainepitoisuuden omaavan kalanteroimattoman näytteen karheudet. Pohjakartongille on kuitenkin tehty jo tässä kalanterointia, joten täysin vertailukelpoinen piste se ei ole muihin pisteisiin verrattuna.



Kuva 10 Pinnan karheustulokset (Ra-arvot) pohjapaperinäytteille.

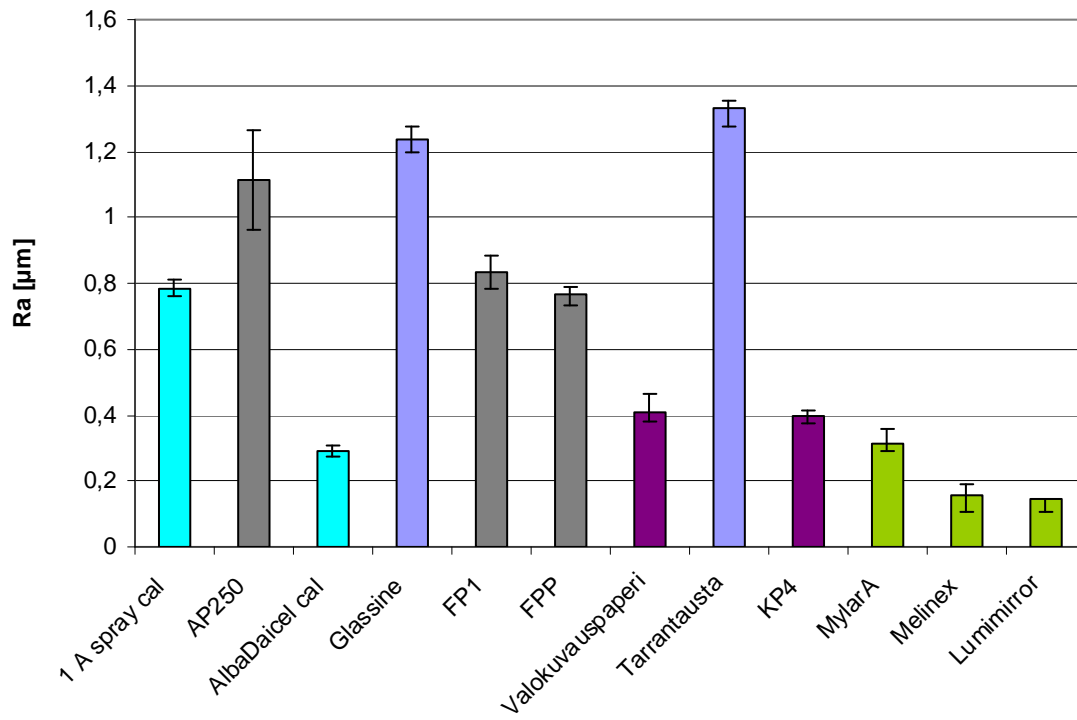
Kuvassa 11 on esitetty kaikkien projektissa valmistettujen näytteiden karheudet. Havaitaan, että kalanteroinnin jälkeen jauhamattoman ja jauhettujen koivuselluarkkien pinnan karheudet tasoittuvat eli enää ei näiden välillä ole merkittäviä eroja. Tästä nähdään myös, että kaoliinipäällystyksellä ei näillä koepisteillä saavutettu sileämpää pintaa. Tämä tulos johtunee pienestä päällysteen määrästä (n. 4 g/m²). Nanoselluloosan lisääminen täyteaineena ei merkittävästi paranna pinnan karheutta. Sen sijaan nanoselluloosan lisääminen sumuttamalla pintaan saa aikaan selkeän pinnan karheuden pienenemisen. Sumutetut pisteet ovat sileydystasoltaan kalanteroinnin jälkeen erityisesti jauhamattoman koivusellun pisteessä todella alhaisella tasolla.



Kuva 11 Pinnan karheustulokset (Ra-arvot) käsitellyille demonstraationäytteille.

Kuvassa 12 on verrattu valittuja kalanteroituja demonstraationäytteitä referenssinäytteisiin. Korkean täyteainepitoisuuden arkki on todella alhaisella tasolla karheuden suhteen, itse asiassa samalla tasolla Mylar A – muovin karheuden ($Ra = 0.31 \mu\text{m}$) kanssa näillä mittauksilla todennettuna. Karheusluokaltaan korkean täyteainepitoisuuden arkki ($Ra = 0.29 \mu\text{m}$) on myös parempi kuin valokuvauspaperi ($Ra = 0.41 \mu\text{m}$) ja silein kartonkinäyte KP4 ($Ra = 0.39 \mu\text{m}$). Mielenkiintoista ja lupaavaa on, että jauhamattoman selluarokin pintaan sumutettu pieni määrä NFC:tä saa myös aikaan todella alhaisen karheustason näytteessä. Taulukossa 3 on esitetty karheusarvot kaikille mittapisteille.

Harmaana esitetyt VTT:n toisessa projektissa kehitetyt paperirullat ovat onnistuneesti painettu Oulussa Pico – laitteella rullalta rullalle. Karheusarvot näille rullille on vertailun vuoksi tässä esitetty, koska tiedetään johtavalla musteella tehdyn painatuksen näille substraateille jo onnistuneen.



Kuva 12 Projektin referenssinäytteiden ja demonstraationäytteiden pinnankarheustuloksia (Ra- arvot).

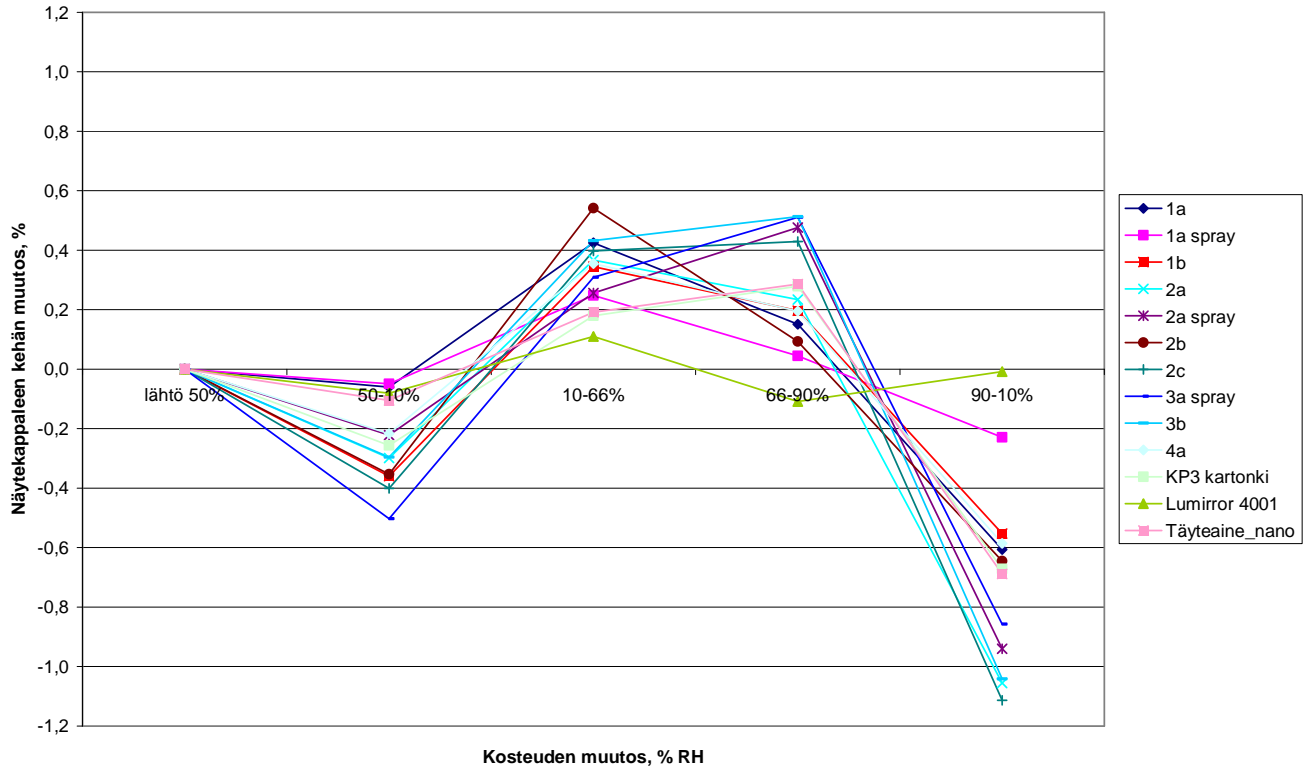
	Ra [μm]	Rq [μm]	Ra (< 5 mm) [μm]	Rq (< 5 mm) [μm]
1 A ref	4,74	0,20	4,15	0,14
1 A cal	2,20	0,14	1,99	0,05
1 A coat cal	2,41	0,20	2,13	0,07
1 A spray cal	0,93	0,05	0,78	0,02
1 B cal	1,73	0,09	1,60	0,09
1 B coat cal	1,95	0,13	1,71	0,08
2a ref	5,01	0,34	3,16	0,13
2a cal	2,81	0,27	2,13	0,19
2a coat cal	3,14	0,24	2,35	0,16
2a spray cal	2,48	0,50	1,58	0,14
2b coat cal	3,23	0,17	2,39	0,15
3a ref	5,17	0,41	3,14	0,13
3a cal	2,41	0,14	1,98	0,09
3a coat cal	2,45	0,19	1,97	0,12
3a spray cal	1,33	0,08	1,05	0,07
3b cal	2,44	0,12	1,91	0,09
3b coat cal	2,25	0,26	1,65	0,14
4a ref	3,55	0,44	2,83	0,17
4a cal	2,18	0,16	1,94	0,08
4a coat cal	2,19	0,12	1,91	0,07
AP250	2,89	0,44	1,11	0,15
AlbaDaicel ref	14,13	1,53	3,31	0,49
AlbaDaicel cal	0,90	0,13	0,29	0,02
Glassine	2,56	0,27	1,24	0,04
FP1	2,44	0,40	0,83	0,05
FPP	2,68	0,39	0,76	0,03
Leivinpaperi	5,57	0,35	3,78	0,19
Valokuvauspaperi	1,33	0,27	0,41	0,02
Tarrantausta	2,91	0,42	1,33	0,06
KP1	3,74	0,31	2,81	0,11
KP2	2,57	0,61	1,01	0,05
KP3	1,54	0,25	0,44	0,02
KP4	2,61	0,41	0,39	0,02
MylarA	1,03	0,07	0,31	0,02
Melinex	1,11	0,50	0,15	0,05
Lumimirror	0,58	0,15	0,14	0,04

Taulukko 3 Näytteiden karheustulokset (Ra-arvot [μm]) profiometrillä mitattuna sekä ennen että jälkeen suodatuksen

5.3 Dimensiostabiliteettimittaukset kosteudelle

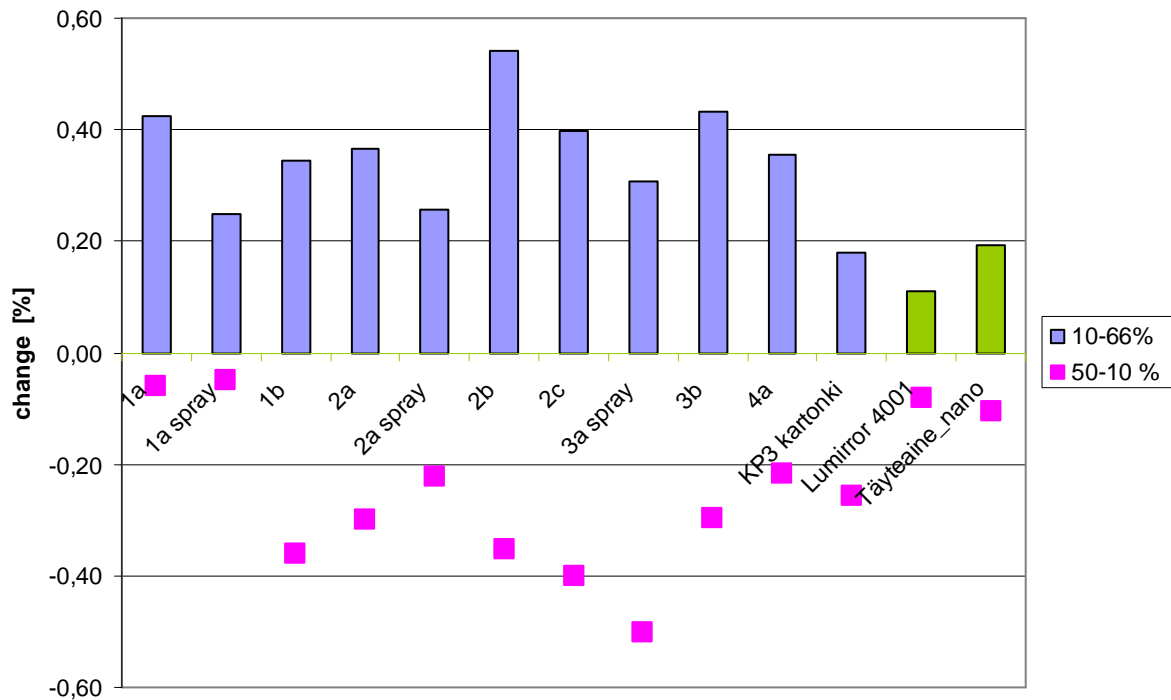
Dimensiomuutokset eri kosteuksissa mitattiin tässä projektissa sekä demonstraationäytteille että referenssinäytteille. Kuvassa 13 on esitetty kaikki saavutetut tulokset. Nähdään, että muovilla dimensiomuutokset ovat pieniä (referenssinäyte Lumimirror) kaikkien kosteusmuutosten jälkeen. Kuitusubstraattien dimensiomuutokset ovat suurempia, kuten oli odotettavissakin.

Korkean täyteainepitoisuuden arkki muuttuu vähän kosteusmuutoksissa 50 % - 10 % sekä 10 % - 66 % RH muutoksissa. Nämä ovatkin realistisimmat odotettavissa olevat sovelluksissa tapahtuvat kosteusvaihtelut. Myös nanoselluloosaa pintaan sumuttamalla voidaan vähentää kosteuselämistä, joten tässäkin mielessä tämä näytteen modifiointitapa vaikuttaa lupaavalta. Y-akselin arvona tuloksissa on näytekkappaleen kehän muutos prosentteina. Kehän muutos on näytekkappaleen reunaviivoista etsittyjen sivujen muutoksien summa prosentteina.



Kuva 13 Dimensiomuutokset pohjapaperinäytteille sekä sumutetuille arkeille suhteellisen kosteuden muutoksen funktiona [%].

Kuvassa 14 on esitetty vielä tarkemmin sovelluksen kannalta olennaisimmat kosteusmuutostulokset.



Kuva 14 Sovellusten kannalta oleelliset dimensiomuutokset suhteellisen kosteuden funktiona.

Taulukossa 4 on esitetty kosteuden mukaan muuttuneet dimensiot muutosprosentteina.

	lähtö 50%	50-10%	10-66%	66-90%	90-10%
1a kalanteroitu	0	-0,06	0,42	0,15	-0,61
1a sum&kal	0	-0,05	0,25	0,04	-0,23
1b kalanteroitu	0	-0,36	0,35	0,20	-0,55
2a kalanteroitu	0	-0,30	0,37	0,23	-1,06
2a sum&kal	0	-0,22	0,26	0,48	-0,94
2b kalanteroitu	0	-0,35	0,54	0,09	-0,65
2c kalanteroitu	0	-0,40	0,40	0,43	-1,11
3a sum&kal	0	-0,50	0,31	0,51	-0,86
3b kalanteroitu	0	-0,30	0,43	0,51	-1,04
4a kalanteroitu	0	-0,22	0,36	0,20	-0,59
KP3 kartonki	0	-0,26	0,18	0,28	-0,67
Lumirror 4001	0	-0,08	0,11	-0,11	-0,01
Täyteaine_nano	0	-0,10	0,19	0,29	-0,69

Taulukko 4 Suhteellisen kosteuden funktiona muuttuneet dimensiot muutosprosentteina.

6 Johtopäätökset

Projektissa on saavutettu erittäin hyvä pinnan sileys muutamalla eri koepisteellä. Paras tulos sileyden suhteen saavutettiin korkean täyteaineen (80 %) arkilla, joka sisältää täyteaineen lisäksi 20 % nanoselluloosaa. Tarvittavan sileyden

aikaansaaminen vaati näytearkin kalanteroinnin. Riittävällä lämpö- ja painekäsittelyllä pintaan saatiin Mylar A muovin suuruusluokan sileystaso ja muovimainen tuntu. Profilometrimittauksilla saavutettu pinnan sileys on myös selvästi parempi kuin referenssinäytteenä olleen kaupallisen valokuvapaperin sileys.

Lupaavia ja mielenkiintoisia tuloksia on myös projektissa saavutettu lisäämällä pieni määrä nanoselluloosaa kuituranteeseen. Erittäin hyvä pinnan sileys on saavutettu, kun NFC on sumutettu jauhamattoman selluarkin pintaan ja näyte on käsittelyn jälkeen kalanteroitu. Jatkossa on mielenkiintoista tutkia tarkemmin, miksi juuri jauhamaton koivusellu toimii niin hyvin tässä suhteessa NFC:n kanssa. Tämä tulos todistaa myös sen, miten tärkeää on tutkia sekä kuitupohjan vaikutusta että massan käsittelymenetelmiä jotta sopiva kuitupohjainen substraatti löydetään painetun elektroniikan sovelluksiin

Myös organosolv- materiaalin potentiaali painetun elektroniikan sovelluksiin on ilmeinen, koska jauhamaton materiaali on sileydeltään ja lujuusominaisuuksiltaan hyvälaatuista jo lähtötasoltaan.

Ilman suhteellisen kosteuden aiheuttamat dimensiomuutokset sekä korkean täyteaineen arkilla että jauhamattoman, pintaan sumutetun nanoselluloosa-arkilla ovat kohtuullisen hyviä sovelluksien kannalta. Muoviin verrattuna nämä substraatit elävät kuitenkin hieman enemmän kosteuden mukana.

Lujuusominaisuudet eivät ole kriittisin ominaisuus painetun elektroniikan sovelluksissa, joten siitä syystä parhaimpien kuitusubstraattien sekä korkean täyteainepitoisuuden omaavien rakenteiden heikohkot lujuudet eivät ole todennäköisesti estämässä niiden käyttöä tulevaisuudessa. Rakenteiden lujittamiseen on mahdollista käyttää myös erilaisia lisäaineita.

7 Jatkoimenpide-ehdotukset

Tässä projektissa on saavutettu erittäin lupaavia tuloksia liittyen kuitusubstraatin käyttöön painetun elektroniikan sovelluksissa. Oleellisinta on saavuttaa riittävän sileä pinta, jotta sovelluksen johtavuus on riittävällä tasolla. Tässä projektissa olemme löytäneet monta tutkittua muuttujaa, joilla pystytään vaikuttamaan pinnan sileysominaisuuteen. Tutkimusta on syytä jatkossa laajentaa koskemaan jatkossa labra-mittakaavaisia painatuskokeita (esim. ink jet- menetelmällä) jolloin on mahdollista selvittää myös sovelluksen johtavuusominaisuuksia. Näiden lisäksi kosteuden vaikutusta lopulliseen pinnan sileyteen ja johtavuuteen olisi mielenkiintoista tutkia lisää erilaisten kuitumateriaalin kanssa. Tässä vaiheessa on mahdollista myös määritellä ja yksilöidä sovelluskohde / sovelluskohteet (esim. RFID-anturit). Täten jo demonstraationäytteitä suunnitellussa voidaan ottaa huomioon sovelluksen / sovellusten yksilölliset tarpeet.

Painetun elektroniikan sovelluksiin sopivaa kuitupohjaista substraattia pitää tutkia edelleen raaka-aineen valinnasta ja käsittelystä lähtien. Jatkoprojektissa olisi syytä tutkia tarkemmin jauhamattoman ja vähän jauhetun materiaalin soveltuvuutta yhdessä nanomateriaalin kanssa näihin ko. sovelluksiin. Erityisen lupaava materiaali jatkotutkimusta ajatellen on korkean täyteainepitoisuuden arkki yhdessä kaupallisen nanoselluloosan kanssa. Näiden lisäksi organosolv- käsitelty

kuitumassa yhdessä nanoselluloosan kanssa on mielenkiintoinen jatkoprojektin tutkimusaihe. Projektissa on tarkoituksena hyödyntää kaupallisia nanoselluloosamateriaaleja.

Projektissa on saavutettu hyviä tuloksia sumuttamalla pieni määrä nanoselluloosaa näytteen pintaan. Tätä aihealuetta olisi myös syytä tutkia lisää eli mikä olisi optimaalinen NFC:n lisäystapa kuitumateriaalin sekä määrä. Labramittakaavaisia päällystystapoja on mahdollista laajentaa käsittämään sumutuksen lisäksi sauva- sekä teräpäällystys erilaisille raaka-ainepohjille.

Näytteiden jatkokäsittelyssä kalanteroinnilla on iso vaikutus näytteen sileyteen. Kalanterointiolosuhteiden optimointia olisi syytä tutkia jatkoprojektissa. Tässä mielenkiintoisen mahdollisuuden tuo Metson kehittämä uusi Belt-kalanterilla tapahtuva pitkä nippitapahtuma. Tämä voisi toimia hyvin kun ajatellaan tarvittavaa pinnan sileyttä.

Condebelt kuivatuksen kaltainen pinnan raju lämpötilakäsittely olisi hyvä jatkoprojektissa saada todennettua. Valitettavasti tähän projektiin emme saaneet tarvittavia näytteitä, jotta ne olisi voitu jo liittää tähän ensimmäiseen demonstraationäytesarjaan.

8 Lähdeviitteet ja abstrakteja

[1. Polymeric materials for printed electronics and their interactions with paper substrates](#)

Hrehorova, Erika; Pekarovicova, Alexandra; Bliznyuk, V.N.; Fleming, Paul D.

Source: International Conference on Digital Printing Technologies, p 928-931, NIP 23, 23rd International Conference on Digital Printing Technologies, Technical Program and Proceedings and Digital Fabrication 2007, 2007

ISBN-10: 0892082739

Conference: NIP 23, 23rd International Conference on Digital Printing Technologies, and Digital Fabrication 2007, Sep 16 - 21 2007 Sponsor: Society for Imaging Science and Technology, IS and T; Imaging Society of Japan

Publisher: Society for Imaging Science and Technology

Abstract: The primary goal of printing electronics is to create structures and devices that are functionally similar to conventional electronics, but at greater speed, lower cost and less production complexity. The applications that will be affected by lower cost of electronics include RFID tags, solar cells, displays, chemical sensors, etc. In this work, effects of paper properties and their effect on sheet resistivity of gravure printed PEDOT.-PSS layers were evaluated. Among paper properties, it was observed that absorptivity and ink penetration had negative effect on conductivity. The higher the ink penetration into the substrate surface the lower the conductivity. Moreover, surface energy of the substrates needs to be in balance with surface tension of the conductive inks. (17 refs.)

Database: PaperChem

[2. Effect of substrate properties on conductive traces printed with silver-based flexographic ink](#)

Kattumenu, Ramesh¹; Rebros, Marian^{1, 2}; Joyce, Margaret^{1, 2}; Fleming, Paul D.^{1, 2}; Neelgund, Gururaj^{1, 2} Source: Nordic Pulp and Paper Research Journal, v 24, n 1, p 101-106, 2009

ISSN: 02832631 CODEN: NPPJEG

Publisher: SPCI

Author affiliation:

1 Western Michigan University, United States

2 Western Michigan University, Department of Paper Engineering, Chemical Engineering and Imaging, A-217 Parkview Campus, Kalamazoo, MI, 49008, United States

Abstract: Applications for printed electronics are quickly growing, due to the development of new materials and methods to achieve low cost flexible electronics. This has stimulated great interest in various printing technologies. Many materials, mainly extruded polymer films are being used as substrates for the printing of radio frequency identification (RFID) components. To further the advancements in materials processing, paper and board substrates were evaluated for their suitability as the carrier material for supporting printed electronic components. Paper substrates were characterized according to their physical and surface properties to evaluate their effect on the printability and conductivity of silver flake inks. This is the first step in understanding the factors that affect the printing of conductive traces for radio frequency components. Traces printed on paper substrates with silver flake conductive inks had edge raggedness less than 60 μm and sheet resistivity as low as 0.35 Ω/sq at 2 μm ink film thickness. Substrate properties, such as roughness and surface energy, had an influence on print quality, ink film thickness and the sheet resistivity of the printed conductive traces. Substrates with higher roughness and lower surface energy were required to print traces with low sheet resistivity. (48 refs.)

Database: Compendex

3. [Paper substrates and Inks for printed electronics; Laura K. Wood et al.](#)

Author affiliation:

1 Department of Paper Engineering, Chemical Engineering and Imaging, Center for Ink and Printability Research, Western Michigan University, Kalamazoo, MI

4. [A multilayer coated fiber-based substrate suitable for printed functionally: Roger Bollström et al Organic Electronics 10 \(2009\)](#)

5. [The role of paper in the future of printed electronics \[Alan Hodgson\], Alan Hodgson consulting](#)

6. MICROPOROUS MATERIALS SUITABLE AS SUBSTRATES FOR PRINTED ELECTRONICS

US2009155548A Provided is a microporous material including (a) a polyolefin matrix which is 30 to 80 weight percent high density polyolefin, (b) finely divided particulate filler distributed ... Owner(s) / Assignee(s): PPG IND OHIO INC

First published - June 18, 2009

7. The challenges of printing functional materials on cellulose based substrates

Rebros, Marian¹; Hrehorova, Erika¹; Joyce, Margaret K.¹; Fleming, Paul D.¹

Source: International Conference on Digital Printing Technologies, p 709-713, 2008, NIP24: 24th International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2007 - Technical Program and Proceedings

Publisher: Society for Imaging Science and Technology

Author affiliation:

1 Department of Paper Engineering, Chemical Engineering and Imaging, Western Michigan University, Kalamazoo, MI

Abstract: Cellulose substrates offer flexible character; they are cost-effective, readily available and are environmentally friendly. However, using paper as a substrate for printed electronics might be a challenging task. In this work, various paper substrates were employed as a base for printing of conductive and semiconductive materials including conductive polymer (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrene-sulfonate), commonly known as PEDOT/PSS, and poly 3-hexylthiophene semiconductor. These materials were printed using a piezoelectric inkjet printer and printed features were evaluated in terms of print quality and electrical performance. Paper substrate properties were characterized using standard methods. The most critical substrate and ink properties are presented and their influence on the printability and electrical performance are discussed. (13 refs.)

Database: Compendex

8. Conductive inkjet-printed wireless sensor nodes on flexible low-cost paper-based substrates

Tentzeris, Manos M.¹; Yang, L.¹; Rida, A.¹; Vyas, R.¹; Traille, A.¹; Kruesi, C.¹ Source: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), v 5174 LNCS, p 297-305, 2008, Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking - 8th International Conference NEW2AN and 1st Russian Conference on Smart Spaces, ruSMART 2008, Proceedings
ISSN: 03029743 ISBN-10: 3540854991

Conference: 8th International Conference on Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking, NEW2AN 2008 and 1st Russian Conference on Smart Spaces, ruSMART 2008, September 3, 2008 - September 5, 2008

Publisher: Springer Verlag

Author affiliation:

1 GEDC/ECE, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, United States

Abstract: In this paper, inkjet-printed flexible antennas fabricated on paper substrates are introduced as a system-level solution for ultra-low-cost mass production of UHF Radio Frequency Identification (RFID) Tags and Wireless Sensor Nodes (WSN) in an approach that could be easily extended to other microwave and wireless applications. A compact inkjet-printed UHF "passive-

RFID" antenna using the classic T-match approach and designed to match IC's complex impedance, is presented as a demonstrating prototype for this technology. In addition, the authors briefly touch up the state-of-the-art area of fully-integrated wireless sensor modules on paper and show the first ever 2D sensor integration with an RFID tag module on paper, as well as the possibility of a 3D multilayer paper-based RF/microwave structures. © 2008 Springer-Verlag Berlin Heidelberg. (8 refs.)

Database: Compendex

9. Printed electronics at Western Michigan University

Fleming III, Paul D.1; Bazuin, Bradley1; Rebros, Marian1; Hrehorova, Erika1; Joyce, Margaret K.1; Pekarovicova, Alexandra1; Bliznyuk, Valery1 Source: AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings, 2007, 2007 AIChE Annual Meeting

Conference: 2007 AIChE Annual Meeting, November 4, 2007 - November 9, 2007

Publisher: American Institute of Chemical Engineers

Author affiliation:

1 Department of Paper Engineering, Chemical Engineering and Imaging, Center for Ink and Printability Research, Western Michigan University, Kalamazoo, MI 49008

Abstract: Recent research in printed electronics from our group is reviewed. Functional materials are being developed and optimized for various printing methods, such as ink-jet, gravure and flexographic printing. In particular, flexography and rotogravure printing have been employed to print RFID antennae using metallic inks. Other materials under study include conductive, semiconductive, dielectric and resistive materials for printing integrated circuits used in RFID chips on paper and paperboard substrates. Effects of printing process parameters and in depth study of paper properties are in the progress. New testing procedures and application of known testing methods are used to predict ink performance during printing, ink-paper interactions and final performance. Antenna and tag performance have been extensively characterized in our RFID testing laboratory. (33 refs.)

Database: Compendex

10. Integration of sensors and RFID's on ultra-low-cost paper-based substrates for wireless sensor networks applications

Ferrer-Vidal, Antonio; Rida, Amin; Basat, Serkan; Yang, Li; Tentzeris, Manos M. Source: 2006 2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks, WiMESH 2006, p 126-128, 2006 2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks, WiMESH 2006, 2007

ISBN-10: 142440732X

Conference: 2006 2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks, WiMESH 2006, Sep 25 - 28 2006

Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Abstract: In this paper, an overview of novel integration approaches for improved performance UHF radio frequency identification (RFID) tags and

embedded sensors and batteries is presented. Organic substrates, such as paper, that have been very rarely used in UHF and RF applications in the past and could potentially utilize inkjet printing techniques, are also thoroughly investigated for the realization of ultra-low-cost RFED/Sensor tags for frequencies ranging from 13.56 MHz up to 950 MHz for the first time ever. The proposed technology could potentially revolutionize wearable and conformal wireless sensor networks (WSN). © 2006 IEEE. (6 refs.)

Database: Inspec

[11. All-printed electronics and its applications: a status report](#)

[Bartzsch, M.1; Fuegmann, U.1; Fischer, T.1; Hahn, U.1; Kempa, H.1; preissier, K.1; Schmidt, G.1; Huebler, A.1](#) Source: Digital Fabrication 2006. Final Program and Proceedings, 13-16, 2006

ISBN-10: 0 89208 264 X

Conference: Digital Fabrication 2006. Final Program and Proceedings, 17-22 Sept. 2006, Denver, CO, USA

Publisher: Society for Imaging Science and Technology, Springfield, VA, USA

Author affiliation:

1 Inst. for Print & Media Technol., Chemnitz Univ. of Technol., Germany

Abstract: Mass printing technologies are promising technologies for the production of inexpensive electronics. In recent experiments, we have fabricated an integrated circuit solely by means of fast mass-printing methods without any steps breaking the production continuity. Our results clarified important issues that have to be taken into account when adapting printing technologies to the fabrication of electronics. Compatibility of materials and processes for the deposition of different layers on top of each other, uniformity and quality of layers with respect to electronic requirements as well as resolution and registration turned out to be challenging for the adaptation of printing technologies. In addition, first applications are already available, which rely on simplicity and inexpensive fabrication instead of high integration and high-end performance. Flexible cardboard-keyboards, chipless paper-identification systems as well as simple sensor systems can be regarded as applications that are paving the way for more sophisticated, printed electronics applications (13 refs.)

[12. Printed electronics -the big opportunity](#)

[Holland, Caryl](#) Source: Converting Today, v 20, n 6, p 24-25, June 2006

ISSN: 0264715X

Publisher: Polygon Media Ltd.

Abstract: A growing market is expected for printed electronics with considerable business potential. It is expected that the market will be worth \$300 billion, which will be almost twice the size of the silicon chip industry. The technology has the potential to provide a cheap alternative to the silicon chip. The focus of the technology has extended from displays, electronic paper and thin film transistor circuits to include lighting, sensors, batteries and actuators. One of the largest potential markets for mass produced printed electronics is chipless RFID tags, which can be printed directly on products and packaging. Several companies are involved in the development of the technology due to large

potential markets for the technology. Significant progress has been made in the development of the technology along with its increasing applications. It is possible to exceed the capabilities of conventional amorphous silicon with the help of the technology.

Database: PaperChem

[13. The many colours of inkjet](#)

Anon Source: Print and Paper Monthly, v 18, n 1, p 20-21, April 2006

ISSN: 17467179

Publisher: Whitmar Publications Ltd.

Abstract: The emergence of inkjet technology as a revolutionary, innovative, and inherently flexible technology for the graphics art industry is discussed. Inkjet is expected to become the most widely used digital print process in not only the print industry but many other industries too and piezoelectric inkjet technology is leading the way. Inkjet's dominant presence in the wide format and indoor graphics market will continue to be the main engine of growth alongside an expanding number of specialist packaging, textile and industrial markets with applications in display screens and printed electronics. Inkjet is offering real cost effective integrated printing opportunities to both litho and digital print companies to add value to their service offering.

Database: PaperChem

[14. Pattern metallisation of RFID antennae on a plastic film for packaging purposes](#)

Source: Research Disclosure, n 504, p 381-382, April 2006

ISSN: 03744353

Publisher: Kenneth Mason Publication Ltd.

Abstract: Current RFID (radio frequency identification) are too expensive to be used on low cost daily food packaging. Addressing this concern, an extensive research and ongoing development aims for RFID tags where the silicone chip is replaced with printed electronics. This development implies an efficient roll-to-roll antennae manufacturing method. A substrate, especially a plastic substrate, with an RFID antenna can be provided in a simpler, cheaper and faster way by means of vacuum pattern metallization in a roll-to-roll fashion. An illustration and explanation of the process with reference to a schematic diagram is presented. A film with an RFID antennae and electronics can be suitably laminated with a web of paper or paperboard in a conventional process for producing a packaging laminate for liquid food packaging purposes.

Database: Compendex

[15. Printed electronics - The future of your business?](#)

[Wight, Katy](#) Source: Labels and Labelling, n 1, p 38-43, February/March 2005

ISSN: 01432192

Publisher: Tarsus Publishing Ltd.

Abstract: The electronics industry is dominated by communications and data storage, from RFID antennas to nanoscale flexography and electronic paper, it

shows a bright future for the technology. The new electronics industry drivers are to make products that is smaller, lighter, faster, smarter, cheaper, and more reliable. The Electronic Paper Display (EPD) is reflective and can be easily read in bright sunlight or dimly lit environments at any angle. To form an E Ink electronic display, the ink is printed on to a sheet of plastic film that is laminated to a layer of circuitry. Nanotechnology plays a crucial role in the printed electronics and the nanometer size scale materials takes on dramatically new electronic, optical, magnetic and interfacial properties.

Database: PaperChem