

Eetu Nuolioja

**MOBIILILAITTEIDEN NÄYTÖNSUOJAKALVOJEN JA -LASIEN
VERTAILU**

MOBIILILAITTEIDEN NÄYTÖNSUOJAKALVOJEN JA -LASIEN VERTAILU

Eetu Nuolioja
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotantotalous

Tekijä: Eetu Nuolioja
Opinnäytetyön nimi: Mobiililaitteiden näytönsuojakalvojen ja -lasien vertailu
Työn ohjaaja: Jari Viitala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016 Sivumäärä: 42 + 1 Liite

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Oulussa toimiva teknologiayritys. Opinnäytetyössä testattiin mobiililaitteiden näytönsuojakalvoja ja -laseja teknisiltä ominaisuuksiltaan. Työn tavoitteena oli saada tietoa kilpailijoiden tuotteiden teknisistä ominaisuuksista verrattuna yrityksen omaa tuotantoa olevaan pinnoitettuun näytönsuojalasiin. Tavoitteena oli testata mahdollisimman monen valmistajan tuotteita. Alkuperäinen tavoite oli tilata ja testata näyttöä kilpailijoiden pinnoitteista ja kuluttajille suunnatuista nestemäisistä pinnoitteista. Työn tilajaa teki päätöksen, että on tarkoituksenmukaisinta testata valmiita suojakalvoja ja -laseja.

Työssä tutustuttiin suojakalvojen testaukseen ja painettavaan teknologiaan pinnoitusmenetelmänä. Työssä suoritettiin seitsemälle valitulle näytön suojakalvolle pinnoitteen kovuuden, valonläpäisyn ja veden kontaktikulman mittaukset.

Pinnoitteen puhdistettavuutta arvioitiin mittaamalla kontaktikulma vesipisaralle pinnoitteen päälle. Suojakalvojen ja -lasien kulutuskestävyyttä arvioitiin mittaamalla kontaktikulma jokaiselta tuotteelta kolmessa eri kulutusasteessa lineaariabraasiotestillä. Pinnoitteen kovuutta mitattiin mittausta varten suunnitellulla Elcometer 501 -testauslaitteella. Kovuusmittauksen tulokset ilmoitettiin lyijykynistä tutulla kovuusasteikolla. Valonläpäisevyys mittaukset suoritettiin VTT:n tiloissa tähän tarkoitettulla spektrofotometrillä.

Työn lopputuloksena saatiin tietoa kilpailijoiden näytön suojaamistuotteiden pinnoitteiden puhdistettavuudesta, kovuudesta ja valonläpäisevyydestä. Muovisissa näytön suojakalvoissa ilmeni eroja keskenään etenkin kontaktikulmia mitattaessa kulutuksen jälkeen. Muovisten suojakalvojen kulutuksen kestossa oli siis eroja. Testien jälkeen todettiin myös, että pinnoitetut karkaistusta lasista valmistetut näytön suojat hylkivät likaa huomattavasti muovisia kalvoja paremmin. Saatujen tulosten perusteella lasiset kalvot ovat myös huomattavasti muovisia kovempia ja kulutusta kestävämpiä.

Asiasanat: painettava teknologia, R2R, suojakalvo,

ALKULAUSE

Työn valvojina toimivat työn tilaajan toimesta tuotantojohtaja Johnny Pehkonen ja kehityspäällikkö Matti Pesonen. Oppilaitoksen puolesta työn ohjaajana toimi lehtori Jari Viitala. Haluan kiittää edellä mainittuja henkilöitä. Lisäksi haluan kiittää muita insinööriyössä avustaneita henkilöitä.

Oulussa 25.4.2016

Eetu Nuolioja

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	8
2 PAINETTAVA TEKNOLOGIA	9
2.1 Substraatit	9
2.1.1 PET	10
2.1.2 PEN	10
2.1.3 PI	10
2.2 Painettava älykkyys	10
2.3 Sovellukset	11
2.3.1 OLED	11
2.3.2 Orgaaniset aurinkokennot	13
3 PAINO- JA PINNOITUSMENETELMÄT	15
3.1 Flexopainomenetelmä	15
3.2 Gravuuripainomenetelmä	16
3.3 Silkkipainomenetelmä	17
3.4 Offset-painomenetelmä	18
3.5 Kuumapuristus	19
3.6 Pinnoitusmenetelmät	20
3.7 R2R-painaminen	21
4 NÄYTÖN SUOJAKALVOT JA -LASIT	23
4.1 Muovikalvot	23
4.1.1 Pinnoite	24
4.1.2 Tartuntapinta	24
4.2 Karkaistu lasi	24
4.3 Nestemäinen näytönsuoja	25
4.4 Kontaktikulma	25
4.5 Kulutuksen kesto	28
4.6 Kovuus	28
5 TUOTTEIDEN TEKNINEN VERTAILU	30

5.1 Kovuuden mittaustulokset	30
5.2 Kontaktikulmien mittaustulokset	31
5.3 Valon läpäisy	33
6 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	37

LYHENTEET

OLED	Organic Light Emitting Diode, orgaaninen hohtodiodi
PEN	Polyetyleeninaftaleeni
PET	Polyetyleenitereftalaatti, kestopuovi.
PI	Polyimidi
R2R	Roll-to-roll tarkoittaa suomennettuna rullalta rullalle. Tekniikka, jolla syötetään substraattimateriaalia syöttörullalta vastaanottarullalle.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana on Oulussa toimiva teknologiayritys. Se on syntyperältään suomalainen yritys, joka kehittää ja valmistaa erikoiskemikaaleja ja prosessiratkaisuja. Yritys valmistaa nanopinnoitteita muun muassa kosketusnäyttö-, aurinkoenergia-, elektroniikka- ja rakennusteollisuuteen. Yrityksen tavoitteena on valmistaa mahdollisimman korkean suorituskyvyn pinnoitteita, joita voidaan soveltaa yhtä hyvin lasille ja muovialustoille. Yrityksen Suomen toimisto- ja tuotantotilat sijaitsevat Oulun Linnanmaalla. (1.)

Opinnäytetyössä testataan kosketusnäytölliseen puhelimeen tarkoitettuja muovisia ja lasisia suojakalvoja. Lisäksi tuotteille tehdään mittauksia ja vertaillaan mittauksissa saatuja tuotteiden teknisiä ominaisuuksia keskenään.

Näytön suojakalvot ja -lasit suojaavat puhelimen näyttöä iskuilta ja kulumiselta. Suojakalvon haluttuja ominaisuuksia ovat muun muassa hyvä kulutuksen kesto, riittävä kovuus, hyvä tarttuvuus näyttöön, helppo puhdistettavuus ja hyvä sormituntuma.

2 PAINETTAVA TEKNOLOGIA

Painettu teknologia tarkoittaa painamalla valmistettuja toimivia laitteita, komponentteja ja esimerkiksi suojakalvoja. Painettavan teknologian tuotteissa voidaan käyttää esimerkiksi sähköä johtavia musteita. Painettavan teknologian avulla on mahdollista valmistaa ohuita, kevyitä ja joustavia rakenteita.

Painetussa elektroniikassa piirien painaminen suoritetaan useasti taipuisille materiaaleille, joten ne kestävät taivutusta huomattavasti enemmän kuin perinteinen elektroniikka. Sen seurauksena painetun elektroniikan tuotteet ovat helposti muotoiltavissa haluttuun muotoon. (2, s. 2.)

Painettavan teknologian tuotannossa voidaan käyttää nopeaa rullalta rullalle -menetelmää, joka mahdollistaa suuret valmistusmäärät. Valmistusmäärien kasvaessa valmistuskustannukset valmistettua kappaletta kohden laskevat, mikä tekee painettavasta teknologiasta edullisen. Etuna on myös keveys. (3, s. 18.)

Rullalta rullalle -menetelmää käyttäen voidaan valmistaa nopeasti suuria määriä esimerkiksi OLED-sovelluksia ja orgaanisia aurinkokennoja. Muovisia mobiililaitteiden näytönsuojakalvoja valmistetaan painettavan teknologian kanssa samoilla valmistusmenetelmillä. Suojakalvojen valmistuksessa käytetään muun muassa gravuuripainomenetelmää ja erilaisia pinnoitusmenetelmiä.

2.1 Substraatit

Painamiseen käytetään painomateriaaleina muun muassa paperia, kankaita, muoveja, lasia ja silikonia. Taipuisat substraatit mahdollistavat tuotantotehokkuuden ja joustavien tuotteiden valmistuksen. Painettavassa teknologiassa käytetyimpiä materiaaleja ovatkin taipuisat polymeerit. Substraatteina käytetyimmät polymeerit ovat polyetylenitereftalaatti (PET)-, polyetyleeninaftaleeni (PEN)- ja polyimide (PI)-kalvot. Suurin haaste polymeerien käytössä on niiden rajallinen lämmön kestävyys. Korkeat lämpötilat aiheuttavat polymeereille venymistä tai kutistumista. (4, s. 30.)

Massatuotannossa on yleisimmin käytetty PET-kalvoja niiden edullisuuden takia. PEN- ja PI-kalvoja käytetään ratkaisuisissa, jotka vaativat korkeampaa lämmönkestävyyttä. (5, s. 17 - 18)

Kaikki tässä työssä tutkitut muoviset näytön suojakalvot oli valmistettu pinnoitetusta PET-kalvosta, kuten useimmat mobiililaitteiden suojakalvot. PET-kalvoa käytetään sen taloudellisuuden takia. PET-kalvon lämmön sietokyky on riittävä suojakalvojen käyttötarkoituksessa.

2.1.1 PET

PET eli polyetyleenitereftalaatti on kestumuovi, jota kutsutaan myös polyesteriksi. PET on ominaisuuksiltaan kovaa ja kestävä materiaalia, jolla on hyvä fysikaalinen muuttumattomuus. Lämpöstabiloitulla PET:llä hyvä dimensiollinen stabiilius noin 150 °C:seen asti. PET on yleisimmin käytetty sen taloudellisuuden takia. (6.)

2.1.2 PEN

PEN eli Polyetyleeninaftaleeni on kemialliselta koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen kuin PET, mutta PEN omaa paremman lämmönkestävyyden. Lämpöstabiloitulla PEN:llä on hyvä dimensiollinen stabiilius 200 °C:seen asti. (7.)

2.1.3 PI

Polyimidi PI on materiaali, joka kestää lämpöä muuttumattomana jopa yli 300 °C. Polyimidillä on korkea veden absorptiokyky eli se ei kestä nesteitä kovin hyvin verrattuna PET- ja PEN-kalvoihin. PI on myös yleisesti ottaen kalliimpaa kuin muut polymeerit. (7.)

2.2 Painettava älykkyys

Painettava älykkyys on uusi innovatiivinen teknologian ala. Se tarkoittaa erilaisilla painomenetelmillä ja esimerkiksi toiminnallisilla musteilla toteutettuja massatuotannon mahdollistavia menetelmiä muun muassa elektroniikan, biomateriaalien, kemian ja optiikan alueille. (8, s. 9.)

Painettavaa älykkyyttä hyödynnetään monilla perinteisemmällä teollisuuden aloilla uusien markkinoiden luomisessa. Se mahdollistaa älykkäiden eli toiminnallisten rakenteiden valmistamisen. (9, s. 8.)

Painettavan älykkyyden etuja ovat muun muassa muotoiltavuus, joustavuus ja ympäristöystävällisyys. Nämä edut mahdollistavat innovatiivisten tuotteiden valmistamisen useilla eri toimialoilla. (10.)

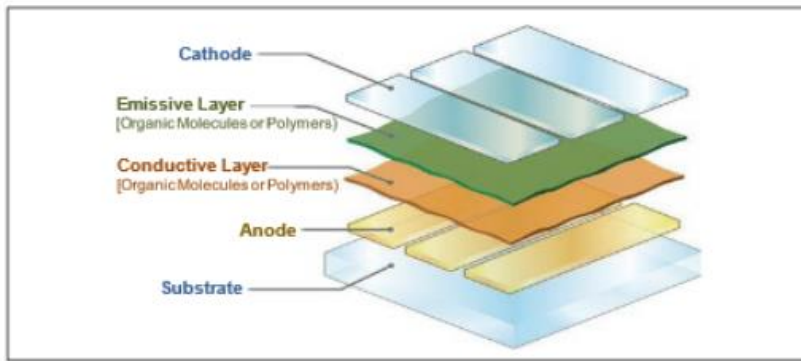
2.3 Sovellukset

Painettavalla teknologialla on useita mielenkiintoisia sovellusalueita. Painamalla voidaan valmistaa esimerkiksi älykkäitä pakkauksia, sensoreita, yksinkertaisia elektronisia piirejä, aurinkopaneeleita, RFID-antenneja, OLED-valaisimia ja taipuisia näyttöjä. Lisäksi painettu älykkyyks avaa uusia mahdollisuuksia lääketieteessä ja tutkimuspainotteisilla teollisuuden aloilla. (11.)

Rullalta rullalle -painaminen (R2R-painaminen) ja prosessointitekniikat tarjoavat korkean tuotantokapasiteetin. R2R-painaminen mahdollistaa kustannustehokkaan valmistamisen esimerkiksi joustavien orgaanisten valodiodien (OLED) ja aurinkokennojen valmistukseen. (12.)

2.3.1 OLED

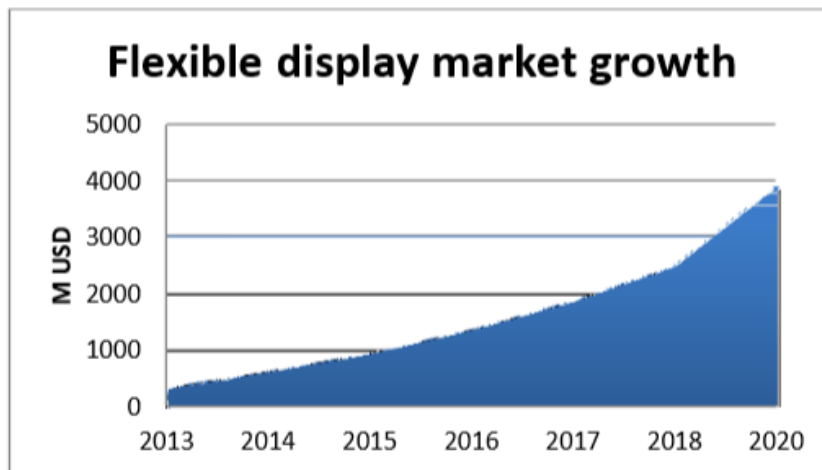
OLED on lyhenne sanoista Organic Light Emitting Diode. OLED-tekniikkaa yleisesti käytetään erilaisiin näyttöihin esimerkiksi matkapuhelimissa. Näyttöjen lisäksi OLED-tekniikkaa voidaan käyttää yksinkertaisemmissa sovelluksissa esimerkiksi pelkästään valaisemiseen. OLED on orgaaninen hohtodiodi, jossa on orgaanisia yhdisteitä kahden elektrodikerroksen välissä. Nämä orgaaniset yhdisteet lähettävät valoa kun niiden läpi johdetaan sähkövirtaa. Kuvassa on 1 esitetty OLED:n sisäinen rakenne kerroksittain. (13, s. 20.)



KUVA 1. OLED:n rakenne (14)

Orgaaniset valodiodit valmistetaan rullalta rullalle painamalla. OLED-näytöt eivät tarvitse erillistä taustavaloa, mikä onkin niiden tärkein etu verrattuna muihin näyttöratkaisuihin. Taustavalottomat OLED-näytöt sopivatkin siksi paremmin tummien sävyjen esittämiseen. Koska OLED-näytöt eivät tarvitse taustalevyä, ne ovat erittäin kevyitä ja taipuisia. Myös pieni virrankulutus on OLED:n etu esimerkiksi valaisusovelluksissa. (15, s. 5.)

OLED-tekniikan avulla on mahdollista valmistaa taipuvia näyttöjä. Taipuvien näyttöjen odotetaan lähitulevaisuudessa yleistyvän nopeasti. Kuvassa 2 on esitetty taipuvien näyttösovellusten markkinoiden ennustettu kasvu.



KUVA 2. Markkinaennuste taipuisille näyttösovelluksille (14)

Taipuisan näyttötekniikan sovellukset kehittyvät jatkuvasti. Muuan muassa rullattavien televisioiden ja digitaalisten lehtien odotetaan yleistyvän lähitulevaisuudessa. Kuvassa 3 esitellään taipuisan näyttötekniikan sovelluksia ja niiden yleistymistä. (14.)



KUVA 3. Taipuisan näyttötekniologioiden ennusteita sovelluksista ja markkinoista vuodesta 2014 alkaen (14)

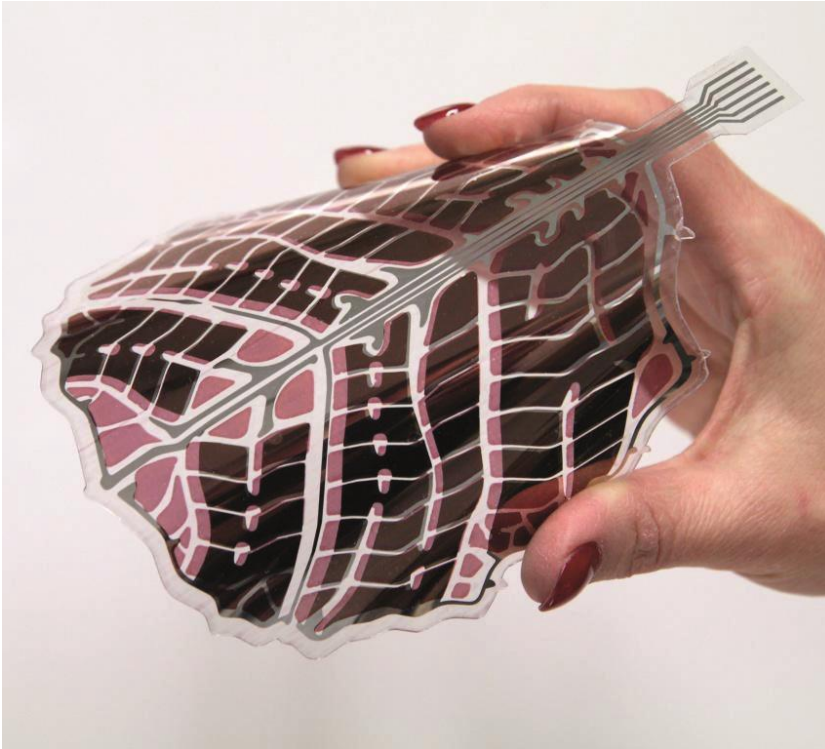
2.3.2 Orgaaniset aurinkokennot

Hyvä esimerkki valmiista painettavan älykkyyden tuotteista ovat orgaaniset aurinkokennot, jotka ovat taipuisia ja keveitä. Aurinkokennojen liuosprosessivalmistus rullalta rullalle -painatuksella on mahdollista uusien orgaanisten materiaalien ansiosta. Orgaanisten aurinkokennojen valmistus on edullista, materiaaleja kuluu vähän ja käytön jälkeen orgaaniset aurinkopaneelit voidaan kierrättää. Taipuisuuden ansiosta aurinkokennoista voidaan painaa esimerkiksi sisustukseen sopivia erilaisia kuvioita. Orgaanisten aurinkokennojen heikkoutena on niiden perinteisiä aurinkokennoja huonompi hyötysuhde. (12.)

Aurinkopaneelit valmistetaan rullalta rullalle -tekniikalla, käyttäen samoja menetelmiä kuin esimerkiksi näytön suojakalvoja pinnoitettaessa. Aurinkopaneelien ja suojakalvojen pinnoittamiseen käytetään muun muassa slot die -pinnoitusmenetelmää, jolla voidaan jättää pinnoitteeseen halutun levyisiä välejä erilaisten syöttöpäiden avulla (16).

R2R-tekniikka mahdollistaa tuotteiden nopean massatuotannon. Syvä- ja silkkipainotekniikoilla valmistettava aurinkopaneeli voi olla esimerkiksi vain 0,2 mm paksu. Ohut aurinkopaneeli sisältää elektrodit ja polymeerikerrokset, joissa valonkeruu tapahtuu. Aurinkopaneelin ulkonäköä voidaan parantaa lisäämällä

painoväreillä graafinen kerros paneelin pintaan. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki taipuisasta aurinkokennosta. (17.)



KUVA 4. Lehdenmuotoinen taipuisa aurinkopaneeli (17)

Edellä esitetyn mukaisesti painettavan älykkyyden sovellukset tulevat lisääntymään tulevaisuudessa. Vastaavanlaisia sovelluksia on mahdollista pinnoittaa tässä työssä tutkittujen mobiililaitteiden suojakalvojen kanssa samoilla pinnoitteilla ja menetelmillä.

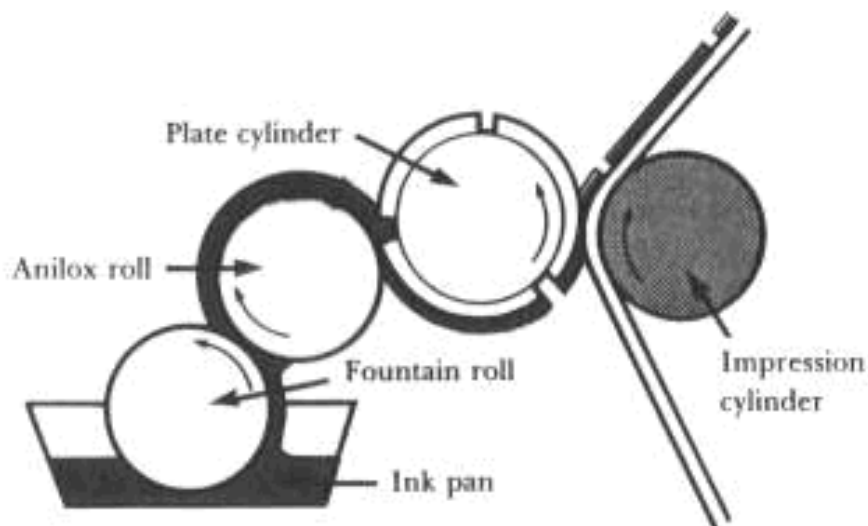
3 PAINO- JA PINNOITUSMENETELMÄT

Muun muassa painetun elektroniikan valmistuksessa käytetyt painomenetelmät perustuvat tavanomaisiin paperi- ja kangaspainatuksessa käytettyihin mekanismeihin. Graafisten painovärien sijasta käytetään esimerkiksi painomusteita, jotka antavat painomateriaalille esimerkiksi jonkin toiminnallisuuden. Painetussa elektroniikassa pohjamateriaalina käytetään yleensä erilaisia muoveja.

3.1 Flexopainomenetelmä

Flexopaino on kohopainomenetelmä. Sitä käytetään paljon muun muassa pakkausteollisuudessa ja sanomalehtien painamisessa. (18, s. 10.)

Yleensä flexopainossa käytetään joustavaa flexografista painolaattaa, joka on valmistettu kumista tai muovista. Lisäksi käytetään kohokuvaa, joka kiinnitetään rullaan. Toiseen rullaan otetaan sopiva määrä mustetta ja painosylinteri pitää painettavan materiaalin painettuna painolaattaa vasten, kun materiaali kulkee painolaatan ohitse. Painolaatasta muste siirtyy substraatille. (Kuva 6.) (19; 20.)

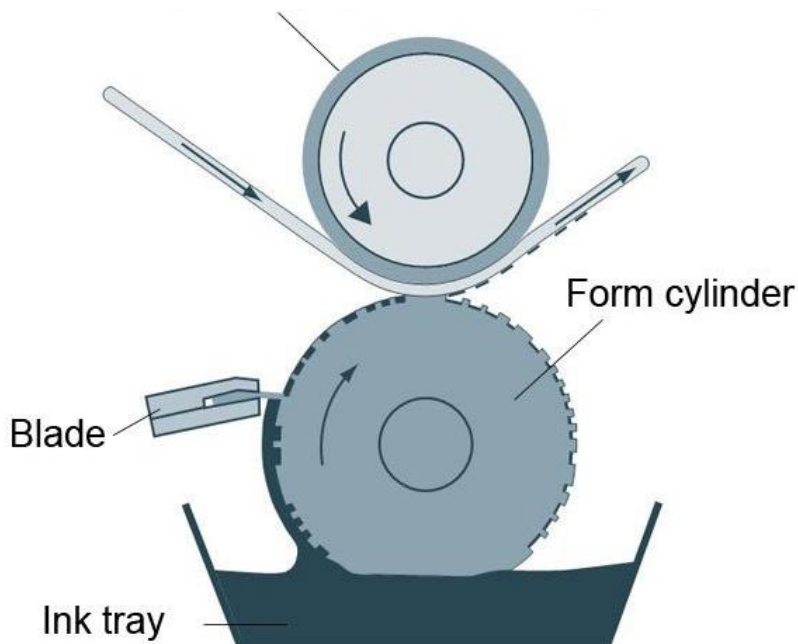


KUVA 6. Flexopainomenetelmän periaate (20)

3.2 Gravuuripainomenetelmä

Gravuuri- eli syväpainomenetelmässä painopinnan painava osa on painamatonta pintaa alempana. Painomuste siirtyy painopinnan syvennyksistä painettavaan materiaaliin. Gravuuripainomenetelmän etuja ovat sen tarkkuus, painolinjan nopeus ja tarkasti säädeltävä musteen käyttö. Näiden ominaisuuksien ansiosta gravuuri tekniikka on yleistynyt myös elektroniikan painamisessa. Gravuuripainomenetelmää käytetään myös näytön suojakalvojen pinnoittamiseen. (21.)

Gravuurisylinteri on osittain upotettuna mustealtaaseen. Sylinterin pyöriessä altaasta jää mustetta sylinterin pinnalla oleviin kuoppiin ja osittain sylinterin pintaan. Kaavinterä poistaa sylinterin pinnalta ylimääräisen musteen ennen kontaktia substraatin kanssa, minkä jälkeen mustetta jää vain mustekuoppiin. Puristussylinterin aiheuttaman paineen sekä musteen ja substraatin välisten adheesivoimien avulla muste siirtyy gravuuri- ja puristussylinterin välissä kulkevalle substraatille. Musteen kuivattaminen voidaan suorittaa esimerkiksi kuuman ilman, infrapunan tai ultraviolettivalon avulla. Syväpainon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7. (13, s. 10.)

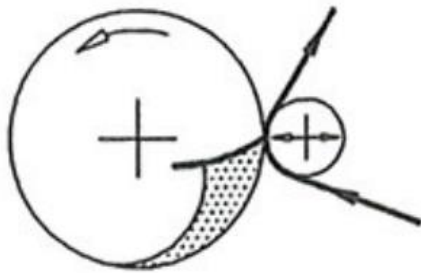


KUVA 7. Syväpaino (22)

3.3 Silkkipainomenetelmä

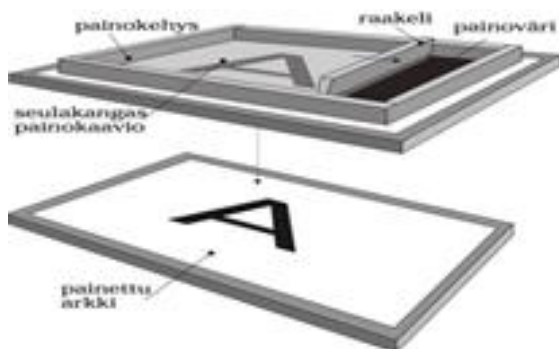
Silkki- eli seripainomenetelmä on vanha painamismenetelmä. Sitä käytetään nykyään esimerkiksi tekstiilien kuvioiden painamiseen, keramiikan koristeluihin ja elektroniikan painamiseen. Silkkipainamista on kahta päätyyppiä, jotka ovat tasopainaminen ja rullapainaminen. (23, s. 11.)

Rullapainomenetelmässä verkko pingotetaan sylinterimäiselle painotelalle. Paine kohdistuu tangentiaalisesti pienelle pinta-alalle. Rullamenetelmässä painolasta on koko ajan paikallaan rullan pyöriessä. Substraatti liikuu painosylinterin ja vastasyylinterin välistä. Muste syötetään painosylinterin sisälle, jossa se kumilastalla painetaan stensiilin läpi alustamateriaaliin. Rullaseripainon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 8. (23, s. 12.)



KUVA 8. Rullaseripainon toimintaperiaate (24, s. 15.)

Tasopainamisessa käytetään stensiiliä eli verkkoa, johon on valmistettu valoherkkä emulsio. Stensiiliin valotetaan halutun muotoinen aukko. Muste saadaan painettua raakelilla eli lastantapaisella työkalulla aukon kautta verkon läpi alustamateriaaliin. Kuvassa 9 on esitetty silkkipainomenetelmän periaate tasopainamisessa. (23, s. 11.)



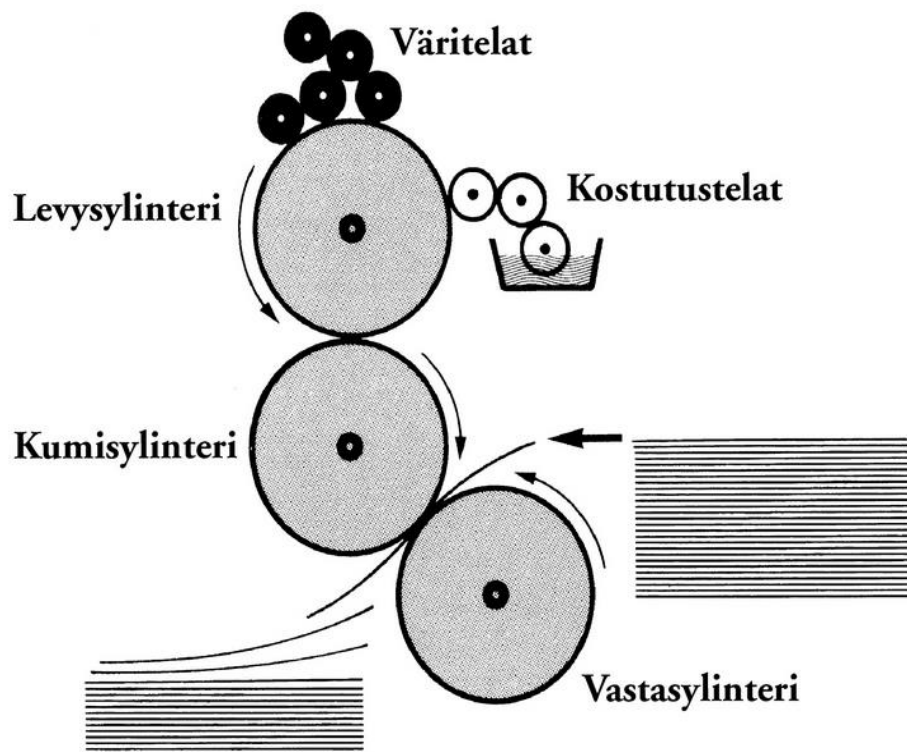
KUVA 9. Silkkipainomenetelmän periaate tasopainamisessa (25, s. 18.)

3.4 Offset-painomenetelmä

Offset-painomenetelmä on laajasti käytetty menetelmä. Menetelmässä painoväriä ei levitetä suoraan alustalle vaan ensin kumisynterille, josta se siirtyy painettavaan alustamateriaaliin. Tästä tulee nimitys offset eli siirto. Offset-painomenetelmää käytetään paljon perinteisten painotuotteiden valmistuksessa. Menetelmällä on painettu pitkään esimerkiksi sanomalehtiä. (26; 27.)

Offset-painomenetelmä on niin sanottu laakapainomenetelmä, jossa painolevy on tasainen. Painolevyssä ei ole kohoumia tai syvennyksiä.

Laakapainomenetelmä perustuu rasvan ja veden hylkivyyteen toisiaan kohtaan. Painolevyn pinnan painettavat kohdat ovat rasvaista painomustetta suosivia ja samalla vettä hylkiviä. Painamattomat kohdat taas suosivat vettä ja hylkivät rasvaa. Painolevyn painavaa pintaa sanotaan oleofiiliseksi eli öljyhakuiseksi ja samalla hydrofodiseksi eli vettä hylkiväksi. Ei-painavaa pintaa kutsutaan hydrofiiliseksi eli vesihakuiseksi. Offsetpaino-painomenetelmän toiminta on esitetty kuvassa 10. (28; 4, s.10.)

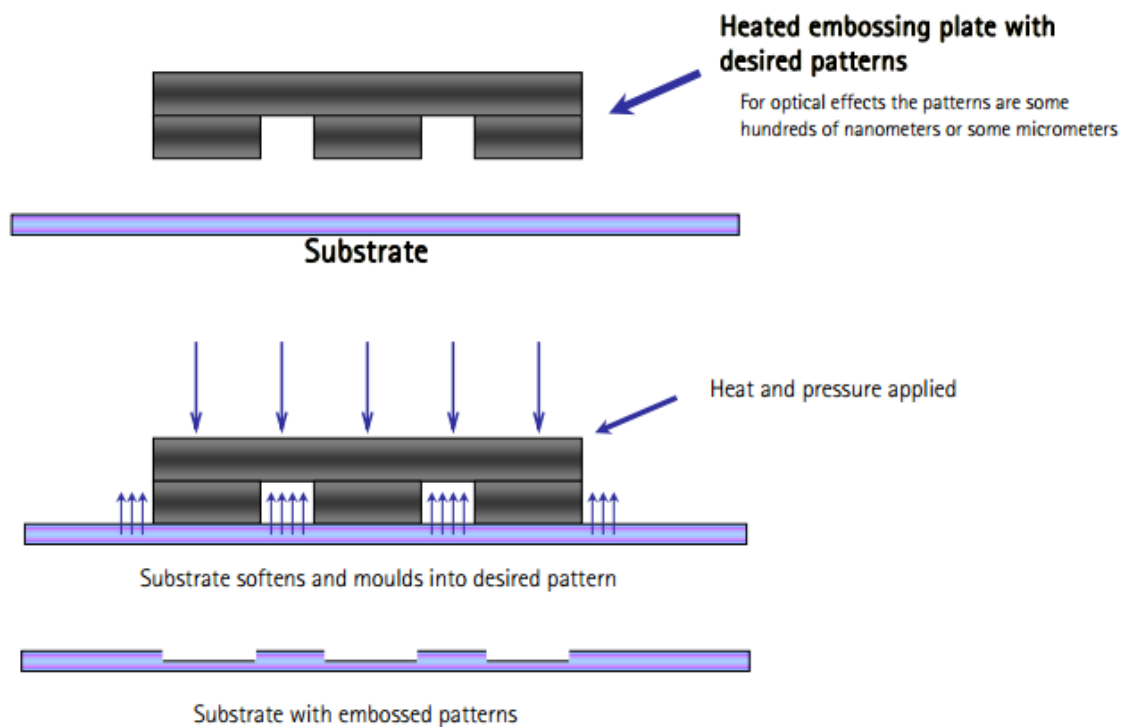


KUVA 10. Offsetpainomenetelmän periaate (29)

3.5 Kuumapuristus

Kuumapuristusmenetelmässä substraatin pintaan painetaan haluttu kuvio paineen ja lämpötilan avulla. Kuumapuristusta käytetään muun muassa seteleiden varmistustunnisteiden valmistamiseen ja muovin kuviointiin. (23, s. 14.)

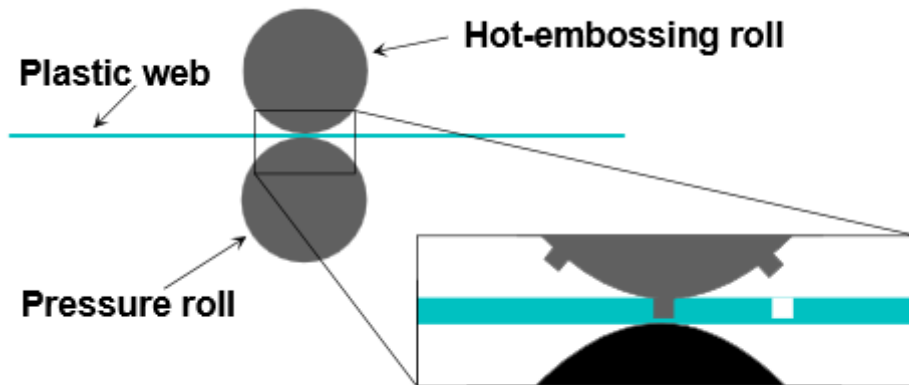
Kuumapuristusmenetelmässä ei käytetä mustetta, kuten aiemmin esitellyissä menetelmissä. Painokuvio painetaan materiaalille lämmön avulla. Painotelan ympärille asetetaan kuumapuristushiha, johon on työstetty painokuvio. Telan sisäinen lämmitysyksikkö lämmittää hihaa, joka lämmön ja paineen yhteisvaikutuksesta painaa kuvion painomateriaalille. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 11. (30, s. 17.)



KUVA 11. Kuumapuristusmenetelmän toimintaperiaate (31)

Rullalta rullalle -teknologiassa painavana yksikkönä toimii kuvioitu sylinteri eli painohiha. R2R-menetelmässä painojäljen syvyyteen voidaan vaikuttaa painetta ja lämpötilaa säätämällä. Painojälki syvenee painetta ja lämpötilaa nostamalla. Lämpötilan on oltava painettavalle materiaalille juuri oikea. Liian korkea tai

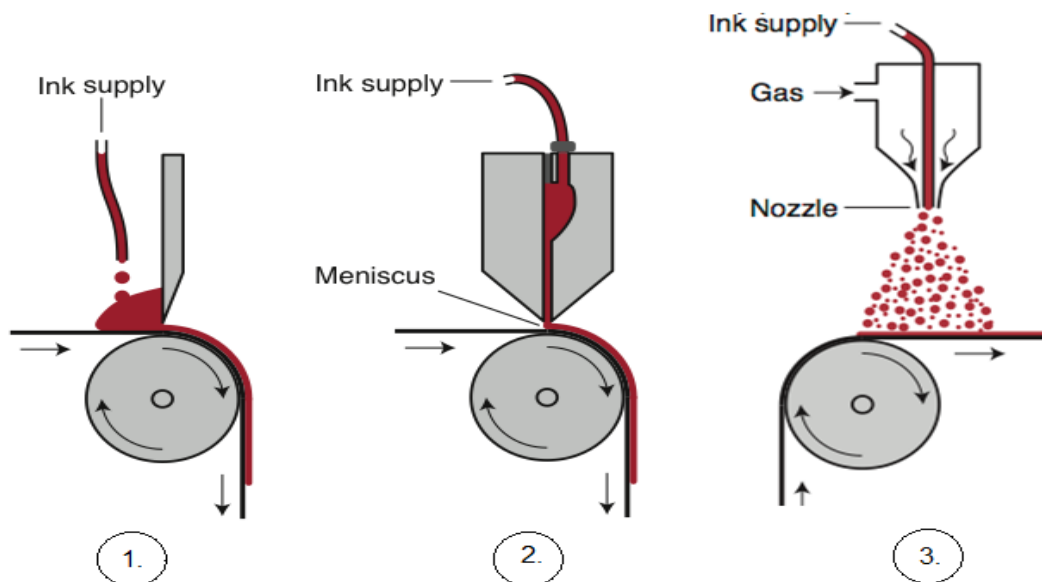
matala lämpötila huonontaa painojälkeä. R2R-kuumapuristusmenetelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12. (9, s. 12.)



KUVA 12. Rullalta rullalle -kuumapuristusmenetelmä (32)

3.6 Pinnoitusmenetelmät

Pinnoitetta voidaan lisätä esimerkiksi ruiskuttamalla, terän avulla tai käyttämällä niin sanottua slot die coating -menetelmää. Pinnoitteen lisäys menetelmät on esitetty kuvassa 13. Pinnoittamiseen voidaan käyttää myös esimerkiksi gravuuripainomenetelmää.



KUVA 13. Pinnoitteen lisäämistavat: 1.terän avulla 2."slot die coating" 3.ruiskuttamalla (16)

Pinnoite voidaan levittää ruiskuttamalla spray-menetelmällä. Menetelmän etuja ovat korkea suoritusteho ja vähäinen materiaalihukka. Pisaroiden lyhyt kuivumisaika mahdollistaa monikerrospinnoitteiden valmistamisen. Menetelmää voidaan käyttää R2R-koneessa, mutta käyttö on muita pinnoitusmenetelmiä haasteellisempi. (16.)

Terän avulla pinnoittaminen on laajalti käytetty menetelmä niin jäykille kuin joustavillekin substraateille. Pinnoitteen paksuutta voidaan säädellä terän ja substraatin välisen raon kokoa muuttamalla. Terän avulla pinnoittamisen etu on se, ettei pinnoitetta mene hukkaan yhtä paljon kuin muilla menetelmillä. Tätä menetelmää käytetään useasti myös mobiililaitteiden suojakalvojen pinnoittamisessa. (16.)

Slot die -pinnoittamisessa pinnoite tai muste syötetään substraatille teräksisen syöttöpään sisältä. Syöttöpäässä voi olla raollinen levy, jolloin substraatille saadaan halutunlaisia raitoja pinnoitteeseen. Menetelmää käytetään muun muassa orgaanisten aurinkokennojen päällystämiseen. Esimerkki syöttöpäässä käytettävästä levystä on esitetty kuvassa 14. (16.)



KUVA 14. Slot die -menetelmässä käytettävän pinnoitteen syöttöpään osia (16)

3.7 R2R-painaminen

Rullalla rullalle painaminen eroaa perinteisestä tasopainomenetelmistä siten, että rullalta rullalle -tekniikassa rullalla oleva painomateriaali asetetaan painokoneen alkuun, vedetään painokoneen läpi tarvittavien prosessien kautta

ja lopuksi yhdistetään painolaitteen lopussa olevaan rullaan, johon valmis rulla kelataan sitä mukaa, kun painamisprosessi etenee. (24, s.19.)

Rullalta rullalle -tekniikkaa käytetään muun muassa silkipaino-, syväpaino-, flexopaino- ja kuumapuristusmenetelmissä. (33, s. 31.)

Yleisesti ottaen R2R-painotekniikat ovat samankaltaisia kuin perinteisten graafisten painotuotteiden valmistuksessa käytetyt tekniikat. R2R-tekniikkaa on käytetty pitkään esimerkiksi kirja- ja lehtipainossa. Nykyään tekniikkaa sovelletaan myös painettavan älykkyyden sovelluksiin. Myös mobiililaitteiden suojakalvojen pinnoittamisessa käytetään rullalta rullalle -tekniikkaa. (13, s. 9.)

Rullalta rullalle -tekniikka mahdollistaa suurien painoalueiden ja painomäärien nopean painamisen teollisessa mittakaavassa. R2R-tekniikalla saadaan painettua kaupallisesti valmistettavia tuotteita nopeasti suurina määrinä. Tekniikka on lisäksi yksikkökustannuksiltaan edullista tasopainoon verrattuna. (33, s. 31.)

Oulun ammattikorkeakoulun Prinlabissa on käytössä SOM-100-painokone. Koneella voidaan käyttää flekso-, kuuma-, silkki- ja syväpainomenetelmiä. Kuvassa 5 on esitetty Prinlabin SOM-100-painokone. (34.)



KUVA 5. SOM100 R2R-painokone (34)

4 NÄYTÖN SUOJAKALVOT JA -LASIT

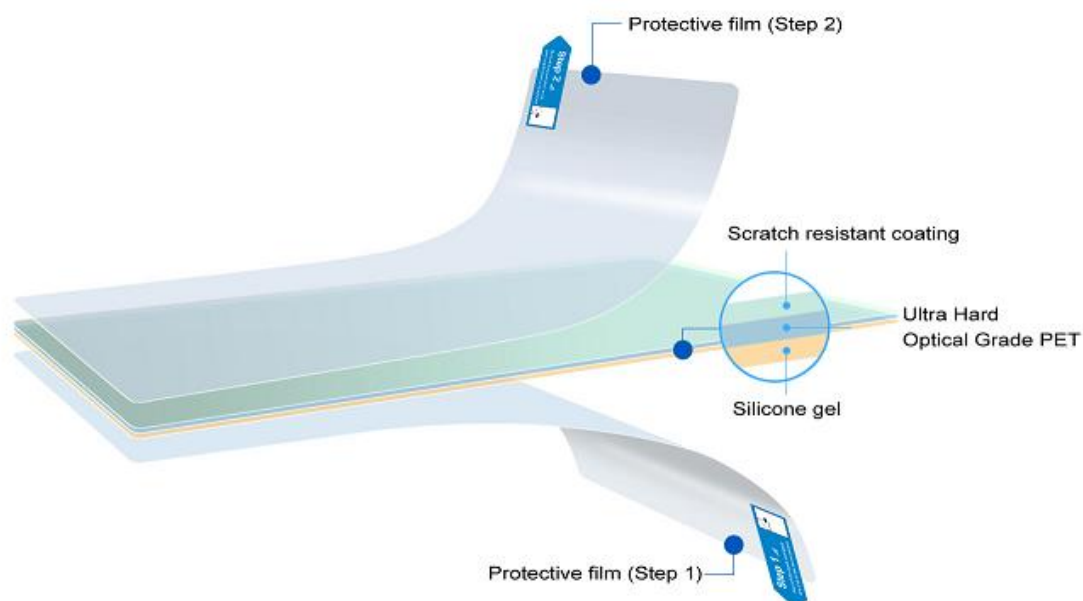
Kosketusnäyttöissä on kuluttajalle saatavilla muovisia suojakalvoja ja karkaisusta lasista valmistettuja suoja. Suojakalvon käyttöä mobiililaitteen näyttössä suositellaan, koska se pitää näytön hyvässä kunnossa pidempään. Suojakalvoja onkin nykyään saatavilla todella runsaasti.

Suojakalvon tärkeitä mitattavia ominaisuuksia ovat sen kovuus, kulutuksen kestävyys ja kontaktikulma vedelle tai öljylle.

4.1 Muovikalvot

Yleisimmin käytetty näytön suojausmuoto on muovinen suojakalvo. Kalvot valmistetaan yleensä PET-muovista sen edullisuuden takia.

Suojakalvot koostuvat yleensä kolmesta osasta, jotka ovat pinnoite, PET-kalvo ja tarttumaliima. Itse kalvo on suojattu usein ennen asennusta poistettavilla muovisilla suojakalvoilla. Tyypillisen suojakalvon rakenne on esitetty kuvassa 13. Muovisia suojakalvoja valmistetaan massatuotantona rullalta rullalle -menetelmällä pinnoittamalla suojakalvo sen ominaisuuksia parantavalla pinnoitteella.



KUVA 13. Näytön suojakalvon kerrokset (35)

4.1.1 Pinnoite

Pinnoitteella tarkoitetaan materiaalia, joka on lisätty tuotteen pintaan. Yleensä suojakalvojen pinnoitteilla pyritään parantamaan tuotteen pintaominaisuuksia kuten puhdistettavuutta, valonläpäisyä, naarmuuntumisen ja kulutuksen kestoa, kovuutta ja kitkaominaisuuksia.

Pinnoite levitetään kalvon pinnalle yleensä nestemäisenä, jonka jälkeen se kovetetaan. Tässä apuna voidaan käyttää muun muassa uunia tai UV-valoa. (36.)

Suojakalvojen pinnoitteella pyritään parantamaan kalvon ominaisuuksia. Pinnoitteella pyritään parantamaan kalvon hylkivyyttä, mikä parantaa kalvon puhdistettavuutta. Hyvä pinnoite takaa sen että kalvo hylkii likaa ja näin muun muassa sormenjälkiä. Pinnoitteella voidaan vaikuttaa myös kalvon kestoikään ja siihen kuinka paljon kalvon ominaisuudet heikkenevät sen kuluessa.

Suojakalvon nanopinnoitteen tärkeimmät mitattavat parametrit ovat kulutuskestävyys, valonläpäisy, kontaktikulmat vedelle ja öljylle, pinnan kovuus ja pinnoitteen tarttuvuus substraattiin. Näiden lisäksi pinnan on tunnettava sileältä käytettäessä, mihin vaikuttavat muun muassa kitkaominaisuudet. (37.)

4.1.2 Tartuntapinta

Suojakalvon kiinnittäminen näytön pintaan tapahtuu yleisesti silikonisella tartuntakerroksella. Tartunnan voimaa mitataan vetämällä suojakalvoa irti näytön pinnasta. Tartunta on sitä vahvempi mitä suuremman irrottamisvoiman se kestää irtoamatta näytön pinnasta.

4.2 Karkaistu lasi

Markkinoilla on saataville myös karkaistusta lasista valmistettuja näytön suoja, joilla on yleisesti ottaen suurempi kovuusluokitus verrattuna muovisiin suojakalvoihin. Lasinen suojakalvo suojaa näyttö iskuilta paremmin kuin muovinen kalvo tai nestemäinen pinnoite. Lasiset suojat ovat myös pitkäikäisempiä kuin muoviset. Lasi hajoaa muovikalvoa helpommin kappaleiksi terävästä iskusta. Kulutuskestävyys lasilla on parempi kuin muovilla. Raaka-

aineena lasi on tosin huomattavasti edullista PET-kalvoa kalliimpaa, mikä heijastuu kuluttajalle myös tuotteen loppuhintaan. Lasi vaatii muovikalvoa enemmän prosessointia ennen pinnoitusta esimerkiksi karkaisua ja reunojen hiontaa.

4.3 Nestemäinen näytönsuoja

Kuluttajille on saataville myös nestemäisenä myytäviä näytönsuojia, joissa osassa hyödynnetään nanoteknologiaa. Neste levitetään näytölle ja annetaan kuivua. Näin saadaan näytölle pinnoite joka suojaa lialta ja naarmuilta. Nestemäisenä levitettyä pinnoitetta ei voi asettaa näytölle vinoon, niin kuin muovisen tai lasisen suojakalvon. Pinnoitteen ja näytön välille ei myöskään voi jäädä ilmakuplia. Nestemäisenä levitettävät näytönsuojat eivät suojaa näyttöä iskuilta yhtä hyvin kuin muoviset tai lasiset suojakalvot.

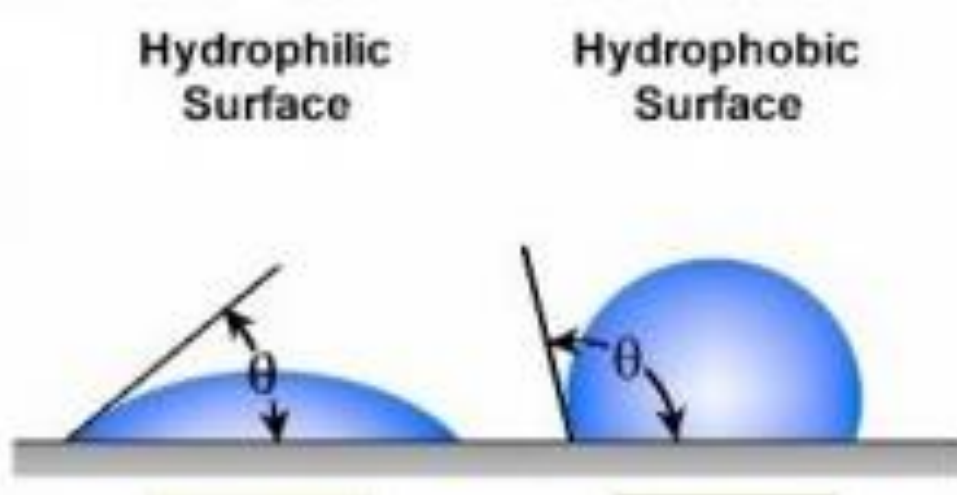
4.4 Kontaktikulma

Kontaktikulmaa voidaan mitata useilla eri menetelmillä esimerkiksi pisaramenetelmällä. Pisaramenetelmässä kontaktikulma määritetään optisesti pisaran geometrian avulla. Tässä työssä kontaktikulmat mitattiin pisaramenetelmällä käyttäen deionisoitua vettä. Se on yleisin kontaktikulman määrittämiseen käytetty optinen menetelmä. (3.)

Mitä hylkivämpi pinta on, sitä vähemmän kalvon pintaan jää muun muassa sormenjälkiä. Hylkivämmän suojakalvon pinta on siis helpompi pitää puhtaana. Puhdistettavuutta mitataan vesipisaran ja kalvon pinnan välisellä kontaktikulmalla. Kontaktikulma on kiinteän alustan ja nestepisaran rajapinnan tangentin välinen kulma. Kuvan 15 mukaisesti kontaktikulma mitataan nestefaasin puolelta. (39.)

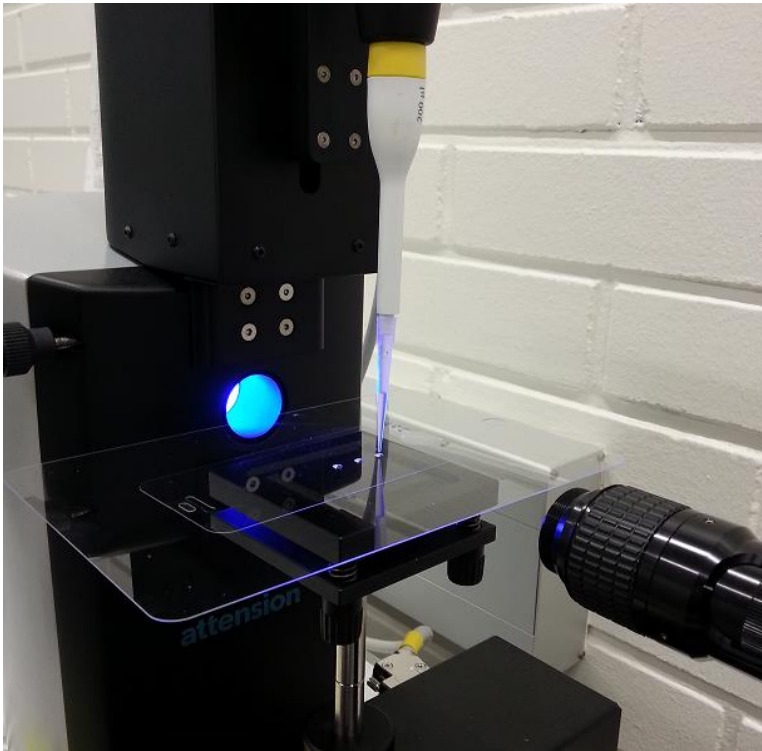
Kontaktikulman kasvaessa pinnan hylkivyyys lisääntyy eli suuri kontaktikulma tarkoittaa hyvin hylkivää pintaa. Hydrofobinen pinta tarkoittaa vettä hylkivää pintaa. Pinta on hydrofobinen, kun pisaran ja pinnan välinen kontaktikulma on yli 90° ja superhydrofobinen, kun kontaktikulma on yli 150° . Näytön suojakalvoista pyritäänkin saamaan mahdollisimman hydrofobisia. Hydrofiilinen pinta tarkoittaa niin sanottua vesihakuista pintaa. Hydrofiilinen pinta ei hylki vettä

ja likaa yhtä hyvin kuin hydrofobinen pinta. Pintaa kutsutaan hydrofiiliseksi, kun pisara leviää alustan pinnalle ja kontaktikulma on alle 90° . Superhydrofiiliselle pinnalle vesi leviää tasaiseksi kalvoksi. Kuvassa 15 on esitetty vesipisaran kontaktikulmat vettä hylkivän ja vesihakuisen pinnan päällä. (40.)



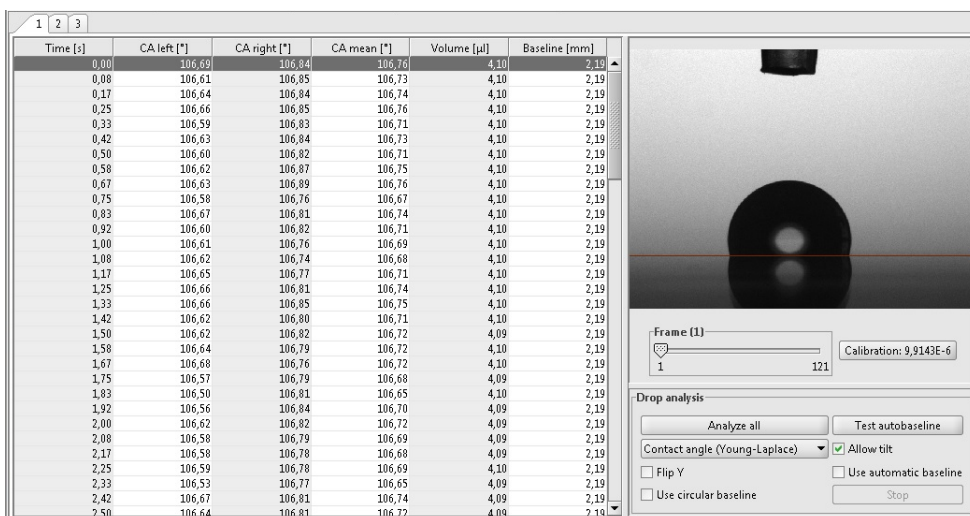
KUVA 15. Nestepisaran kontaktikulmat hydrofobisella ja hydrofiilisellä pinnalla (41)

Tässä työssä kontaktikulmien mittaamiseen käytettiin Attension Theta -mittauslaitteistoa. Kontaktikulman mittauslaitteisto sisältää alustan substraatille, pipetin nestepisaralle sekä mikroskoopin. Nestepisara tiputetaan substraatin pinnalle pipetin avulla. Pisarasta otetaan tämän jälkeen kuvia korkeatarkkuuksisella kameralla, joka kuuluu mittauslaitteeseen. Kuvassa 16 on esitetty työssä käytetty kontaktikulmien mittauslaitteisto mittauksen aikana.



KUVA 16. Kontaktikulman mittaus

Pisaran ja substraatin välinen kontaktikulma määritetään visuaalisesti piirtämällä pisaran reunaan kolmen faasin leikkauskohtaan nestepinnalle tangenti. Kontaktikulma on tangentin ja alustan välinen kulma pisaran puolelta mitattuna. Mittauslaitteisto on kytketty tietokoneeseen, jossa on kontaktikulman määrittämiseen ja analysointiin tarkoitettu ohjelma. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki mittauksesta saaduista tuloksesta suojakalvolle A.



KUVA 17. Suojakalvon A lähtökontaktikulman mittaustuloksia.

4.5 Kulutuksen kesto

Suojakalvon kulutuskestävyyttä mitataan lineaariabraasiotestillä. Kulutuksen kestoa arvioidaan vertaamalla mitattua lähtökontaktikulmaa kulutuksen jälkeen mitattuihin kontaktikulmiin. Suojakalvojen kulutuksen kestoa mitattaessa voidaan käyttää lineaarista kulutuslaitetta, jolla kulutetaan suojakalvon pintaa halutulla määrällä syklejä. Tässä työssä suojakalvoja kulutettiin hankaamalla niitä teräsvillalla Taber Linear Abraser 5750 -laitteistolla.

Taber 5750 -laitteesta voidaan valita haluttu varren liikkeen pituus väliltä 5 – 102 mm ja nopeus väliltä 2 – 75 sykliä minuutissa. Lisäksi voidaan lisätä painoja, joilla saadaan haluttu kuormitustaso testattavaan pintaan. Tässä työssä kuormitustaso oli 500 grammaa. Liikkeen nopeutena mittauksissa käytettiin 40 sykliä minuutissa. Kuvassa 18 on esitetty Taber 5750 -laitteiston rakenne ja liikesuunnat.

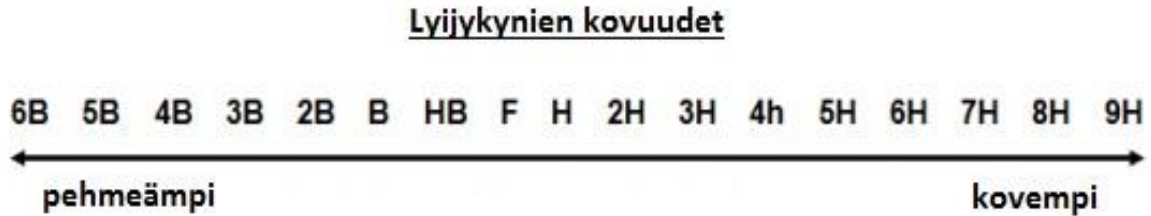


KUVA 18. Taber 5750 -laitteisto: 1.painot 2.hankauspää 3.testattavan tuotteen kiinnitysalusta (42)

4.6 Kovuus

Suojakalvojen kovuutta mitataan pencil hardness -menetelmällä, jossa kovuus luokitukset ovat samat kuin lyijykynien lyijyn kovuusluokitukset. Luokitukset

ilmoitetaan asteikolla 6B - 9H. Kovuusluokissa kirjain B tarkoittaa pehmeää ja H kovaa. Kovuusasteikko on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Lyijykynien kovuusluokitukset (43)

Kovuutta testattaessa käytettiin kuvan 14 mukaista Elcometer 501 pencil hardness testeriä. Testeri pitää lyijykynän 45° kulmassa testattavaan pintaan nähden ja kohdistaa siihen 7,5 N voiman. Testeri vedetään pinnoitteen päällä tasaisella voimalla painamatta. Testerissä olevaa lyijykynää vaihdetaan asteittaan pehmeämmästä kovempaan päin. Alhaisimman kovuuden omaava lyijykynä, joka jättää jäljen testattavaan pinnoitteeseen määrittää pinnoitteen kovuusluokituksen.



KUVA 14. Elcometer 501 -kovuustesteri (44)

5 TUOTTEIDEN TEKNINEN VERTAILU

Työn alkuperäisenä tarkoituksena oli saada näytteitä pinnoitteista, joilla kilpailijat pinnoittavat suojakalvonsa. Tarkoituksena oli pinnoittaa muovista kalvoa saaduilla pinnoitteilla ja testata pinnoitteiden ominaisuuksia. Työssä päädyttiin kuitenkin etsimään kuluttajille suunnattuja nestemäisenä myytäviä pinnoitteita, jotka ovat tarkoitettu matkapuhelimen näytön suojaamiseen.

Kuluttajille tarkoitettuja nestemäisiä pinnoitteita listattiin verkkokaupoista. Valituista nesteistä arvioitiin niiden valmistajien ilmoittamia arvoja pinnoitteen kovuudesta ja pinnan hylkivyydestä. Kaikki yritykset eivät ilmoita tuotteidensa ominaisuuksia kuluttajalle. Löydetyt pinnoitusnesteet on esitetty liitteessä 1. Listatuista pinnoitusnesteistä valittiin tilattaviksi ilmoitettujen arvojen ja yrityksen nettisivujen perusteella kiinnostavimmat tuotteet.

Työn tilaaja teki kuitenkin päätöksen, että on tarkoituksenmukaisinta testata markkinoilla olevia valmiita suojakalvoja ja laseja. Valituista näytön suojakalvoista ja -laseista testattiin niiden kovuutta ja pinnan kontaktikulmia vesipisaralla. Lisäksi kolmesta muovikalvosta mitattiin valonläpäisykykyä.

5.1 Kovuuden mittaustulokset

Taulukossa 1 on esitetty tuotteiden ilmoitetut kovuusluokitukset ja mitatut kovuusluokitukset. Havaittavia eroja valmistajien ilmoittamissa ja itse mitatuissa tuloksissa ei ilmennyt. Tuloksista huomataan lasikalvojen olevan yleisesti muovisia suojakalvoja kovempia.

TAULUKKO 1. Tuotteiden kovuusluokitukset

Tuote	Kovuus/ ilmoitettu	Kovuus/ mitattu
Muoviset suojakalvot		
Suojakalvo A	2H	2H
Suojakalvo B	2H	2H
Suojakalvo C	2H	2H
Suojakalvo D	2H	2H
Suojakalvo E	2H	2H
Lasiset suojakalvot		
Suojakalvo F	9H	9H
Suojakalvo G	9H	9H

5.2 Kontaktikulmien mittaustulokset

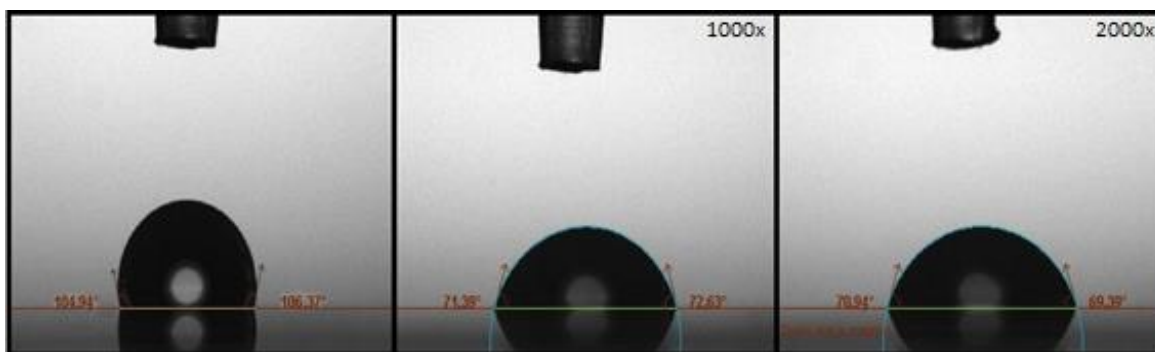
Kustakin tuotteesta mitattiin lähtökontaktikulma. Tämän jälkeen suojakalvoja kulutettiin Taber 5750 -laitteistolla, joka hankasi suojakalvon pintaa edestakaisin teräsvillalla halutun määrän liikkeitä. Kontaktikulman muutosta seurattiin mittaamalla myös kontaktikulmat 1000 ja 2000 syklin jälkeen. Näin saatiin tietoa siitä, kuinka tuotteiden pinnat kestävät kulutusta ja kuinka paljon kontaktikulmat ja pintojen ominaisuudet muuttuivat.

Attension Theta -mittauslaitteisto ottaa halutun määrän kuvia jokaisesta pisarasta. Laite on asetettu ottamaan jokaisesta kolmesta pisarasta 120 kuvaa eri puolilta pisaraa. Ohjelma laskee kullekin pisaralle keskiarvon 120 mittauksen tuloksista. Kolmen pisaran keskiarvoista lasketaan käsin keskiarvo, joka on nimellinen kontaktikulma kyseiselle pinnalle.

Valituilla muovisilla suojakalvoilla ei ilmennyt suuria eroja lähtökontaktikulmien mittauksissa. Lasisilla suojakalvoilla oli huomattavasti suurempi pinnan ja pisaran välinen kontaktikulma verrattuna muovisiin suojakalvoihin.

1000:n teräsvillalla suoritettua hankauksen jälkeen suojakalvojen pintojen kulumisessa ilmeni jo selkeämpiä eroja. Eräs muovinen suojakalvo poikkesi muista noin 20° pienemmällä kontaktikulmalla verrattuna muihin muovisiin kalvoihin. Kyseinen suojakalvo kestää täten huomattavasti heikommin kulutusta

verrattuna muihin testattuihin kalvoihin. Kuvassa 15 on esitetty suojakalvon B kontaktikulman muutokset kulutustestin jälkeen.



KUVA 15. Suojakalvon B kontaktikulman muutos kulutustestin jälkeen

2000:n teräsvillalla suoritetun hankauksen jälkeen kontaktikulmien pieneneminen hidastui yleisesti ottaen verrattuna käyttämättömään kalvoon ja 1000 hankauksen jälkeen suoritettuun mittaukseen. Tuloksien perusteella lasinen suojakalvo on myös käytettynä selvästi likaa hylkivämpi verrattuna uuteen muoviseen suojakalvoon. Kontaktikulmien mittaustulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukossa 2 esitetyistä tuloksista huomattiin, että lasikalvot ovat huomattavasti hylkivämpiä kuin muoviset suojakalvot. Lasikalvojen pinta myös säilyttää kontaktikulmansa paremmin kulutuksessa.

TAULUKKO 2. Kontaktikulmien mittaustulokset

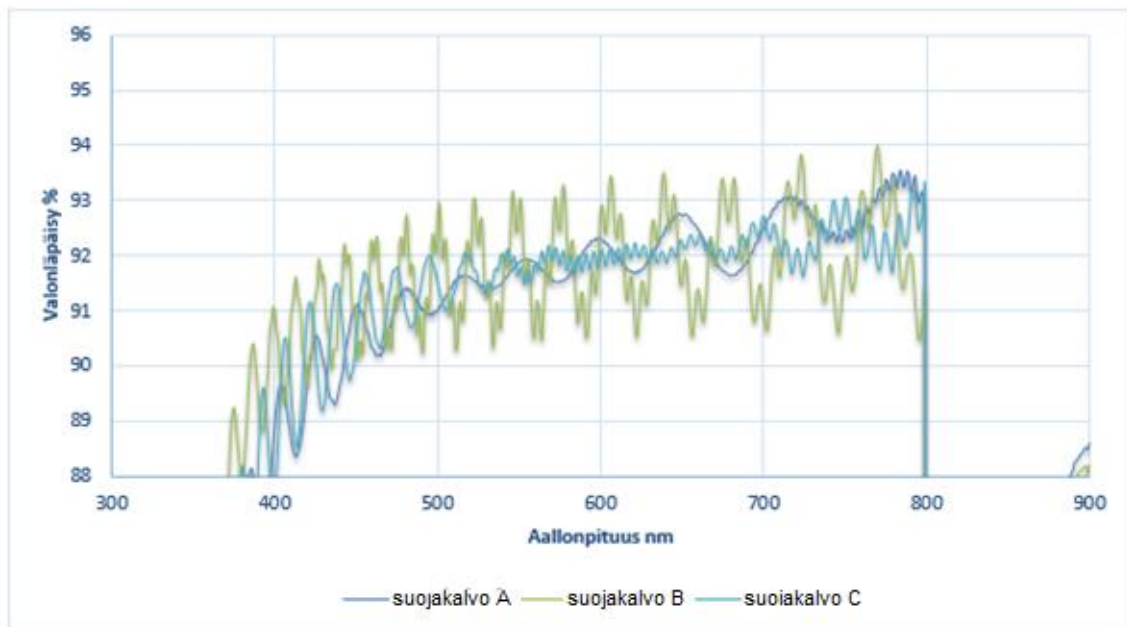
Tuote	CA °	1000x CA °	2000x CA °
Muoviset suojakalvot			
Suojakalvo A	104,95	69,65	65,11
Suojakalvo B	105,06	71,21	69,45
Suojakalvo C	104,98	71,30	69,34
Suojakalvo D	102,48	52,13	46,68
Suojakalvo E	104,90	70,95	69,27
Lasiset suojakalvot			
Suojakalvo F	115,20	113,02	110,92
Suojakalvo G	115,50	113,28	111,06

5.3 Valon läpäisy

Valon läpäisyprosentti tarkoittaa sitä kuinka suuri osa valosta läpäisee pinnan ja kuinka paljon valosta heijastuu pinnasta takaisin. Mittaukset suoritettiin VTT:n tiloissa spektrofotometrillä, joka lähetti valoa eri aallonpituuksilla kalvojen läpi ja mittasi valonläpäisyprosentit.

Valonläpäisy mittaukset suoritettiin kolmelle valitulle muoviselle suojakalvolle. Kaikille kalvoille ei voitu suorittaa mittausta, koska kalvojen täytyi olla uusia luotettavien mittaustuloksien takaamiseksi ja muista kalvoista ei ollut enää uusia kappaleita jäljellä. Valonläpäisy näkyvän valon aallonpituuksilla (λ : 400 – 800 nm) on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Valonläpäisyprosentit kolmelle muoviselle suojakalvolle eri aallonpituuksilla



Mittausten tuloksena saadusta taulukosta 3 katsottiin suurimmat yksittäisen aallonpituusarvon transmissiot, jotka on esitetty taulukossa 4. Taulukossa 4 on esitetty myös aallonpituudet, joilla valonläpäisyn huippuarvot saavutettiin. Taulukossa 4 on myös laskettu keskiarvot mitatuista transmissioista aallonpituuksien välillä 400 - 800 nm. Suuria eroavaisuuksia mitattujen tuotteiden valonläpäisyiden välillä ei ilmennyt.

TAULUKKO 4. Valonläpäisyprosenttien mittaustulokset

Tuote	Valonläpäisyn huippu %	Aallonpituus λ	KA (λ 400 – 800)
Suojakalvo A	94,003	770	91,75
Suojakalvo B	93,549	784	91,72
Suojakalvo C	93,295	799	91,71

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutustuttiin painettavaan teknologiaan ja testattiin markkinoilla olevia näytön suojaamiseen tarkoitettuja kalvoja. Työssä perehdyttiin muovisten ja lasisten näytön suojakalvojen pinnoittamiseen painettavan teknologian avulla. Valituista näytön suojakalvoista ja -laseista testattiin pinnan ominaisuuksia. Suojakalvoista testattiin niiden kovuutta, kontaktikulmaa vesipisaralla ja valonläpäisevyyttä.

Opinnäytetyön teko sujui pääpiirteittäin hyvin pienistä takaiskuista huolimatta. Alkuperäinen tarkoitus oli tilata pinnoitteita ja pinnoittaa itse PET-kalvoa, jolle olisi sen jälkeen suoritettu mittaukset. Työn tilaaja teki päätöksen, että on tarkoituksenmukaisinta testata markkinoilla olevia valmiita suojakalvoja ja karkaistusta lasista valmistettuja näytön suoja. Testaukset suoritettiin työn tilaajana toimineen yrityksen tiloissa.

Pinnan kontaktikulmat mitattiin kontaktikulman mittalaitteisto Attension Theta:lla. Jokaisesta suojakalvosta mitattiin kontaktikulmat useammalla kulutusasteella. Näin saatiin käsitys siitä, kuinka kalvot kestävät kulutusta. Valonläpäisyä mitattiin VTT:n tiloissa spektrofotometrillä. Valitettavasti kaikista valituista kalvoista mittausta ei voitu toteuttaa. Valonläpäisymittaus oli hyvä suorittaa käyttämättömälle kalvolle, jotta tulos oli luotettava. Mittauksen suoritusvaiheessa käyttämättömiä kalvoja oli vain kolmelta valmistajalta, joten voidaan todeta mittausjärjestyksen olleen väärä. Pinnan kovuutta mitattaessa käytettiin lyijykynistä tuttua kovuusasteikkoa, joka on käytössä maailmanlaajuisesti myös pinnoitteiden kovuuksia ilmoitettaessa. Pinnan kovuudet mitattiin ja niitä verrattiin valmistajien ilmoittamiin kovuusarvoihin. Valmistajien ilmoittavat arvot pitivät suurilta osin paikkansa.

Suoritettujen testien tuloksena voidaan todeta, että muovisten näytönsuojakalvojen kulutuskestävyyksissä oli jonkin verran eroja. Veden kontaktikulmamittauksen perusteella voidaan olettaa, että pinnoitettu lasi on puhdistuvuudeltaan parempi kuin testatut muoviset suojakalvot. Saatujen

tulosten perusteella lasiset kalvot olivat muovisia kovempia ja kestävät kulutusta ja iskuja muovisia kalvoja paremmin.

LÄHTEET

1. Optitune. Saatavissa: <http://www.optitune.com/>. Hakupäivä 15.9.2015.
2. Määttä, Harri 2012. Painettava teknologia: RFIDLabFinland Roadshow, Oulu 27.11.2012. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.rfidlab.fi/system/files/OAMK.pdf>. Hakupäivä 1.6.2015.
3. Tuovinen, Teemu 2013. Vertailumenetelmän kehittäminen vasta-ainesensorille. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Laboratorioalan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67813/Tuovinen_Teemu.pdf?sequence=1. Hakupäivä 1.6.2015.
4. Tingander, Tuomo. 2010. Painettava elektroniikka tuotantotekniikkana. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu, elektroniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14627/tuomo_tingander.PDF?sequence=1 Hakupäivä 2.8.2015.
5. Kaisto, Juho 2011. Painokoneen pesuosion automatisointi. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33856/Kaisto_Juho.pdf?sequence=1 Hakupäivä 2.8.2015.
6. PET Tekniset tiedot -esite. 2013. Vink Oy. Saatavissa: http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/petp/vink_petp_esite_a4_web.pdf Hakupäivä 2.8.2015.
7. Polyethylene naphtalate – Film.2015. Goodfellow. Saatavissa: <http://www.goodfellow.com/catalogue/GFError.php?sessid=&error=Enterprise+Web+Developer+Error+%3A+Invalid+token+or+session+timed+out> Hakupäivä 2.8.2015.

8. Ahtiainen, Miika 2015. R2R-silkkipainolaitteen materiaalisyöttöyksikön kehittäminen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94635/Ahtiainen_Miika.pdf?sequence=1. Hakupäivä 1.6.2015.
9. Pentinpuro, Esko 2014. Kuumapuristusyksikön vaihtoehtoiset lämmitysratkaisut. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73628/Pentinpuro_Esko.pdf?sequence=1. Hakupäivä 1.6.2015.
10. Painettu äly tutuksi. 2013. Oulun insinöörit ry. Saatavissa: <http://www.ouluninsinoorit.fi/tapahtumat/?x118457=241541>. Hakupäivä 27.10.2015.
11. Printed intelligence. 2015. PrintoCent. Saatavissa: <http://www.printocent.net/presentation.html#4>. Hakupäivä 1.6.2015.
12. Oledit ja aurinkokennot. 2015. VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/palvelut/digitaalinen-maailma/painettu-%C3%A4ly-ja-hybridivalmistus/oledit-ja-aurinkokennot>. Hakupäivä 1.6.2015.
13. Jääskö, Jaakko 2013. Painettavan elektroniikan ratakameran ohjelmointi. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://herkules.oulu.fi/thesis/nbnfioulu-201312031946.pdf>. Hakupäivä 1.7.2015.
14. Global flexible display market 2013–2020. 2013. Markkinatutkimus. Markets & Markets Inc.
15. Saukko, Ossi – Nokela, Sakari 2015. Tulevaisuuden näyttöratkaisut. Centria-ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97245/978-952-6602-88-2.pdf?sequence=3>. Hakupäivä 31.7.2015.

16. Coating techniques. 2015. Saatavissa: <http://plasticphotovoltaics.org/lc/lc-fabrication/lc-coating.html> Hakupäivä 9.11.2015
17. Kuvioidut, taipuisat aurinkopaneelit osaksi sisustusta ja esineiden ulkonäköä. 2015. VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/kuvioidut-taipuisat-aurinkopaneelit-osaksi-sisustusta-ja-esineiden-ulkon%C3%A4k%C3%B6%C3%A4>. Hakupäivä 31.7.2015.
18. Torppa, Jussi 2012. Painettujen johtimien ominaisuuksien määrittäminen. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48490/Painettujen+johtimien+ominaisuuksien+maarittely.pdf;jsessionid=EA2727196072CD39619663DF91BB213A?sequence=1> Hakupäivä 31.7.2015.
19. Flexopaino – painomenetelmä muovikasseille ja monelle muulle. 2013. Blue orange oy. Saatavissa: <http://bax.fi/flexopaino> Hakupäivä 1.8.2015.
20. Print Process Descriptions: Printing Industry Overview: Flexography. 2013. Printers' National Environmental Assistance Center. Saatavissa: <http://www.pneac.org/printprocesses/flexography/>. Hakupäivä 1.8.2015.
21. Painomenetelmät. 2015. Graafinen - tietopankki graafikoille. Saatavissa: <http://www.graafinen.com/tietopankki/painomenetelmat/>. Hakupäivä 1.8.2015.
22. Printing Methods 2012. Stephmeadmedia. Saatavissa: <https://stephmeadmedia.wordpress.com/2012/11/17/printing-methods/>. Hakupäivä 1.8.2015.
23. Väänänen, Ari 2015. Konenäkö painettavassa elektroniikassa r2r-painokoneella. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90184/Vaananen_Ari_J.pdf?sequence=1. Hakupäivä 1.8.2015.

24. Varjus, Jari 2012. Painettujen kelojen ominaisuuksien määrittely. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47820/Jari_Varjus.pdf?sequence=1 Hakupäivä 2.8.2015.
25. Welin, Maria 2012. Tampo- ja seripainon ympäristöselvitys. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41810/Maria_Welin_insinoorityo.pdf?sequence=1. Hakupäivä 2.8.2015.
26. Offsetpaino. 2015. Keski-suomalainen. Saatavissa:
<http://www.ksml.fi/erikoissivut/museo/kasilatomosta-offset-painoon/offsetpaino/1182966> Hakupäivä 2.8.2015.
27. Offsetpaino. 2015. Wikipedia. Saatavissa:
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Offsetpaino> Hakupäivä 2.8.2015.
28. Offsetpainaminen. Mainostoimisto Cimacuu. Saatavissa:
<http://www.cimacuu.net/51> Hakupäivä 2.8.2015.
29. Painopinnan valmistusta – sanasto. 2010. Notepad. Saatavissa:
<http://www.notepad.fi/Sanasto/O.html> Hakupäivä 2.8.2015.
30. Juho-Matti, Tirola 2014. Säiliökaavarin suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74774/Opinnaytetyo.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 2.8.2015.
31. Hot embossing for holographil effects and brand promotion. 2009. VTT - Jaakko Raukola. Saatavissa:
http://www.vtt.fi/files/services/ipr/ict/hotembossing_technolog_brochure.pdf
Hakupäivä 2.8.2015.
32. Printed Intelligence- Applications and techonologies; Low cost diagnostics. 2009. VTT Oy. Saatavissssa:
2009. VTT Oy. Saatavissssa:

- http://www.micropolis.fi/files/micropolis/photonicroad/printed_intelligence_applications_technologies_low_cost_diagnostics_markku_kansakoski_vtt_photeroadsme_oulu_050709.pdf Hakupäivä 2.8.2015.
33. Leinonen, Laura 2012. Painettujen vastusten ominaisuuksien määrittely. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47929/Leinonen_Laura.pdf.pdf?sequence=1. Hakupäivä 31.7.2015.
34. PrinLab - Painettavien antureiden kehityslaboratorio/ Equipment. 2015. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/hankkeet/prinlab/equipment/index.php?page=som-100> Hakupäivä 31.7.2015.
35. Protector example. 2015. Expert Shield. Saatavissa: http://findingrange.com/wp-content/uploads/2013/05/protector_example.jpg Hakupäivä 2.8.2015.
36. Coating. 2015. Wikipedia. Saatavissa: <https://en.wikipedia.org/wiki/Coating> Hakupäivä 2.8.2015.
37. Tunable Characteristics of Optitune nanon-engineered coatings. 2015. Optitune Oy. Saatavissa: <http://www.optitune.com/%20-%20technology> Hakupäivä 2.8.2015.
38. Kontaktikulman mittaaminen. 2015. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Kontaktikulman_mittaaminen Hakupäivä 1.7.2015
39. Kontaktikulma. 2015. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Kontaktikulma#Kontaktikulma_k.C3.A4yt.C3.A4n.n.C3.B6ss.C3.A4 Hakupäivä 1.7.2015.
40. Hylkivä pinta suoraan muotista. 2010. Janne Tervola. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/metallitekniikka/2010-12-07/Hylkiv%C3%A4-pinta-suoraan-muotista-3298596.html> Hakupäivä 2.8.2015.

41. Ultra ever dry. 2014. Science brainwaves. Saatavissa:
<http://www.sciencebrainwaves.com/blogs/chemistry/ultra-ever-dry/>
Hakupäivä 2.8.2015.
42. Specimen Mounting. 2015. Taber Industries. Saatavissa:
<http://www.taberindustries.com/linear-specimen-mounting>. Hakupäivä
[4.8.2015](#)
43. Coating Pencil Hardness Testing. 2014. Sky coat industrial armor.
Saatavissa: <http://skycoat.com/quality-room/pencil-hardness-coating-testing/>. Hakupäivä 31.8.2015.
44. Elcometer 501 Pencil Hardness Tester. 2015. Elcometer Limited.
Saatavissa: <http://www.elcometer.com/en/physical-test-equipment/hardness-scratch/elcometer-501-pencil-hardness-tester.html>
Hakupäivä 2.8.2015.

Yritys	Tuote	Hinta / €	CA° (ilm)	PH (ilm)	Linkki verkkokauppaan
Yritys 1	Pinnoite 1	23.63	105	9H	
Yritys 2	Pinnoite 2	19.90		9H	
Yritys 3	Pinnoite 3	9.99			
Yritys 4	Pinnoite 4	23.93		9H	
Yritys 5	Pinnoite 5	18.80	105	8 - 9H	
Yritys 6	Pinnoite 6	5.99			
Yritys 7	Pinnoite 7	42.54		9H	
Yritys 8	Pinnoite 8	47.25		8-9H	
Yritys 9	Pinnoite 9	9.99			
Yritys 10	Pinnoite 10	9.95			
Yritys 11	Pinnoite 11	12.28			
Yritys 12	Pinnoite 12	18.86	105		
Yritys 13	Pinnoite 13	20.91			
Yritys 14	Pinnoite 14	23.30	110	9H	
Yritys 15	Pinnoite 15	21.75			