

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Elektroniikan koulutusohjelma

Ari-Pekka Alatalo

POLYMEERI SÄHKÖNJOHTEENA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka

ALATALO, ARI-PEKKA

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn valvoja

Toimeksiantaja

Huhtikuu 2010

Avainsanat

Polymeeri sähkönjohteena

39 sivua + 4 liitesivua

Yliopettaja Esa Pulkkanen

Tutkimusjohtaja Juhani Talvela

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

painoväri, polymeeri, johtavuus, resistanssi

Sähköä johtavilla painoväreillä voidaan tehdä tulosteita ja painatuksia erilaisille materiaaleille, joissa halutaan hyödyntää sähköteknisiä sovelluksia. Tämä teknologia tarjoaa uusia mahdollisuuksia perinteisiin sovelluksiin verrattuna varsin kustannustehokkaalla tavalla. Painatuksia voidaan tehdä myös elastisille materiaaleille, ja sopivilla menetelmillä voidaan jopa painattaa tai tulostaa elektronisia komponentteja.

Tässä työssä tutustuttiin polymeerikemian avulla sähköä johtavien painovärien ominaisuuksiin, sekä tehtiin käytännön sovelluksia ja tutkimuksia suomalaisen Panipol Oy –yrityksen valmistaman painoväriin kanssa.

Käytännön painatuksista oli tehtävä suhteellisen yksinkertaisia, sillä tutkimuksen kohteena olleen painoväriin rajallinen sähkönjohtavuus havaittiin tutkimuksen alkuvaiheessa. Työssä keskityttiinkin tekemään painatuksia erilaisille materiaaleille, joihin painatettiin pelkästään sähköä johtava pinnoite. Näin pystyttiin vertailun kautta tutkimaan materiaalien vaikutusta painatuksiin.

Valmiille painatuksille suoritettiin erilaisia mittauksia, joissa selvitettiin lähinnä niiden sähkönjohtavuuksia. Näistä mittaustuloksista oli mahdollista tehdä päätelmiä siitä, miten painoväriä olisi mahdollista hyödyntää käytännössä. Mittauksista selvisi, että painovärillä onnistuisi esimerkiksi antistaattisen pinnoitteen toteuttaminen.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Electronics

ALATALO, ARI-PEKKA

Bachelor's Thesis

Supervisors

Commissioned by

April 2010

Keywords

Electrical Conductive Polymer

39 pages + 4 pages of appendices

Esa Pulkkanen, Principal Lecturer

Juhani Talvela, Research Director

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

coating ink, polymer, conductance, resistance

Electrical conductive coating inks offer innovative possibilities to produce electrotechnical applications. This type of technology provides a cost-effective way to create electronic prints on different types of materials. Appropriate methods even enable the manufacture of electronic components.

The aim of this thesis was to study electrical conductive coating inks by means of polymer chemistry and also to explore one type of coating ink in practice. This ink is made by the Finnish company Panipol Oy.

The study revealed that the electrical conductivity of the coating ink was quite low. Therefore, the practical prints were made relatively simple. The printing was also made on several materials so as to ensure the comparability between the effects on the different materials.

The finished prints were measured in a laboratory. The main objective was to find out the amount of electrical conductivity. The final results elucidate possibilities of the prints for using in practice. After the measuring process, it was clear that the coating ink studied in this project is suitable for making antistatic coatings, for example.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Lobistech–projektia. Lobistech-projekti on auttanut Kymenlaakson alueen yrityksiä kehittymään ja menestymään tehtävissään ja toiminnoissaan.

Haluan kiittää Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tutkimusjohtaja Juhani Talvelaa ja yliopettaja Esa Pulkasta yhteistyöstä ja avusta työssäni. Heidän panostuksensa työtäni kohtaan ovat olleet korvaamattomia.

Kotkassa 29.4.2010

Ari-Pekka Alatalo

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 POLYMEERIT | 8 |
| 2.1 Polymeerit yleisesti | 8 |
| 2.2 Muovit ja kumi | 9 |
| 2.2.1 Kertamuovi | 9 |
| 2.2.2 Kestomuovi | 10 |
| 2.2.3 Kumi | 10 |
| 2.3 Kemialliset ominaisuudet ja polymeroitumisaste | 10 |
| 2.4 Polymerointimenetelmät | 11 |
| 2.4.1 Ketju- ja askelpolymerointi | 12 |
| 2.4.2 Additio- ja kondensaatiopolymeerit | 12 |
| 3 POLYMEERIEEN SÄHKÖISET OMINAISUUDET | 13 |
| 3.1 Polymeeri eristeenä | 13 |
| 3.2 Polymeeri johteena | 14 |
| 3.2.1 Täytetyt polymeerit | 14 |
| 3.2.2 Johdepolymeerit | 15 |
| 4 KÄYTÄNNÖN PAINATUSPROSESSI | 17 |
| 4.1 Työn aloitus | 17 |
| 4.2 Panipol johdepolymeeriseos | 17 |
| 4.3 Painopaikka ja painatusprosessi | 19 |
| 5 MITTAUSPROSESSI | 22 |
| 5.1 Mittaukset yleisesti | 22 |
| 5.2 Pintaresistanssimittaus | 22 |
| 5.3 Impedanssimittaus | 25 |
| 5.4 Mittaustulosten keskinäinen vertailu | 32 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 6 KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET | 33 |
| 6.1 Sähköinen ruostesuojaus | 34 |
| 6.2 ESD-suojaus | 34 |
| 6.3 EMC-suojaus | 35 |
| 7 YHTEENVETO | 36 |
| 8 ARVIOINTI | 37 |
| LÄHTEET | 38 |
| LIITTEET | |
| Liite 1. Panipol W datalehti | |
| Liite 2. FinnDisp datalehti 1 | |
| Liite 3. FinnDisp datalehti 2 | |
| Liite 4. PanStat W datalehti | |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutustua, miten sähköä johtavan painoväriin avulla voidaan tulostaa tai painaa erilaisille materiaaleille sähköä johtavia rakenteita. Tulostamalla ja painamalla toteutetut sähköiset sovellukset ovat yleisesti vielä enimmäkseen kehitystyön alla, mutta tulevaisuudessa niistä voidaan odottaa varsin kustannustehokasta tapaa tuottaa sähköisiä ratkaisuja erilaisiin kohteisiin, kuten esimerkiksi tuotteiden pakkauksiin. Maailmanlaajuisesti ajateltuna myös Suomi on mukana kehityksessä, sillä esimerkiksi VTT eli Valtion teknillinen tutkimuskeskus on suorittanut sähköä johtavien painovärien tutkimustyötä jo usean vuoden ajan.

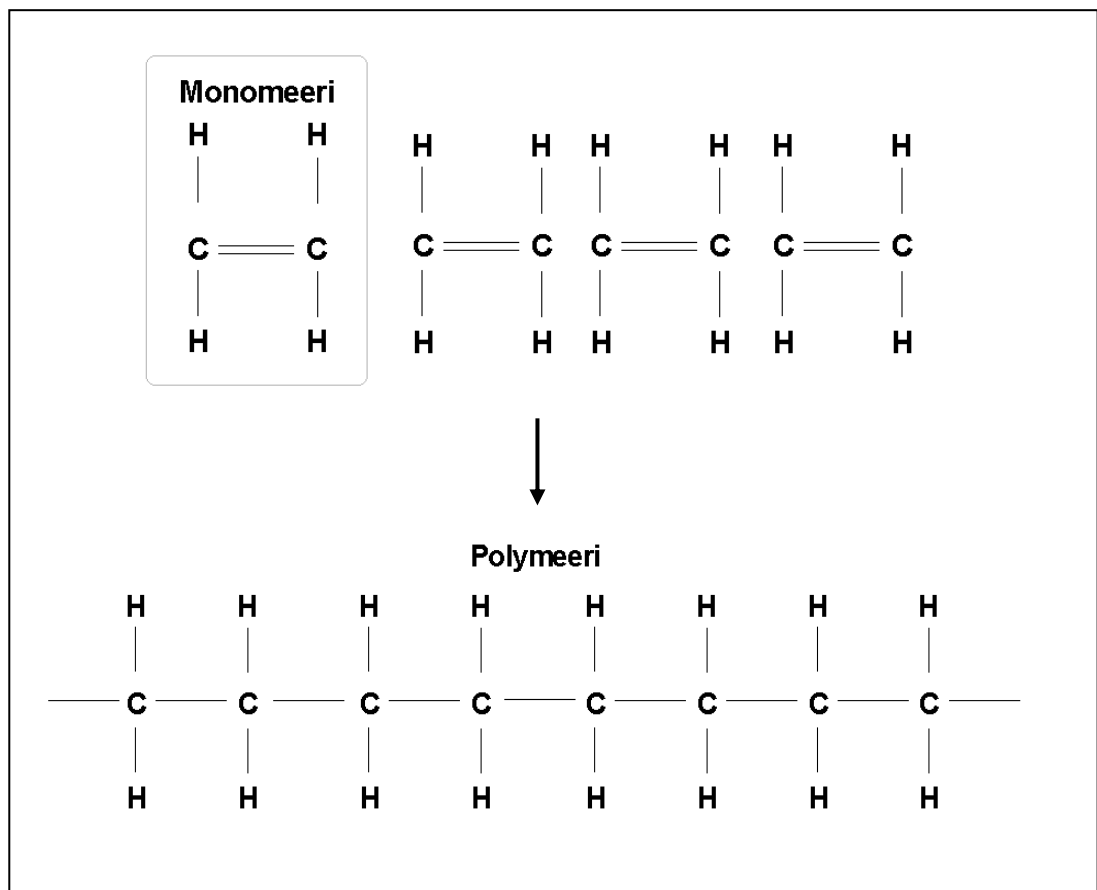
Tässä työssä tutustutaan aluksi polymeerien kemiallisiin ja fyysisiin ominaisuuksiin ja selvennetään niiden rakennetta ja muokkautumista. Polymeerejä käsitellään sen vuoksi, että työn tutkimuksen kohteena oleva painoväri on polymeeripohjainen. Työssä käsitellään myös polymeerien sähköisiä ominaisuuksia, mikä selventää aihetta siirryttäessä käsittelemään asiaa käytännössä. Tutkinnassa käytetty painoväri on sähköä johtava nestemäinen liuos, joka on Suomessa toimivan porvoollaisen Panipol Oy -yrityksen kehittämä johdepolymeeriliuos. Liuos on toimitettu Kymenlaakson ammattikorkeakoulun käyttöön tutkimustyötä varten.

Painoväriin avulla tehtiin käytännössä sähköä johtavia pinnoitteita erilaisille materiaaleille, joilla suoritettiin sähköisiä mittauksia ja tutkittiin myös materiaalien vaikutusta lopullisiin tuloksiin. Painatuksissa oli saatava painojäljeltään laadukkaita eli mittausten kannalta käyttökelpoisia. Etukäteen oli siis varauduttava tekemään useampia painatuksia, joista mittauksia varten valittiin painojäljeltään parhaimmat. Käytännön mittausten avulla voitiin todeta, kuinka hyvin itse tehdyt painatukset johtivat sähköä ja miten niitä voitaisiin hyödyntää käytännön sovelluksissa.

2 POLYMEERIT

2.1 Polymeerit yleisesti

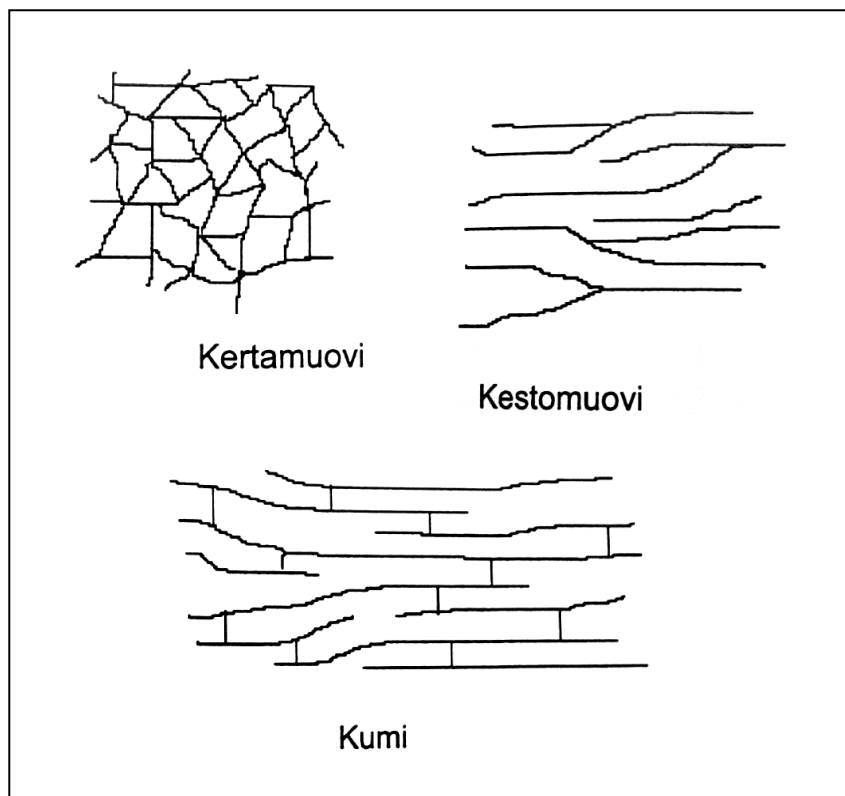
Pienimolekyylisistä monomeereistä koostuneita moolimassaltaan suuria makromolekyylejä kutsutaan polymeereiksi. Alkuperänsä mukaan polymeerit voidaan luokitella luonnonpolymeereihin, muunnettuihin luonnonpolymeereihin ja synteettisiin polymeereihin. Luonnonpolymeereihin luokitellaan muun muassa selluloosa, tärkkelys ja proteiinit. Luonnonpolymeerejä voidaan kemiallisen käsittelyn avulla muunnella, esimerkkinä selluloosasta muunnettu selluloosanitraatti. Synteettisiä polymeerejä on olemassa lukemattomia määriä, joita voidaan valmistaa kemian teollisuuden tuottamista monomeereistä. Esimerkkeinä synteettisistä polymeereistä mainittakoon polyeteeni (kuva 1), polyvinyylikloridi ja polystyreeni. (1, 341.)



Kuva1. Polymeerin rakentuminen (1)

2.2 Muovit ja kumi

Muovit koostuvat yleensä polymeeristä sekä joistakin lisä- ja apuaineista. Muoveilla on käytössä viralliset lyhenteet ja muovien nimeäminen määräytyy perusmateriaalin polymeerin nimestä, eli esimerkiksi PVC-muovissa perusmateriaalina on polyvinyylikloridi. Muovit voidaan muovattavuutensa mukaisesti jaotella kertamuoveihin ja kestumuoveihin. Elastomeerit ovat läheistä sukua muoveille, ja tyypillinen elastomeeri on esimerkiksi kumi. Kertamuovi, kestumuovi ja kumi ovat siis rakenteeltaan varsin erilaisia (kuva 2). (1, 341.)



Kuva2. Rakenteiden vertailua (2)

2.2.1 Kertamuovi

Kertamuovi syntyy hartsin eli kertamuovin perusraaka-aineen kovettumisreaktiossa. Kertamuovin polymeeriketjut kytkeytyvät kemiallisin sidoksin toisiinsa muodostamalla verkkomaisen rakenteen, jota ei voi enää uudelleen muovata lämmöllä. Yleisimpiä kertamuoveja ovat epoksihartsit, fenoli-formaldehydimuovit ja tyydyttymättömät polyesterit. (2, 10,207.)

2.2.2 Kestomuovi

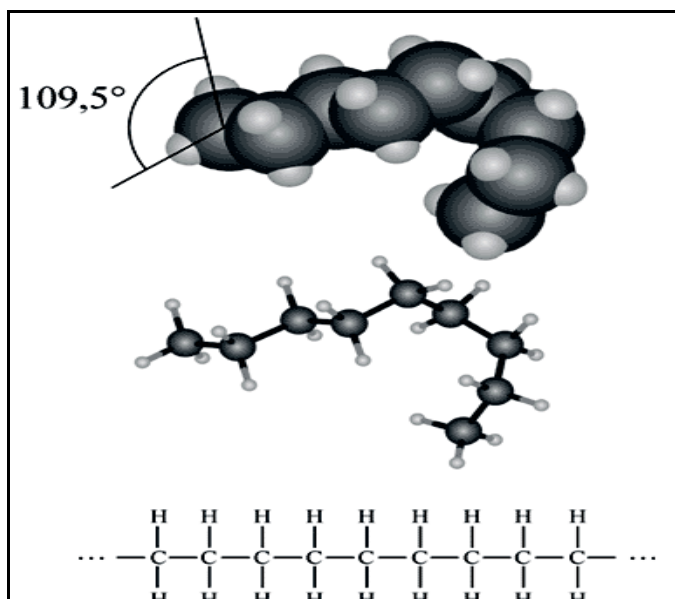
Kestomuovi koostuu molekyylien pitkistä polymeeriketjuista, joiden väliltä kertamuoveista poiketen puuttuvat kemialliset sidokset. Kestomuovia lämmitettäessä molekyyliä yhdessä pitävät voimat heikkenevät ja jäädyttäessä vahvistuvat. Kestomuoveja voidaan tämän vuoksi muovata paineen ja lämmön avulla. (2, 10,207.)

2.2.3 Kumi

Kumi voidaan luokitella elastomeereihin, ja sillä on kerta- ja kestopuovin väli- muotoa muistuttava rakenne. Polymeeriketjut ovat toisiinsa liittyneinä kemiallisesti, ja rakenne ei ole uudelleen muovattavissa eikä liuotettavissa kiehuvilla orgaanisilla liuottimilla. Kumille tyypillistä on palautuminen jännityksestä vapautumisen jälkeen alkuperäisiin mittoihin. (2, 10,207.)

2.3 Kemialliset ominaisuudet ja polymeroitumisaste

Polymeerin rakennetta kuvailtaessa voidaan ottaa havainnollistavaksi esimerkiksi jo aiemmin esitetty polyeteeni, joka koostuu hiilen ja vedyn sidoksista. Sen ketjumaista kemiallista rakennetta voidaan hahmotella monin eri tavoin, mutta kolmiulotteinen rakennekuva esittää käytännönläheisintä tilannetta (kuva 3). (3.)



Kuva 3. Polymeerin kemiallinen rakenne (3)

Polymeerien suurikokoisten molekyylien aikaansaama korkea polymeroitumisaste mahdollistaa polymeereille erikoislaatuisia ominaisuuksia, ja mekaanisista ominaisuuksista tärkeimpiä ovat venymä, vetolujuus, iskulujuus ja kimmokerroin. Polymeroitumisasteen noustessa nämä ominaisuudet kasvavat aluksi jyrkästi, mutta kasvu loivenee polymeroitumisasteen kasvaessa. Polymeroitumisaste on laskettavissa jakamalla polymeerin moolimassa yhden monomeerin moolimassalla. Polyeteenin tapauksessa eteenin eli monomeerin moolimassa on 28 g/mol ja polyeteenin moolimassaksi voidaan ajatella 12 000 g/mol, joten polymeroitumisasteeksi saadaan noin 430. Polymeroitumisaste kuvaa siis monomeerien määrää polymeerissä. Polymeroitumisasteen suuruudella on selkeä merkitys muun muassa edellä mainitun polyeteenin ominaisuuksiin (taulukko1). (2, 25,26.)

Taulukko1. Polymeroitumisasteen vaikutus (2)

| Polymeroitumisaste DP | Moolimassa g/mol | Pehmenemislämpötila °C | Polymeerin luonne 25 °C:ssa |
|--------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|
| 1 | 28 | -169 | kaasu |
| 6 | 170 | -12 | neste |
| 35 | 1000 | 37 | rasvamainen |
| 140 | 4000 | 93 | vahamainen |
| 250 | 7000 | 98 | kova vaha |
| 430 | 12000 | 104 | kova muovi |
| 750 | 21000 | 110 | kova muovi |
| 1350 | 38000 | 112 | kova muovi |

2.4 Polymerointimenetelmät

Valmistettaessa synteettisiä polymeerejä, monomeerit eli pienimolekyyliset lähtöaineet liittyvät useiden eri reaktiotyyppien mukaisesti toisiinsa. Polymeerejä voidaan jaotella sekä rakenteen että polymeroitumismekanismin mukai-

sesti. Rakenteen puolesta polymeerit jaotellaan additio- ja kondensaatiopolymeereiksi ja polymeroitumismekanismien perusteella ketju- ja askelpolymeereiksi. Polymeerin rakenteella ja polymeroitumismekanismilla on eräänlainen keskinäinen riippuvuus, sillä yleisesti additiopolymeerit muodostuvat ketjupolymeroitumalla ja kondensaatiopolymeerit askelpolymeroitumalla. (2, 103,104.)

2.4.1 Ketju- ja askelpolymerointi

Vinyyli- ja muut kaksoissidoksia sisältävät monomeerit, kuten esimerkiksi polyeteeni, polymeroituvat ketjupolymeroinnin mukaisesti. Ketjupolymeroinnissa kasvuvaihe on nopea, sillä initiaattorista muodostuva reaktiivinen yhdiste liittyy monomeeriin. Tämä reaktiivinen yhdiste on vapaa radikaali eli anioni tai kationi. Erilaiset nopeudet lähtö-, kasvu- ja päättymisreaktioilla ovat tyypillisiä ketjupolymeroinnissa. (2, 103,104.)

Vaiheittain tapahtuvassa askelpolymeroinnissa monomeerin funktionaalinen ryhmä reagoi kasvavan polymeerin tai toisen monomeerin kanssa. Askelpolymeroitumisen lähtö-, kasvu- ja päättymisreaktioiden mekanismit ja nopeudet ovat samanlaiset, sillä monomeerin funktionaalisen ryhmän reagoitokyky on samanlainen kuin kasvavan polymeerin vastaavan ryhmän. Hitaasti kasvavan polymeerin polymeroituminen voidaan keskeyttää useissa tapauksissa pienpolymeeriasteelle. (2, 103,104.)

2.4.2 Additio- ja kondensaatiopolymeerit

Kun polymeerin muodostuessa siitä ei eroa pienimolekyylisiä sivutuotteita, luokitellaan se silloin additiopolymeeriksi, jonka toistuvalla yksiköllä on siten monomeerin koostumus. Polymeroitumismekanismi on ketjupolymerointi, ja polymeroitumisreaktio tapahtuu monomeerin sisältävän kaksoissidoksen avulla. Additiopolymerointi toteutetaan katalysaattorien tai initiaattorien avulla, joista esimerkkeinä mainittakoon rikkihappo, bentsoyyliperoksidi ja natriumamidi. Additiopolymeerejä ovat esimerkiksi polyeteeni ja polyvinyyliskloridi. (2, 106,107.)

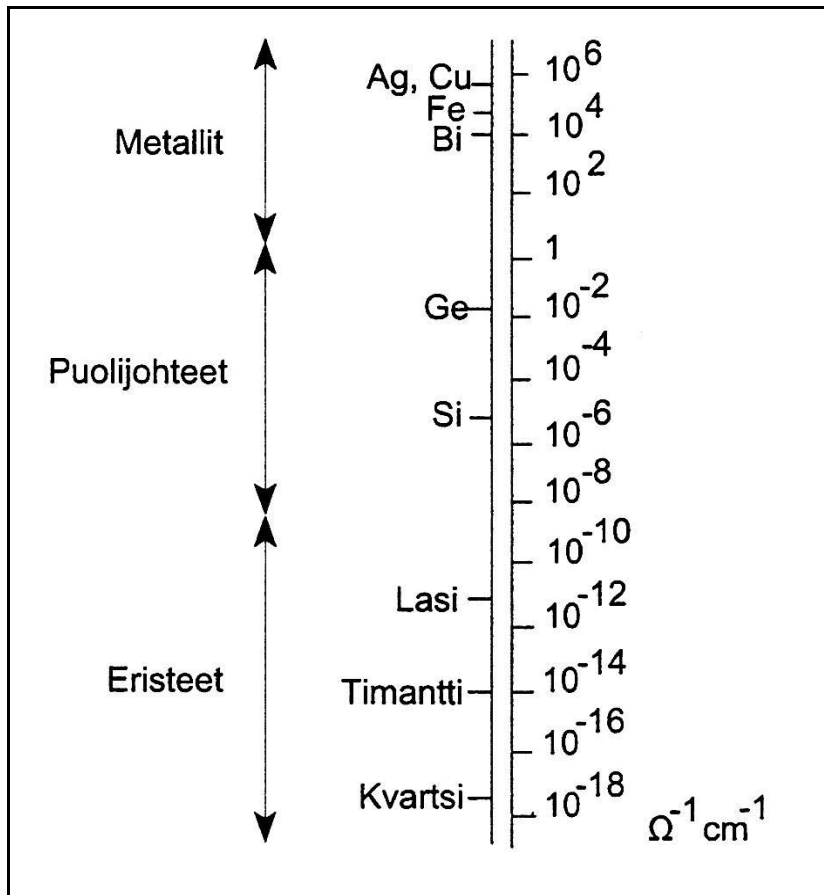
Kondensaatiopolymeerien polymeroitumismekanismi on askelpolymeroituminen, joiden muodostuessa monomeerien reaktioissa sivutuotteina eroaa pienimolekyylisiä yhdisteitä, esimerkiksi alkoholia, kloorivetyä ja vettä. Monomeerien rakenne eroaa täten polymeerin toistuvien yksiköiden rakenteesta. Polymerointi voidaan suorittaa liuoksessa tai rajapintapolymeroitina. Rajapintapolymeroinnissa reaktio tapahtuu nesteiden rajapinnassa. Lähtöaineet liuotetaan kahteen nesteeseen, jotka ovat keskenään liukenemattomia, ja tavallisesti toinen näistä on vesi. Tyypillisiä kondensaatiopolymeerejä ovat polyamidi ja polyesteri. (2, 105,106.)

3 POLYMEERIEN SÄHKÖISET OMINAISUUDET

3.1 Polymeeri eristeinä

Muovien käyttäminen eristeinä sekä korkeiden että matalien jännitteiden yhteydessä johtuu muovien tyypillisestä rakenteesta, joka ei johda sähköä. Ominaisuuksia, jotka määräävät muovin eristeaineeksi soveltuvuuden, ovat muun muassa pintavastus, ominaisvastus, häviökerroin ja suhteellinen permittiivisyys. Eristeaineilla on tyypillistä korkea ominaisvastus, jonka suuruus on $10^9 - 10^{18} \Omega \cdot cm$ ja useimpien eristeinä käytettävien muovien ominaisvastus sijoittuu edellä mainitun suuruusluokan yläpäähän. Muoveilla ei ole vapaita elektroneja tai muita varauksenkuljettajia, joten tämän vuoksi niiden ominaisvastus on suuri. (2, 79,80.)

Erilaiset aineet voidaan luokitella sähkönjohtavuuden perusteella eristeisiin, puolijohteisiin ja metalleihin eli johteisiin (kuva 4). Metalleista hyvin sähköä johtavia aineita ovat esimerkiksi hopea ja kupari, ja vähiten sähköä johtava eli hyvin eristävä aine on esimerkiksi kvartsi. Puolijohdemateriaaleja ovat esimerkiksi germanium ja pii. (2, 79,80.)



Kuva 4. Johtavuusluokittelu (2)

3.2 Polymeeri johteena

Johtavia polymeerejä on karkeasti luokiteltuna kahdenlaisia: täytettyjä polymeerejä ja johdepolymeerejä. Kun polymeeriin lisätään täyteaineita, on silloin mahdollista saada siitä sähköä johtava, ja tällöin puhutaan täytetystä polymeeristä. Tässä tapauksessa muoviin seostettu lisäaine toimii johtimena, ja polymeeri itsessään ei muutu sähköä johtavaksi. (1, 367 ; 4, 77.)

Johdepolymeeri on rakenteeltaan yhdisteitä sisältävä polymeeri, jolla itsessään on sähköä johtava ominaisuus, jossa elektronit siirtyvät ketjulta toiselle pitkin polymeeriketjua (1, 367 ; 4, 77).

3.2.1 Täytetyt polymeerit

Täytettyjen polymeerien valmistamiseen käytettyjä menetelmiä on erilaisia. Yleisimmistä menetelmistä puhuttaessa voidaan jakaa ne kahteen eri ryhmään: polymeerien seostamiseen ja polymeerien pinnan käsittelyyn. Seosta-

mismenetelmässä polymeeriin voidaan seostaa mukaan esimerkiksi hiilimustaa, johdepolymeerejä tai metallihiukkasia. Pinnankäsittelymenetelmässä polymeerin pinta voidaan metalloida tai maalata sähköä johtavalla maalilla. (2, 81.)

Täytettyjen polymeerien käyttö sähköä johtavien muovien valmistamisessa oli merkittävää ennen varsinaisten johdepolymeerien kehittymistä. Polymeerin ti-lavuudesta noin 40 % tulee sisältää täyteainetta riittävän sähkönjohtavuuden saavuttamiseksi, ja tämän vuoksi polymeerin muokattavuus heikentyy ja massa kasvaa. Täytetyt polymeerit ovat edelleenkin käytössä sekä halvan hinnan että riittävien ominaisuuksiensa puolesta. (5, 3.)

3.2.2 Johdepolymeerit

Johdepolymeerien tutkiminen alkoi intensiivisemmin 1970-luvulla, ja professorit Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid ja Hideki Shirakawa onnistuivat vuonna 1977 kehittämään sähköä johtavan polymeerin polyasetyleenistä. Vuonna 2000 nämä henkilöt saivat kemian Nobelin palkinnon tämän vallankumouksellisen tutkimuksen ansiosta, joka mahdollisti alun johtavien polymeerien kehitykselle. (6.)

Tämä ensimmäinen johtava polymeeri oli valmistettu niin sanotulla douppausmenetelmällä, joka on mahdollista polymeereillä, joilla on konjugoituja kaksoissidoksia, joita ovat muun muassa polyasetyleeni, polytiofeeni ja polyaniliini. Konjugoitu sidosjärjestelmä tarkoittaa hiiliketjun rakennetta, jossa hiiliatomien välillä on yksinkertaisia sidoksia ja kaksoissidoksia vuorotellen. Tämä konjugoitunut ketju ei itsessään ole sähköä johtava, mutta douppaamalla eli tähän ketjuun lisäämällä jotakin ainetta, joka luovuttaa tai vastaanottaa elektroneja, tulee polymeeristä siten pelkistynyt tai hapettunut ja siten myös sähköä johtava. (1, 367 ; 2, 81 ; 4, 77.)

Douppaus suoritetaan käytännössä polymeeristä riippuen esimerkiksi jollakin alkalimetallilla tai niiden suoloilla, jodilla, fluorilla, metallikarbonaateilla tai arsenikkihalideilla. Douppausmenetelmä saattaa vaikuttaa polymeerin sähkönjohtavuuden lisäksi aineen fyysisiin ominaisuuksiin melkoisesti jopa pienilläkin douppauksilla. Polyaniliinin douppaus tapahtuu muista polymeereistä poiketen

seostamalla se vahvalla hapolla, esimerkiksi dodekyylibentseenisulfonihapolla tai sulfonihapolla. Tästä seurauksena polymeeriketjuun liittyy varaukseltaan positiivinen vetyioni. (1, 368 ; 5, 3,4.)

Sähkönjohtavuuden mahdollistamiseksi on johdepolymeeriketjujen oltava mahdollisimman lähellä toisiaan sen ollessa sekoitettuna eristepolymeeriin, jotta varauksen on mahdollista siirtyä ketjusta toiseen. Monet johdepolymeereistä eivät sula eivätkä liukene liuottimiin, koska ne ovat ketjujen kaksoisdoksista johtuen jäykkiä ja niiden molekyyli rakenne on hyvin tiivis. Johde- ja eristepolymeerien väliset seokset ovat tämän vuoksi hyvin vaikeita toteuttaa, vaikka kyseessä olisi teknisten sovellusten eräs tärkeimmistä edellytyksistä. Ongelmaa on yritetty ratkaista lisäämällä ketjuun tilaa vieviä ja taipuisia alkyyli-ryhmiä, joiden tarkoituksena on estää ketjujen liiallista lähekkäisyyttä. Polyaniliinilla tämä tapahtuu käytännössä esimerkiksi lisäämällä ketjuun dodekyyli-ryhmiä, joiden avulla syntyy johdepolymeeri, joka on sekä työstettävä että lämpöstabili. Tämän jälkeen sähköä johtava polyaniliini on mahdollista sekoittaa eristepolymeereihin, kuten polyeteeniin, jolloin syntyy sähköä johtava polymeeriseos. Tämänkaltaisen polymeeriseoksen johtokykyalue voi olla jopa 100 S/cm. (1, 368.)

Kaupallisesti ajateltuna johdepolymeerien sovelluksia kehitetään koko ajan ja edellä mainitusta polyaniliinista on mahdollista odottaa laajempaankin käyttöön soveltuvaa johdepolymeeriä. Johdepolymeerejä on luonnehdittu soveltuvan muun muassa suuripinta-alaisia sovelluksiin, kuten esimerkiksi sähkömagneettiseen häiriönsuojaukseen sekä antistaattisten- ja ruostesuojattujen pintojen luomiseen. Johtavista polymeereistä valmistettuja tuotteita ovat esimerkiksi kokomuoviset akut, polymeereihin perustuvat näyttökomponentit ja elektroniikan komponentit. (1, 368 ; 2, 81 ; 4, 77 ; 7 ; 8.)

4 KÄYTÄNNÖN PAINATUSPROSESSI

4.1 Työn aloitus

Käytännön työn tekeminen alkoi tutustumalla käytettävään sähköä johtavaan painoväriin ja sen kemiallisiin sekä sähköisiin ominaisuuksiin. Tutkinnan kohteena ollut painoväri on porvoollaisen Panipol Oy -yrityksen valmistama polyaniliiniin perustuva vesiliukoinen johdepolymeeriliuos, jonka johdeominaisuuksista ennen tutkimusta oli vain vähän tietoa. Eräs merkittävimmistä asioista tutkinnassa oli erilaisten substraattien eli painettavien kohteiden materiaalien vaikutus johdealueiden sähköisiin ominaisuuksiin. Painettaviksi kohteiksi valitsin tavallisen A4-paperin, piirtoheitinkalvon sekä pinnoittamattoman pahvin, jollaista käytetään esimerkiksi opiskelukansioiden materiaalina. Työn eri käytännön vaiheista taltioidut kuvat olen taltioinut Canon Powershot A520 -digitaalikameralla.

4.2 Panipol johdepolymeeriseos

Tutkittu painoväri koostuu Panipol W -johdeliuksesta sekä Finndisp TBP 5 -tartunta-aineesta, ja näistä muodostuva valmis johdepolymeeriseos on nimeltään PanStat W.

Sähköisesti johtava johdeliuos Panipol W on polyaniliinipasta, joka soveltuu käytettäväksi erilaisille substraateille eli johdinpinnoille. Liuoksen nimellisjohtavuus on noin $10^{-5} \frac{S}{cm}$ ja pH on 2,5 (Liite 1).

Finndisp TBP 5 on johdepolymeeriseoksen vedenkestävä tartunta-aine, jolla valmiista seoksesta saadaan mahdollisimman kiinnittyvä erilaisia substraatteja varten. Se lisää myös valmiin seoksen joustavuutta, joten johdepolymeeriseoksella tehty pinta sietää esimerkiksi taivutusta (Liite 2). Painatuksen voi tehdä tämän ansiosta pintoihin, jotka ovat käytännössä kaarevia. Aineen pH on 4,5 – 5,5 (Liite 3).

PanStat W on vesipohjainen polymeeriseos, jolla tämän työn painatukset suoritettiin. Seos kestää painettuna kohtuullista mekaanista rasitusta sekä ultra-

äänipesua. Seoksen valmistajan ilmoittama nimellisjohtavuus on

$$10^{-5} - 10^{-9} \frac{S}{cm} \text{ (Liite 4).}$$

Seos on väriltään vihreä, joka kuivuttuaan on esimerkiksi muovisubstraatilla kuitenkin hyvin läpikuultava. Näiden ominaisuuksien ansiosta esimerkiksi muovipaketin pintaan voidaan painaa suhteellisen läpinäkyvä antistaattinen pinta staattisten sähkövarausten purkautumista vastaan. PanStat -seoksella painatus voidaan tehdä erilaisin painomenetelmin esimerkkeinä flexo- eli kohopainatus, gravuuri- eli syväpainatus ja rullapainatus. PanStat W koostuu erilaisista aineosista, jotka ovat selitettynä seoksen lasipurkin etiketissä: polyaniiliisuola < 10 %, polymeeri (methacrylic acid ester ja vinyl versatate) < 25 % ja vesi > 65 %. PanStat W oli toimitettu valmistajalta tutkimustyötä varten pienessä lasipurkissa (kuva 5).



Kuva 5. PanStat W –johdeliuos lasipurkissa

4.3 Painopaikka ja painatusprosessi

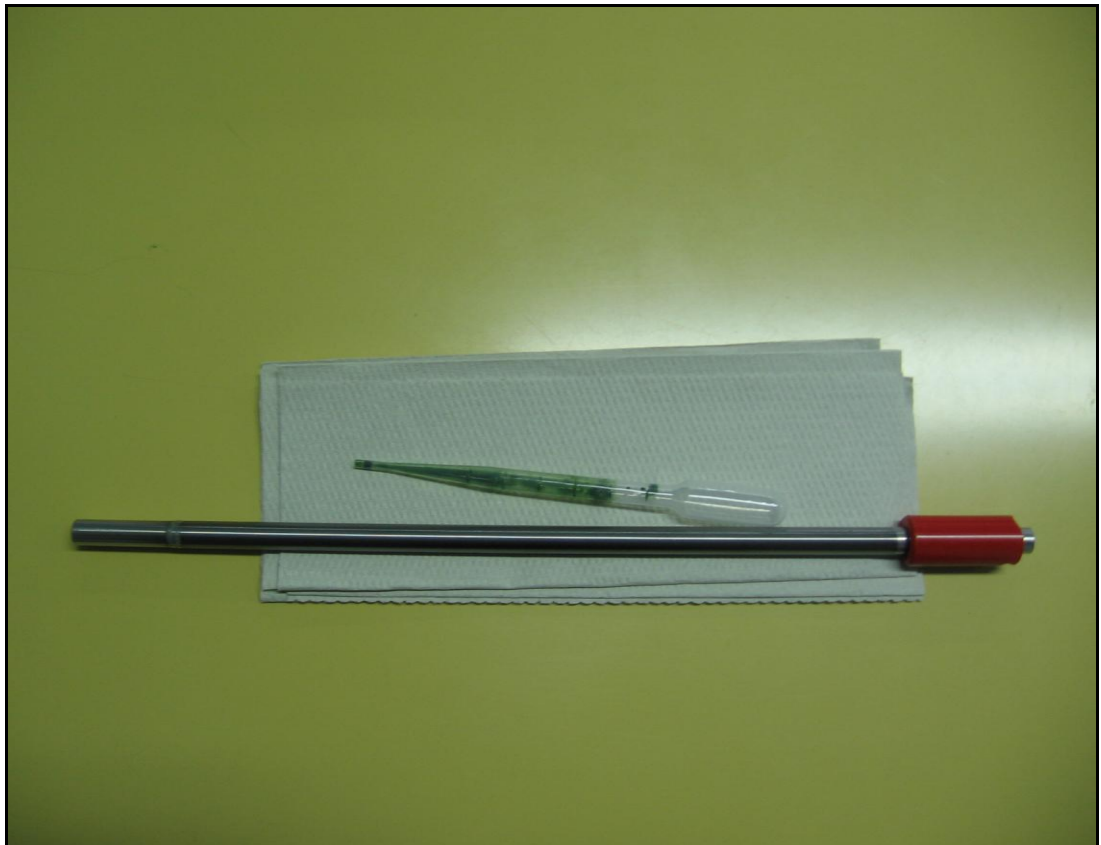
Käytännön painatukset suoritin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun automaatiolaboratoriossa. Painatukset oli mahdollista tehdä väriainetoimittajan välineillä käsin tehtynä tai myös edellä mainituin painomenetelmin eli esimerkiksi flexo- tai gravuuripainokoneella. Omin käsin tehty painatus herätti eniten mielenkiintoa, joten valitsin sen käytetyksi painomenetelmäksi.

Painatusta varten oli tehtävä erillinen painopaikka, jossa painettava kohde eli substraatti pysyisi painatuksen ajan paikoillaan. Johdeliuoksen valmistaja oli toimittanut painoväriin mukana metallipuikon eli painotelan musteen levittämistä varten. Telan toisessa päässä oli iso muoviholkki, jonka vuoksi substraatti nostettava pöytätason yläpuolelle, jotta painojäljestä saisi mahdollisimman tasan eikä holkki ottaisi tasoon kiinni. Painopaikkana oli pöytä, jonka päälle kiinnitin hieman A4–arkkia suuremman pahvilaatikon ja tämän päälle vielä puhelinluettelon, jotta painoalusta myötälisi mahdollisimman hyvin substraattia painatuksen aikana (kuva 6).



Kuva 6. Painopaikka tarvikkeineen

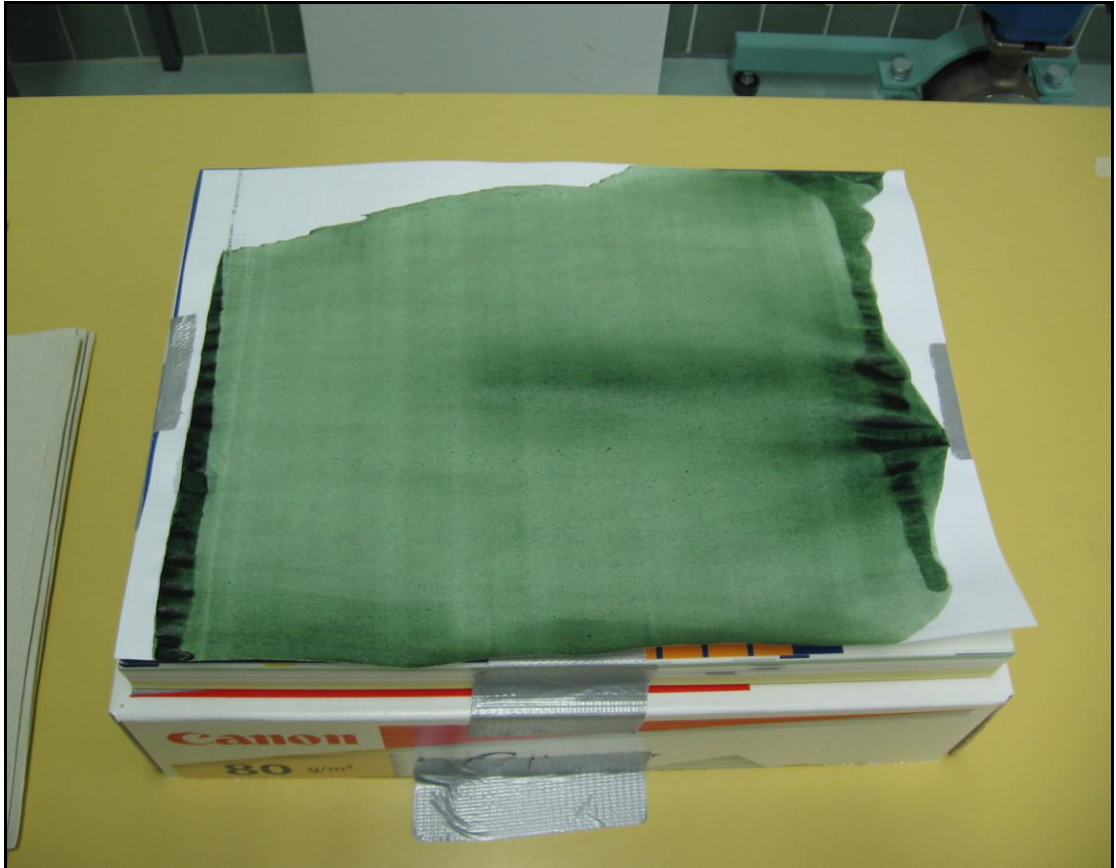
Painatus tehtiin käyttämällä johdepolymeeriliuoksen ohella painotelaa ja kertakäyttöpipettejä (kuva 7). Substraatin kiinnitys oli vielä varmistettava ennen painatuksen aloittamista, ja vaadittujen toimenpiteiden jälkeen painatus oli mahdollista aloittaa. Ensimmäisenä pipettiin oli otettava polymeeriliuosta, josta oli levitettävä substraatin toiseen reunaan viivamainen alue. Tämän jälkeen telalla suoritettiin kertaveto substraatin yli reunasta toiseen levittämällä liuos koko substraatin alueelle. Valmis painatus jätettiin painatuksen jälkeen kuivumaan.



Kuva 7. Painovälineet

Muutamien koepainatusten jälkeen oli helposti havaittavissa substraatin vaikutus painatukseen riittävän johdeliuoksen määrään, sillä huokoisempi materiaali, eli tässä tapauksessa pahvi, imi luonnollisesti johdeliuosta itseensä paperia ja kalvoa enemmän. Painatuksia tein jokaiselle substraatille yhteensä 5 kappaletta, jotta sain valita niistä tasaisimmalla painojäljellä olevat valmiit johdemateriaalit käytettäväksi lopullisiin mittauksiin. Ensimmäisissä painatuksissa painoväri levittyi hieman epätasaisesti, mikä johtui painatuksessa käytetystä liiallisesta johdeliuoksen määrästä (kuva 8). Useamman painatuksen jälkeen

opin annostelevaan painoväriä jokaiselle substraatille sopivan määrän hyvän painojäljen aikaansaamiseksi.



Kuva 8. Ensimmäinen painatus A4-paperille

Kun yhdellä johdekerroksella tehdyt painatukset olivat valmiita, niin päätin tehdä painatukset kolmella johdekerroksella, koska halusin selvittää useamman painatuskerroksen vaikutuksen alueen sähköjohtavuuteen. Jokaisen johdekerroksen oli annettava kuivua ennen uuden johdekerroksen levitystä, jotta sähköjohtavuudesta saataisiin mahdollisimman vakio koko substraatin alueelle. Käytetyllä painomenetelmällä oli kuitenkin vaikea saada tasaista kolmikerrospainatusta koko substraatin alueelle, vaikka kerrokset olivat jokaisen painatuksen jälkeen täysin kuivuneita. Lopulliset kolmikerrospainatuksella tehdyt johteet sisälsivät kuitenkin sen verran hyvää painojälkeä, että niitä oli mahdollista käyttää lopullisissa mittauksissa. Substraatit johdealueineen kuivuvat kolme päivää samassa tilassa painopaikan kanssa. Kuivumisen jälkeen aloitin käytännön mittausten tekemisen.

5 MITTAUSPROSESSI

5.1 Mittaukset yleisesti

Painettujen johteiden sähköisten ominaisuuksien mittaukset suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun radiolaboratoriossa. Mittaukset painottuivat sähköjohtavuusmittauksiin, ja mitattavina kohteina olivat yksikerros- sekä kolmikerrospainatuksella tehdyt johteet kaikilla kolmella substraatilla. Ensimmäisenä mittauksena tehtiin johdealueiden pintaresistanssimittaukset, ja toisena mittauksena johdealueiden impedanssimittaukset. Mittausten yhteydessä esitetyt lämpötila- ja ilmankosteusarvot on todettu Pasco Xplorer GLX-mittalaitteella.

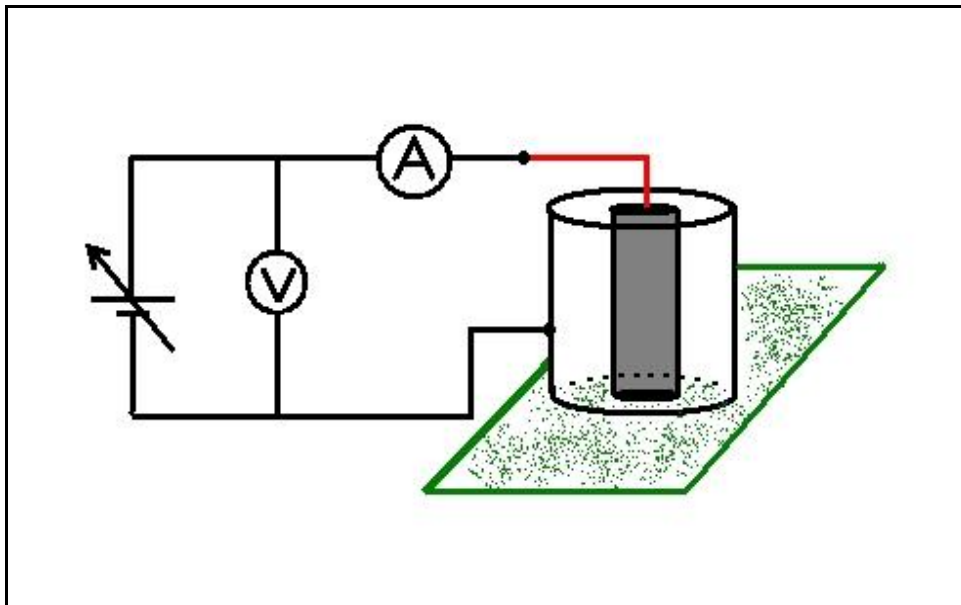
5.2 Pintaresistanssimittaus

Materiaalin pintaresistanssi voidaan määrittellä sen pinnalle asetetun kahden yhdensuuntaisen mittauselektrodin väliseksi resistanssiksi silloin, kun elektrodien keskinäinen etäisyys sekä elektrodien pituudet ovat yhtä suuret. Elektrodit sijaitsevat siis vastakkaisilla sivuilla neliössä, jonka mitoilla pintaresistanssin kannalta ei ole merkitystä. Useimmiten pintaresistanssimittauksessa käytetään ympyrämäistä mittauselektrodiä keskimääräisen arvon mittaamiseksi, koska pintaresistanssi riippuu yleensä materiaalin pinnalla olevien elektrodien asennosta eli virran kulkusuunnasta. SI-järjestelmässä pintaresistanssin johdannaisyksikkö on ohmi (Ω), mutta erotukseksi muista resistansseista yksiköksi merkitään käytännössä kuitenkin $\Omega/\text{neliö}$. (9.)

Mittausta varten on yleisesti käytössä valmiita pintaresistanssimittareita, joissa on valmiina mitattavan kohteen päälle asetettava edellä mainittu ympyrämäinen mittauselektrodi. Tämän kaltaista mittalaitetta ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa ollut käytettävissä, joten mittaus oli tehtävä perinteisemmällä tavalla, ja mittauselektrodi oli tehtävä itse. Pintaresistanssimittarin mittauselektrodi eli mittapää muodostuu normaalisti kahdesta lieriön muotoisesta metallisesta kappaleesta. Kappaleet ovat kiinteästi asennettuna toisiinsa, jotta kappaleiden keskinäinen etäisyys pysyy vakiona. Kappaleet ovat kuitenkin sähköisesti toisistaan eristettyjä, ja niiden välissä on nähtävissä selkeä ilmaväli. Toinen kappaleista on umpinainen ja toinen ontto, ja umpinainen kappale sijaitsee ontton

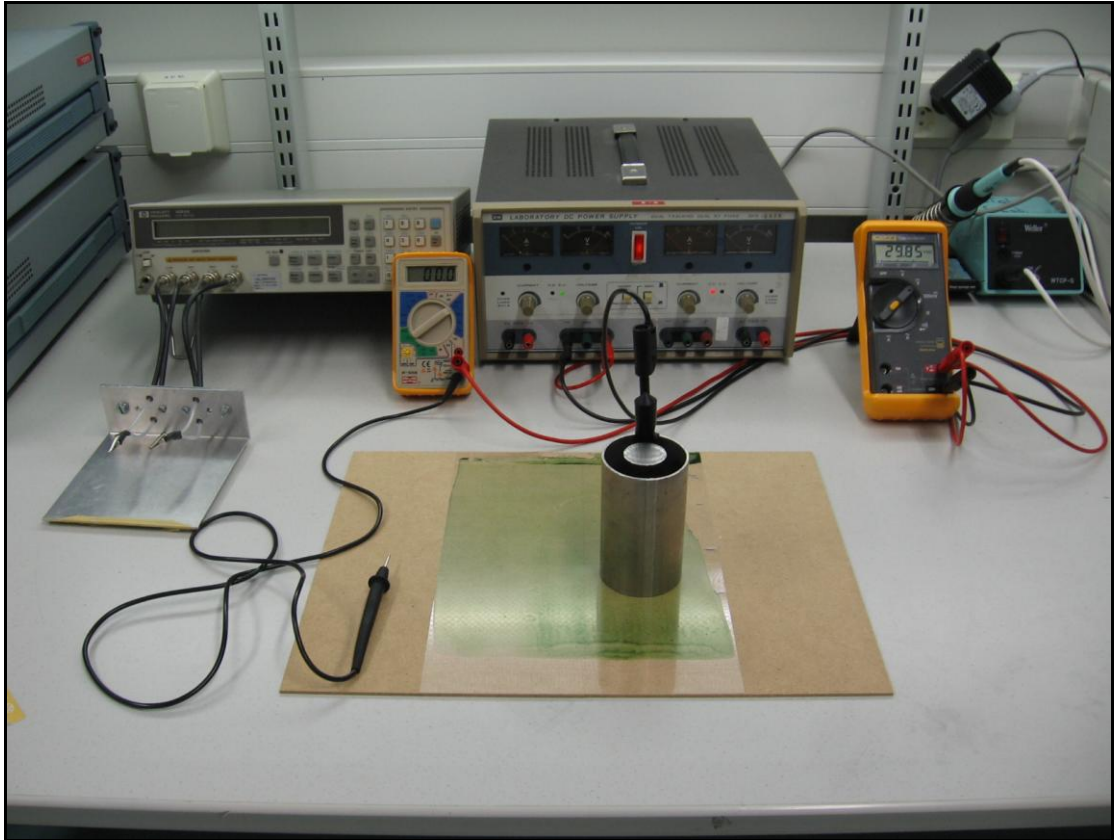
kappaleen sisällä. Mittauselektrodin valmistin kahdesta metallisesta kappaleesta, eli materiaaleiltaan 30 mm halkaisijaltaan olevasta rautatangosta sekä seinämävahvuudeltaan 2 mm paksusta rautaputkesta, jonka ulkohalkaisija oli 60 mm. Kyseisistä materiaaleista sahasin koneellisesti 100 mm pitkät keskenään samanmittaiset kappaleet.

Mittauksen tein siten, että toiseen kappaleeseen kytkin tasajännitelähteen positiivisen johtimen ja toiseen kappaleeseen negatiivisen johtimen. Tasajännitelähteen rinnalle kytkin yleismittarin mittaamaan todellista syöttöjännitettä ja toisen yleismittarin kytkin sarjaan positiivisen syöttöjohdon kanssa mittaamaan virran suuruutta (kuva 9). Käytetyn mittaajännitteen ja kytkeytyvän virran perusteella voidaan laskennallisesti määrittää pintaresistanssin suuruus. (9.)



Kuva 9. Pintaresistanssin mittausperiaate (9)

Mittauksessa käytin GW Laboratory DC power supply GPQ-3020 -tasajännitelähdettä. Käyttöjännitettä oli mittaamassa Fluke 73 III multimeter -yleismittari ja virran suuruutta mittasi Mastech M-830B -yleismittari. Jännitelähteeltä tuleva negatiivinen johdin oli kiinnitettynä hauenleualla lieriömäisen mittauselektrodin putkiosaan. Mittauselektrodin tanko-osaan kiinnittyvää mittapäätä ei ollut saatavilla, joten käytin siihen piikkimäisellä päällä varustettua yleismittarin mittajohtoa, jota pidin mittauksen ajan elektrodissa kiinni. Kun mittauskytkentä oli käyttövalmiina, mittaukset voitiin aloittaa (kuva 10).



Kuva 10. Pintaresistanssimittaus käytännössä

Mittausjännite oli kaikissa pintaresistanssimittauksissa 29,85V DC, ja mitta-
paikka oli kaikilla substraateilla vakio eli ainoastaan substraatti vaihtui mittau-
sten välillä. Mittaustulokset on esitetty siten, että yhden johdekerroksen tulokset
omassa taulukossa (taulukko 2) ja kolmen johdekerroksen tulokset omassa
taulukossa (taulukko 3). Tuloksissa jännitelähteen ja mittareiden sisäiset resis-
tanssit sekä mittajohtoihin muodostuneet jännitehäviöt on jätetty huomioimatta
suhteellisten korkeiden resistanssiarvojen vuoksi. Resistanssit ovat laskettu

ohmin lain mukaisesti jännitteen ja virran suhteen myötä $R = \frac{U}{I}$. (10, 14.)

Mitatuissa pintaresistansseissa on materiaalista riippuen huomattavia keski-
näisiä eroja etenkin yhden johdekerroksen painatuksilla. Ilmoitetut resistanssit
ovat ilmoitettuina pintaresistanssin mittayksikössä $\Omega/\text{neliö}$. Verrattaessa yhden
ja kolmen johdekerroksen painatuksia havaitaan merkittävä muutos sähkön-
johtavuuden kasvaessa huomattavasti etenkin paperi- ja pahvisubstraatilla.
Pintaresistanssin mittausajankohtana lämpötila oli 25,3 °C ja ilmankosteus 30
%.

Taulukko 2. Substraatit yhden johdekerroksen painatuksella

| Substraatti | Jännite U | Virta I | Resistanssi R |
|-------------|-----------|--------------|---------------------------|
| Paperi | 29,85 V | 2,7 μ A | 11,056 M Ω /neliö |
| Kalvo | 29,85 V | 43,3 μ A | 689,376 k Ω /neliö |
| Pahvi | 29,85 V | 3,7 μ A | 8,0676 M Ω /neliö |

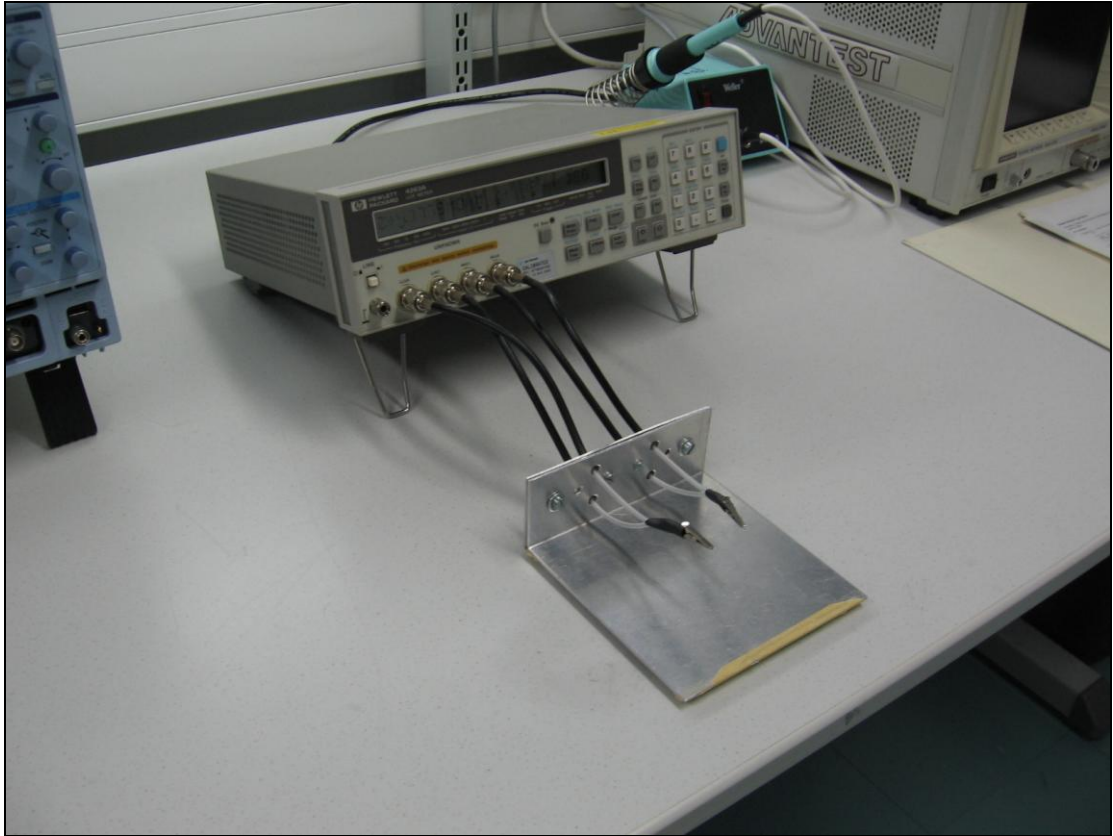
Taulukko 3. Substraatit kolmen johdekerroksen painatuksella

| Substraatti | Jännite U | Virta I | Resistanssi R |
|-------------|-----------|--------------|---------------------------|
| Paperi | 29,85 V | 31,2 μ A | 956,731 k Ω /neliö |
| Kalvo | 29,85 V | 82,1 μ A | 363,581 k Ω /neliö |
| Pahvi | 29,85 V | 39,3 μ A | 759,542 k Ω /neliö |

Pintaresistanssimittauksessa todetut resistanssiarvot ovat sitä luokkaa, että mihin tahansa sähköisiin sovelluksiin kyseisiä painatuksia ei ole mahdollista käyttää resistanssien ollessa pienimmilläänkin yli 300 k Ω . Verrattaessa saatuja tuloksia aiemmin esitettyyn johtavuusluokitteluun (kuva 4), havaitaan jokaisen tässä mittauksesta saadun tuloksen sijoittuvan puolijohteiden kategoriaan.

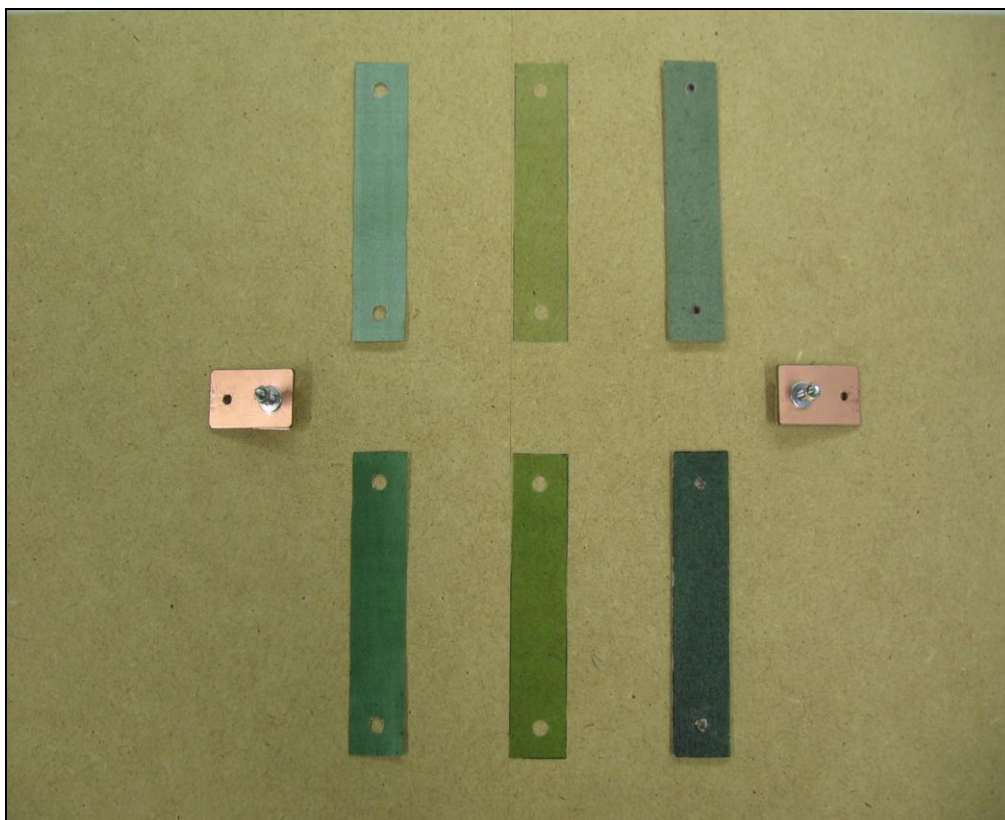
5.3 Impedanssimittaus

Impedanssimittaukset suoritettiin HP 4263 LCR -mittarilla (kuva 11). Mittarissa on kiinteät mittapäät, johon mitattava kohde kiinnitetään suoraan, sekä erilaisia mittaustoimintoja erityyppisille mittaushetkille, joista valitaan kullekin kohteelle sopiva toiminto. Kun pintaresistanssimittauksissa selvisi, että painatusten resistanssit tulisivat olemaan sadoista kilo-ohmeista aina megaohmeihin asti, niin mittarin suositelluin mittaustoiminto olisi käsitellä tuloksia impedanssin sijasta admittanssina, joka on impedanssin käänteissuure eli sähköjohtavuutta kuvaava suure. Tämän vuoksi tein mittaukset sekä impedanssi- että admittanssitasossa. (11, 54,59.)

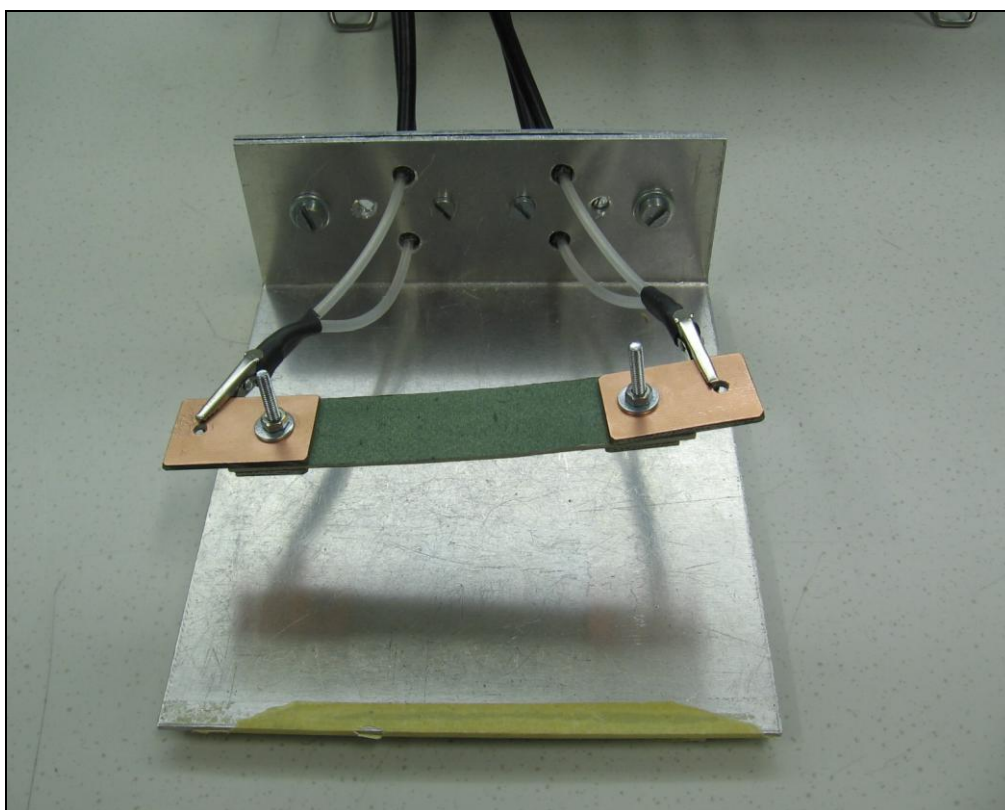


Kuva 11. HP 4263 LCR mittari

Ennen mittausten aloittamista oli tehtävä pieniä liuskoja eri substraattien yhden ja kolmen johdekerroksen painatuksista, koska mittarissa oli mittajohtojen päissä vain kaksi hauenleukaliitintä johon mitattava kohde asetetaan. Liuskoista oli tehtävä suhteellisen pieniä, jotta ne mahtuivat hauenleukaliittimien väliin, ja myös keskenään täysin samankokoisia, jotta tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia. Mittauksissa käytetyt liuskat olivat kooltaan 100 mm pitkiä ja 20 mm leveitä (kuva 12). Mittauksen mahdollistamiseksi oli tehtävä myös erilliset mittauselektrodit kumpaakin hauenleukaliitintä varten, jotta kontakti leukaliittimen ja liuskan välillä saataisiin sähköisesti mahdollisimman häviöttömäksi (kuva 13). Elektrodit leikkasin paineilmatoimisella leikkurilla FR4 piirilevymateriaalista, jonka johdepintana on kupari. Elektrodi koostui kahdesta leikatusta kappaleesta jotka kiristettiin siten, että liuska jäi näiden kappaleiden väliin. Kiristystä varten tein elektrodeista pulttikiristeisiä, eli porasin kappaleisiin reiät jotka kiristettiin pultin ja mutterin avulla vastakkain. Mittarin hauenleukoihin kiinnittyvä kappale oli 32 mm pitkä ja 20 mm leveä, ja kiristyksessä tarvittava vastakappale 15 mm pitkä ja 20 mm leveä.

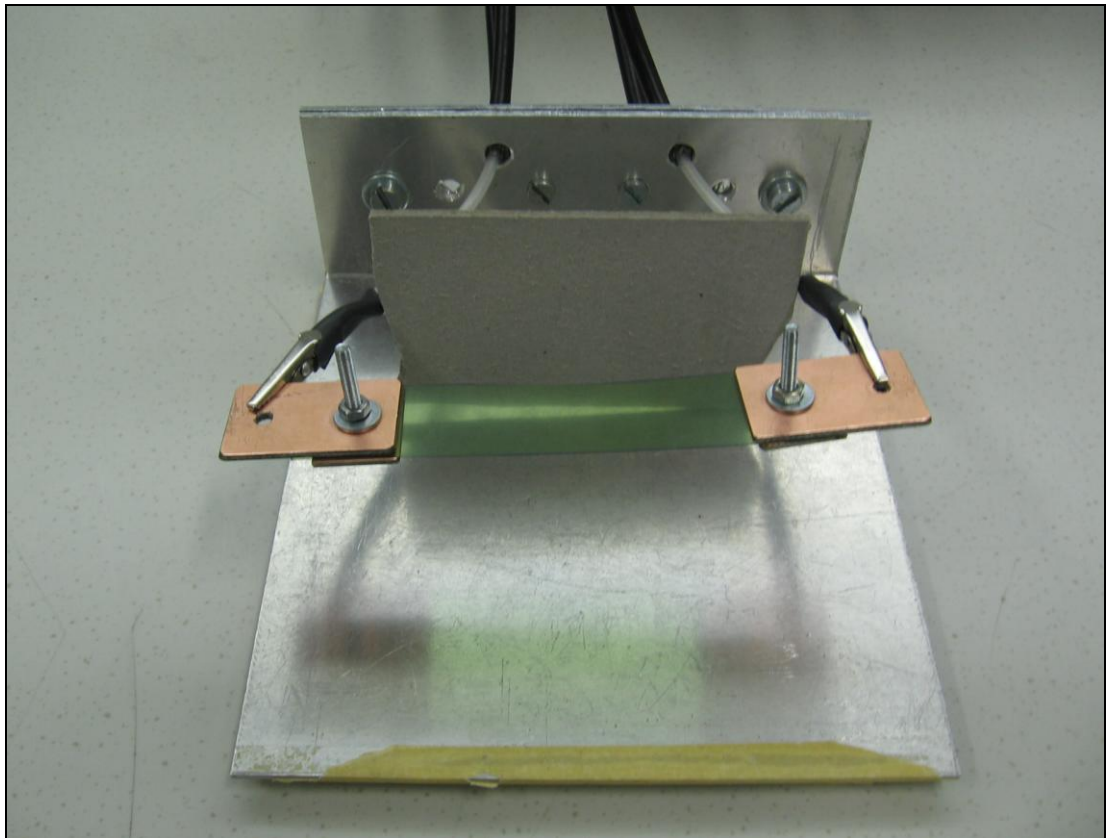


Kuva 12. Valmiit liuskat ja elektrodit



Kuva 13. Mittauselektrodit kiinnitettynä liuskaan

Mittauksia tehdessäni havaitsin liuskan asennon vaikuttavan mittaustulokseen. Paperille ja etenkin kalvolle tehdyt painatukset eivät materiaalin elastisuuden vuoksi pysyneet stabiilina, vaan vaihtelivat huomattavasti, sillä hauenleuat painoivat liuskaa hieman kasaan. Tästä syystä oli hauenleukojen väliin valmistettava jokin kappale, joka piti leuat erillään toisista siten, että liuska olisi mittauksen aikana mahdollisimman suorassa eikä taipuisi. Valitsin tähän tehtävään materiaaliksi pahvin, joka olisi helposti muokattavissa sekä hienosäädettävissä mittausten edetessä (kuva 14).



Kuva 14. Pahvikappale avustamassa mittausta

Mittauksessa käytetty mittaussännite oli 1V AC. Mittaukset tein, kuten jo aiemmin mainitsin, impedanssi- ja admittanssitasossa, jotka suureina kuvaavat liuskan sähkön eristävyyttä ja – johtavuutta. Mittari mittaa kyseisten suureiden lisäksi myös vaihekulman suuruuden. Hieman tarkemmin ilmaistuna impedanssi koostuu resistanssista ja reaktanssista ja admittanssi koostuu konduktanssista ja susceptanssista. Vaihekulma kuvailee tässä tapauksessa impedanssin reaktanssiosaa tai admittanssin susceptanssiosaa. Vaihekulma esittää siis onko kytkennässä kapasitiivista tai induktiivista kytkeytymistä. Jos vaihekulma on nolla, niin kytkennässä ei ole reaktanssia tai susceptanssia. Im-

pedanssilla vaihekulman ollessa 90° reaktanssi on täysin induktiivinen, ja vaihekulman ollessa -90° reaktanssi on täysin kapasitiivinen. Admittanssilla tilanne on päinvastainen, eli vaihekulman ollessa 90° susceptanssi on täysin kapasitiivinen, ja vaihekulman ollessa -90° susceptanssi on täysin induktiivinen. (11, 57,60.)

Saadakseni hieman laajuutta tähän mittaukseen tein mittaukset useammalla eri mittaustaajuudella. Käytetyt taajuudet mittauksissa olivat 100 Hz, 1 kHz ja 10 kHz. Kokeilin myös mitata 100 kHz:n taajuudella, mutta mittarin näyttämät arvot vaihtelivat suuresti jo yksittäisten mittausten aikana, joten kunnollisia arvoja ei 100 kHz:n mittauksista ollut saatavissa. Tästä voidaan päätellä liuskojen olleen hieman epästabiileja korkeammilla taajuuksilla.

Impedanssi- ja admittanssimittauksien tulokset esitetään taulukoituina (taulukko 4-9). Suureiden tunnuksista f tarkoittaa taajuutta, Z tarkoittaa impedanssia ja Y tarkoittaa admittanssia. Impedanssin yksikkö on ohmi, jonka tunnus on Ω . Admittanssin yksikkö on siemens, jonka tunnus on S . Vaihekulma on esitetty näissä taulukoissa asteina, kuten käytetty mittalaittekin sen ilmoittaa. Kaikista liuskoista ei ollut mahdollista saada impedanssiarvoa sen suuruuden tai suuren vaihtelevuuden takia, joten niissä tapauksissa taulukossa esiintyy mittauksien kohdalla viiva. Sama asia pätee myös mittaustuloksissa esiintyvien vaihekulmien ilmoituksissa. Yhtäläistä mitatuilla liuskoilla keskenään on se, että sähkönjohtavuus suurenee taajuuden kasvaessa. Impedanssimittauksen mittaussijainkohtana lämpötila oli $25,3^\circ\text{C}$ ja ilmankosteus 35 %. (11, 55,59.)

Ensimmäisenä impedanssimittauksessa oli yhden johdekerroksen paperiliuska (taulukko 4). Sen impedanssi oli hyvin suuri, ja arvot vaihtelivat niin paljon, ettei kunnollisia mittaustuloksia saanut millään kolmesta mittaustaajuudesta. Admittanssitasossa mitattaessa tulokset olivat saatavissa, mutta vaihekulman arvot jäivät saamatta arvojen vaihdellessa liian paljon. Tämän mittauksen tuloksista havaitaan sähkönjohtavuuden lievä kasvu taajuuden noustessa.

Taulukko 4. Impedanssimittaukset yhden johdekerroksen paperilla

| Taajuus f | Impedanssi Z | Admittanssi Y |
|-----------|--------------|---------------------------------|
| 100 Hz | - | 0,0031 μS \angle - |
| 1 kHz | - | 0,0034 μS \angle - |
| 10 kHz | - | 0,0045 μS \angle - |

Toisena impedanssimittauksessa oli paperiliuska kolmella johdekerroksella (taulukko 5). Arvoista havaitaan sähkönjohtavuuden suuri kasvu yhden johdekerroksen liuskaan verrattuna. Taajuuden ollessa 100 Hz on kytkennässä impedanssitasossa hieman kapasitiivista reaktanssia ja admittanssitasossa hieman kapasitiivista susceptanssia. 10 kHz:n taajuudella sähkönjohtavuus on kasvanut hieman ja vaihekulma on muuttunut päinvastaiseksi eli impedanssitasossa on hieman induktiivista reaktanssia ja admittanssitasossa induktiivista susceptanssia.

Taulukko 5. Impedanssimittaukset kolmen johdekerroksen paperilla

| Taajuus f | Impedanssi Z | Admittanssi Y |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 100 Hz | 7,98 $\text{M}\Omega$ \angle -0,3° | 0,125 μS \angle 0,2° |
| 1 kHz | 7,85 $\text{M}\Omega$ \angle -0,4° | 0,128 μS \angle 0,4° |
| 10 kHz | 7,57 $\text{M}\Omega$ \angle 3,8° | 0,132 μS \angle -3,8° |

Kolmantena impedanssimittauksessa oli yhden johdekerroksen kalvo (taulukko 6). Sähkönjohtavuus ei ole kovin suurta, sillä impedanssi on jokaisella mitaustaajuudella yli 20 megaohmia. Vaihekulma käyttäytyy samalla tavoin kuin edellisessä mittauksessa, eli pienimmällä taajuudella impedanssin reaktanssi ja admittanssin susceptanssi ovat kapasitiivisia, mutta muuttuvat suurimmalle taajuudelle mentäessä induktiivisiksi.

Taulukko 6. Impedanssimittaukset yhden johdekerroksen kalvolla

| Taajuus f | Impedanssi Z | Admittanssi Y |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 100 Hz | 21,4 $\text{M}\Omega$ \angle -0,05° | 0,046 μS \angle 0,05° |
| 1 kHz | 21,1 $\text{M}\Omega$ \angle 0,2° | 0,047 μS \angle -0,2° |
| 10 kHz | 20,8 $\text{M}\Omega$ \angle 9,6° | 0,048 μS \angle -9,6° |

Neljäntenä impedanssimittauksessa oli kolmen johdekerroksen kalvo (taulukko 7). Tuloksista voidaan havaita sähkönjohtavuuden olevan jo kohtuullisella tasolla aikaisempiin liuskoihin verrattuna. Vaihekulman käytös on samanlaista kuin edellisillä liuskoillakin, eli impedanssin reaktanssi ja admittanssin susceptanssi muuttuvat kapasitiivisesta induktiiviseksi taajuuden noustessa. Merkilepantavaa on myös vaihekulman suuruus, joka on varsin pieni. Tämä tarkoittaa, että liuskassa on hyvin vähän reaktanssia sekä susceptanssia. Kolmella johdekerroksella painatettu liuska oli impedanssimittauksessa olleista liuskoista parhaiten sähköä johtava.

Taulukko 7. Impedanssimittaukset kolmen johdekerroksen kalvolla

| Taajuus f | Impedanssi Z | Admittanssi Y |
|-----------|----------------|----------------|
| 100 Hz | 1,52 MΩ∠-0,02° | 0,657 μS∠0,01° |
| 1 kHz | 1,52 MΩ∠-0,02° | 0,659 μS∠0,02° |
| 10 kHz | 1,51 MΩ∠0,4° | 0,664 μS∠-0,4° |

Viidennessä mittauksessa liuskana oli yhden johdekerroksen pahvi (taulukko 8). Sähkönjohtavuus oli samaa luokkaa kuin ensimmäisenä mitatussa yhden johdekerroksen paperissa. Kunnollisia impedanssiarvoja en mittauksesta saanut, sillä arvot vaihtelivat koko sen ajan mitä mittausta suoritin. Admittanssimittauksesta havaitaan käytännössä hyvin olematonta sähkönjohtavuuden kasvua taajuuden noustessa. Vaihekulman tulokset vaihtelivat myös suunnattomasti mittauksen aikana, joten niiden astelukuja ei voinut taltioida.

Taulukko 8. Impedanssimittaukset yhden johdekerroksen pahvilla

| Taajuus f | Impedanssi Z | Admittanssi Y |
|-----------|--------------|---------------|
| 100 Hz | - | 0,0039 μS∠- |
| 1 kHz | - | 0,0041 μS∠- |
| 10 kHz | - | 0,0043 μS∠- |

Viimeisen impedanssimittauksen suoritin kolmen johdekerroksen pahvilla (taulukko 9). Sähkönjohtavuus on kohtalaista, ja vaihekulma käyttäytyy kuten aikaisemmilla liuskoilla, eli reaktanssi ja susceptanssi muuttuvat taajuuden kas-

vaessa kapasitiivisesta induktiiviseksi. Sähkönjohtavuus on hieman parempi kuin yhden johdekerroksen paperilla.

Taulukko 9. Impedanssimittaukset kolmen johdekerroksen pahvilla

| Taajuus f | Impedanssi Z | Admittanssi Y |
|-----------|----------------|------------------|
| 100 Hz | 5,32 MΩ∠-0,97° | 0,1870 μS∠0,98° |
| 1 kHz | 5,17 MΩ∠-0,75° | 0,1935 μS∠0,75° |
| 10 kHz | 5,05 MΩ∠2,25° | 0,1980 μS∠-2,26° |

5.4 Mittaustulosten keskinäinen vertailu

Pintaresistanssi- ja impedanssimittausten tulokset eivät ole suoraan vertailtavissa keskenään, sillä mittaussännitteet eivät ole keskenään vastaavia, koska pintaresistanssimittauksessa käytettiin 29,85 V tasasähköä (DC) ja impedanssimittauksessa 1 V vaihtosähköä (AC). Toinen mittauksissa oleva merkittävä keskinäinen poikkeavuus on se, että pintaresistanssimittauksissa ilmoitettu resistanssi on neliötä kohden, mutta impedanssimittauksessa se on liuskaan kiinnitettyjen elektrodien väliin muodostuva impedanssin suuruus.

Tuloksia voisi mielenkiinnosta verrata keskenään, jos resistanssi- ja impedanssimittaustulokset edustaisivat samaa yksikköä. Helpoin tapa on muodostaa impedanssimittausarvojen yksiköksi ohmia neliötä kohden. Tämä mahdollistaisi keskinäisen vertailemisen mittausten välillä.

Impedanssimittauksessa käytetyt liuskat olivat 100 mm pitkiä ja 20 mm leveitä. Kun elektrodit olivat kiinnitettynä liuskaan, jäi elektrodien keskinäiseksi etäisyydeksi 70 mm. Kyseinen etäisyys on jaettava liuskan leveydellä, jotta saadaan käyttöön oikea suhdeluku. Eli etäisyys jaettuna liuskan leveydellä muodostaa tulokseksi 3,5. Tämän suhdeluvun avulla saadaan neliörakenne aikaiseksi, sillä kun etäisyys 70 mm jaetaan suhdeluvulla 3,5, saadaan uudeksi etäisyydeksi 20 mm eli sama kuin liuskan leveys. Tällöin kyseessä olisi neliörakenne. Tästä voidaan päätellä, aiemmin mitatut impedanssit jakamalla tällä suhdeluvulla, saadaan impedanssin yksiköksi ohmia/neliö.

Vertailtavaksi otin kolmikerrosrakenteiset painatukset, koska impedanssimitaustuloksia ei ollut kaikista yksikerrospainatuksista saatavilla. Impedanssimitausarvoina on käytetty 1 kHz:n taajuudella mitattuja tuloksia, jotka ovat jaettu aiemmin esitetyllä suhdeluvulla, jotta vastauksesta on saatu laskennallisesti ohmeja neliötä kohden.

Vertailtavat resistanssiarvot ja impedanssiarvot ovat esitetty taulukoituna vertailun helpottamiseksi (taulukko 10). Tuloksista huomataan, että materiaali-kohtaisia eroja on havaittavissa. Tuloksista eniten lähinnä toisiaan ovat kalvoille tehdyt kolmikerrospainatukset, joilla tulosten välinen ero on alle 100 k Ω . Pahviliuskalla tuloksissa on hieman enemmän poikkeavuutta, sillä impedanssin suuruus resistanssiin verrattuna on vähän alle kaksinkertainen. Paperiliuskalla tuloksissa on vieläkin suurempaa poikkeavuutta, sillä impedanssi on enemmän kuin kaksinkertainen resistanssiin verrattuna.

Taulukko 10. Mittausten vertailua

| Substraatti | Resistanssi R | Impedanssi Z |
|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Paperi 3 krs | 956,731 k Ω /neliö | 2,2426 M Ω /neliö |
| Kalvo 3 krs | 363,581 k Ω /neliö | 434,286 k Ω /neliö |
| Pahvi 3 krs | 759,542 k Ω /neliö | 1,4771 M Ω /neliö |

Resistanssi ja impedanssi ovat sähkönjohtavuuden käänteissuureita, mutta keskenään ne eivät ole täysin suoraan verrannollisia. Edellä toteutettu mittauksien keskinäinen vertailu antaa hieman näyttöä siihen, että tulokset ovat kuitenkin suhteellisen samansuuntaisia keskenään verrattuna. Sähkön johtavuutta tarkasteltuna edellä mainituilla liuskoilla (kuva 4), havaitaan painatusten sijoittuvan alueellisesti edelleen puolijohtaviin materiaaleihin.

6 KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSET

Mietittäessä tutkitun polyaniliiniin perustuvan painovärin soveltumista käytännön erilaisiin sovelluksiin voidaan resistanssi- ja impedanssimittauksista saa-

tujen tulosten avulla tarkastella painatusten käyttökelpoisuuksia. Kun tuloksista havaittiin kaikkien painatusten sijoittuvan johtavuusluokituksessa puolijohdeiden kategoriaan, niin tämän seurauksena voidaan pohtia painettujen puolijohdemateriaalien hyödyntämistä käytännössä. Painatusten rajallinen sähköjohtavuus karsii sovellusten määrää huomattavasti, mutta merkittävimpinä käyttökelpoisina sovelluksina otetaan tarkasteluun sähköinen ruostesuojaus, ESD-suojaus sekä EMC-suojaus.

6.1 Sähköinen ruostesuojaus

Erilaisten pintakäsittelyjen avulla voidaan vähentää tai estää pintojen likaantumista ja ehkäistä korroosiota. Tällaisia pintakäsittelyjä ovat esimerkiksi puolijohdepinnoitus sekä jalometalliseostus ja –saostus. Materiaalin pinta saadaan käyttäytymään katodisesti jalometallin tavoin sähkökemiallisissa reaktioissa, kun pienikin määrä jalometallia saostetaan kohteen pintaan tai seostetaan materiaaliin. (12, 42.)

Johdepolymeerien suurin heikkous on kuitenkin niiden mekaaniset ominaisuudet, sillä esimerkiksi polyaniliini voi menettää hapettumis- tai pelkistymisreaktiossa sähköiset ominaisuutensa. Johdepolymeerit voidaan rinnastaa korroosiomielessä metalleihin, sillä esimerkiksi polyaniliini vastaa jalousasteeltaan lähes hopeaa ja muodostaa siten galvaanisen korroosioparin epäjalompien metallien kanssa. Polyanilliinipinnoitteella voidaan siis toteuttaa sähköinen ruostesuojaus eli käyttökelpoinen suoja korroosiota vastaan. (13, 156.)

6.2 ESD-suojaus

Yleisin tapa staattisen sähköön syntymiselle on kontaktivarautumisen. Kahden erilaisen materiaalin ollessa keskenään kosketuksissa, siirtyy varauksia eli elektroneja sekä ioneja rajapinnan yli, jotta materiaalien välillä vallitsisi termodynaaminen tasapaino. Aineet voivat vapauttaa tai vastaanottaa varauksia. Kuumentamisen tai hankaamisen aiheuttama varausepätasapaino häviää hitaasti silloin, kun kappaleiden sähköjohtavuus on heikompaa kuin johteiksi luokiteltavilla aineilla. Jos kaksi heikosti johtavaa kappaletta irrotetaan toisistaan nopeasti, ne saattavat jäädä sähköisesti varautuneiksi. Nämä varautuneet kappaleet voivat siten aiheuttaa staattisen purkauksen. Tästä purkausil-

miöstä käytetään nimitystä ESD, joka on lyhenne sanoista ElectroStatic Discharge. Varaus voi muodostua induktio- ja kontaktivarautumisen kautta, ja ihminen voi toimia syntyneen varauksen kantajana kosketettuaan varautunutta esinettä. Staattiset purkaukset ovat erityisen haitallisia sähköisille kytkennöille, sillä ne voivat aiheuttaa virhetoimintoja tai pahimmissa tapauksissa komponenttien vioittumista. (14, 2,4 ; 15, 1,5.)

Staattisten sähköpurkausten muodostumisen estoon käytetään niin sanottua ESD-suojauksia. ESD-suojauksen olisi syytä kattaa koko toimintaketjun eli tavaran kuljetukset, vastaanotto, varastointi ja käsittely laitetuotannossa sekä asennusten ja huollon aikana. Näin päästäisiin kokonaisvaltaisempaan suojaukseen. Merkittävänä tekijänä suojauksen onnistumisessa on puolijohtavien suojausmateriaalien käyttäminen, eli on huomioitava mitä materiaaleja käytetään esimerkiksi tuotteiden säilytyksessä ja kuljetuksissa. Lattia- ja pöytäpinnoitteet sekä varastointihyllyt voivat olla myös puolijohtaviksi pinnoitettuja. Staattisen sähköön välttämiseksi tiloissa työskentelevien henkilöiden varusteisiin ja vaatetukseen on myös kiinnitettävä huomiota. ESD-suojauksessa työtasot, lattiat ja muut puolijohtavat materiaalit, jotka toimivat osana ESD-suojauksena, olisi maadoitettava erilliseen ESD-maapisteeseen, jotta suojauksesta tulisi käyttökelpoinen. (14, 7.)

ESD-sovelluksissa tällainen puolijohtava rakenne voidaan toteuttaa puolijohtavalla polymeerillä, josta voidaan myös käyttää nimitystä dissipoiava. Niiden resistanssi on yleisesti $10^5 - 10^{12} \frac{\Omega}{\text{neliö}}$. Aiemmin tässä työssä tehdyistä mittauksista havaitaan, että pintaresistanssi- ja impedanssimittauksissa todetut arvot sijoittuvat tähän sähköä dissipoivaan joukkoon. Täten voidaan tulkita, että ESD-suojaus voidaan siis toteuttaa tässä työssä tutkitulla polymeeriseoksella. (16 ; 17.)

6.3 EMC-suojaus

Sähköisissä ympäristöissä EMC-suojauksella on tärkeä merkitys. EMC-suojauksessa laitetta suojataan ulkopuoliselta sähkömagneettiselta säteilyltä, ja minimoidaan laitteen itse aiheuttamaa ympäristöön aiheutuvaa sähkömagneettista säteilyä. EMC-suojauksessa laitteen kotelon materiaali, sen tiivys ja

pinnoitteet ovat oleellinen osa suojauksessa. EMC-yhteensopivuus voidaan määrittellä siten, että kohde sietää standardin mukaista sähkömagneettista säteilyä, mutta ei myöskään aiheuta standardia ylittävää sähkömagneettista säteilyä ulkopuolelleen. (18, 31.)

Sähkömagneettiset häiriöiden kytkeytyminen tapahtuu joko säteilemällä tai galvaanisesti. Häiriölähteinä ovat yleensä erilaiset suurivirtaiset piirit tai radio-piirit. Metallisella kotelomateriaalilla saavutetaan heijastuksen ja absorption kannalta parhaat tulokset, ja hyvin tunnettu ratkaisu häiriösuojauksessa on niin sanottu Faradayn häkki. Johtavia polymeerejä on kehitelty myös EMC-suojausta varten, ja nekin antavat suojan sähkömagneettista säteilyä vastaan. Johtavalla - tai puolijohtavalla pinnoitteella voidaan vaimentaa häiriön läpikytkeytymistä kohteeseen tai kohteen ulkopuolelle. (18, 31.)

7 YHTEENVETO

Teoreettista tarkastelua työssä seurannut käytännön osuus eli painatusprosessi ja käytännön mittaukset sujuivat pienten alkuvaikeuksien jälkeen varsin odotetusti. Painatusten tekeminen onnistui, eli painatuksista tuli loppujen lopuksi oikein laadukkaita ja mittauskelpoisia. Materiaalien vaikutus tuli hyvin ilmi painatuksia tehdessä, ja alkuun painoväriä tuli annosteltua hieman liikaa. Useamman painatuksen jälkeen opin lopulta arvioimaan riittävän painovärin annostelumäärän hyvän painojäljen aikaansaamiseksi kullekin materiaalille.

Mittausten tekemistä vaikeutti käytettävien mittalaitteiden rajallisuus, mikä osaltaan synnytti lisää haasteita mittauksen suorittamiseen. Kahdella täysin eritavalla toteutetut mittaukset toivat hieman lisäväriä tulosten tarkasteluun, sillä niiden kautta saadut tulokset olivat laskennallisesti keskenään jossain määrin vertailtavissa. Samalla tuli testattua painovärin soveltuvuus sekä AC- että DC-sovelluksiin. Kolmella johdekerroksella tehdyt painaukset olivat kokonaan oma ideani, koska halusin tarkastella johdekerrosten vaikutusta käytännössä. Tehdyistä mittauksista selvisi sitten johdekerrosten selvä vaikutus sähkönsä-

tavuuteen, sillä verrattaessa yhden ja kolmen johdekerroksen painatusten mittaustuloksia keskenään, on kolmikerrospainatuksilla selkeästi parempi sähkönjohtavuus.

8 ARVIOINTI

Opinnäytetyön tarkoituksena oli lyhyesti sanottuna tutustua kemian teorian kautta polymeereihin ja sen myötä johdepolymeeriseoksella toteuttaa käytännön painatuksia ja mittauksia. Työ saatiin tehtyä niiden lähtökohtien ja periaatteiden mukaan kuin mitä alun perin oli suunniteltukin.

Tästä opinnäytetyön aiheesta olisi kuitenkin mahdollista kehittää vielä jatkotutkimusta. Käytännön painatukset voitaisiin suorittaa esimerkiksi painolaitoksen painokoneella, jolloin painojäljestä saataisiin vielä parempi kuin tässä työssä tuotettu painojälki. Painokoneella voitaisiin myös painaa muutakin, kuin vain sähköä johtavaa pintaa, eli pelkän johdealueen sijasta vaikkapa johdekuvioita. Mittausprosessia voitaisiin kehitellä siten, että käytettäisiin pelkästään pintaresistanssimittaukseen suunniteltua mittalaitetta tai mittalaitteistoa. Tämä nopeuttaisi ja varmentaisi mittauksia kokonaisuutena sekä helpottaisi mittaus-ten tekemistä. Myös käyttämällä paremmin sähköä johtavaa painoväriä voitaisiin painatuksilla tuottaa muutakin kuin pelkkiä pinnoitteita eli esimerkiksi elektronisia komponentteja. Näillä keinoilla päästäisiin kuvainnollisesti seuraavalle tasolle johdepolymeeritutkimuksissa, mutta se edellyttäisi myös jokaisen edellä mainitun kohdan toteutumista.

Tämän opinnäytetyön aihe oli mielestäni rajattu sopivaksi, kun otetaan huomioon työn suunnitteluun, toteutukseen sekä kirjallisen osuuden dokumentointiin käytetty aika. Työssä eniten ongelmia tuottivat lähinnä itselle hieman vieraampien kemian teoria-asioiden ymmärtäminen sekä sisäistäminen. Vaikeuksia työssä ilmeni myös tiedonhaussa, sillä polymeerijohteiden sähkötekni-ken hyödyntäminen on aiheena varsin uusi. Tämän vuoksi tutkimus- ja kehitystyö on vielä yleisesti alkuvaiheessa, eli kaikkia tutkimuksissa ilmenneitä asioita ei haluta vielä julkisesti paljastaa, sillä kilpailu on kovaa.

LÄHTEET

1. Mortimer, Charles E. 1999. Kemia. Käännös Hakkarainen Marjatta. Joensuu: Opetushallitus.
2. Seppälä, Jukka. 2001. Polymeeritekniikan perusteet. Espoo: Otatieto.
3. Tampereen teknillinen yliopisto. Materiaalitekniikan laitos. Polymeerit. Saatavissa: http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_4.php [viitattu 26.03.2010]
4. Jokela, Reija & Niinistö, Lauri. 1999. Orgaanisen kemian perusteet ja sovellukset. Espoo: Otatieto.
5. Salmimies, Riina & Hietanen, Teemu. 2005. Sähköä johtavien muovien valmistus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemianteeniikan osasto. Saatavissa: <http://www2.lut.fi/kete/teke/teke/ktp/2005/2005-seminaari.pdf>. [viitattu 28.03.2008]
6. The Nobel Prize in Chemistry. 2000. Conductive Polymers. Nobel e-Museum. Saatavissa: http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/chemadv.pdf. [viitattu 28.03.2008]
7. Panipol - Conductive Polymers. Coating System Applications. Saatavissa: <http://www.panipol.com/index052d.html?option=content&task=view&id=15&Itemid=39> [viitattu 25.03.2010]
8. Panipol - Conductive Polymers. Polyaniline Powders. Saatavissa: <http://www.panipol.com/index9110.html?option=content&task=view&id=14&Itemid=38> [viitattu 25.03.2010]
9. Materiaalien mittausmenetelmiä. Pintaresistanssin mittaus. Saatavissa: <http://elektroniikka.turkuamk.fi/7050077/tuote06/tuote06.htm> [viitattu 16.04.2008]

10. Tarkka, Pertti, Määttänen, Kari & Hietalahti, Lauri. 2002. Piirianalyysi 1. Helsinki: Edita.
11. Tarkka, Pertti & Hietalahti, Lauri. 2004. Piirianalyysi 2. Helsinki: Edita.
12. Ilola, Risto, Romu, Jyrki, Papula, Suvi & Hänninen, Hannu. 2003. Katalyytipinnat ja niiden valmistus. Teknillinen korkeakoulu. Koneenrakennuksen materiaalitekniikan laboratorio. Espoo. Saatavissa:
http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/PINTA/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ ja_aktivointi/Julkaisut/TKK-MTR-1-03.pdf [viitattu 10.04.2010]
13. Hienonen, Risto & Lahtinen, Reima. 2007. Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa. VTT Publications. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P623.pdf> [viitattu 10.04.2010]
14. Alajoki, Mikko & Smolander, Salla. 2001. Elektroniikkalaitteiden suunnittelu. ESD. Saatavissa:
<http://www.tkk.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/171/Materiaali-2001/ESD.pdf> [viitattu 11.04.2010]
15. Honkanen H. Oppimateriaalia: ESD-suojaus. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_ESD.pdf [viitattu 11.04.2010]
16. Staria yhteistyöhön kemian alan edelläkävijän kanssa. 2009. Lehdistöiedote. Saatavissa: <http://www.staria.fi/uutinen.aspx?uid=162> [viitattu 11.04.2010]
17. Fundamentals of ESD. 2001. ESD association. Saatavissa:
<http://www.esda.org/basics/part1.cfm> [viitattu 11.04.2010]
18. Toivanen, Janne. 2006. RF-kotelointi. Teknillinen korkeakoulu. Saatavissa: <http://www.ept.tkk.fi/Teaching/S1133150/toivanen.pdf> [viitattu 11.04.2010]

TECHNICAL DATA SHEET

PANIPOL® W

0107

PANIPOL® W is water based electrically conductive polyaniline dispersion for coating formulations. PANIPOL® W contains inherently conductive polymer polyaniline, manufactured using proprietary production technology of Panipol Ltd. PANIPOL® W can be applied to produce thin, transparent coatings with controllable surface resistance in the optimal ESD protection range of $10^5 - 10^9 \Omega$. Coatings based on PANIPOL® W are transparent with greenish tint.

Main features:

- Polyaniline paste for permanently antistatic coating formulations
- Adjustable viscosity and conductivity
- Low ion content in the coating
- Substrates: plastic films, textiles, paper, cardboard, glass and more
- Coatings based on PANIPOL® W are thermoformable

| | |
|--------------------------|---|
| Appearance | Dark green paste |
| Classification | Polyaniline salt, CAS Number 159996-80-2 Solvent: Water |
| Solid content | Maximum 6 % |
| Conductivity | Typical ESD formulations: Maximum 10^{-5} S/cm |
| Viscosity | 18 Pa s |
| pH | 2.5 |
| Compatible resins | Various resin and binder systems (please contact Panipol technical service) |
| Storing | Store in cool and dry place, avoid direct sunlight |
| Shelf life | 12 months in the closed bottle when properly stored |
| Warnings | X _i (polyaniline salt) |

Usage:

PANIPOL® W can be used as an active component in conductive coating formulations:

| | |
|------------------------|--|
| Dilutant | Water |
| Binders | Please contact Panipol technical service |
| Coating methods | Flexo printing, screen printing, roller, bar, dip coating and other printing/coating methods |

Typical applications:

- Antistatic and ESD protection coating formulations for electronics packages
- Thermoformable antistatic coating formulations
- Electrically conductive ink formulations for printed electronics
- Any other applications that require permanent semi-conductive properties



16.12.2005

1(3)

FINNDISP TPB 5

FINNDISP TPB 5 is a finely dispersed anionic copolymer dispersion specially developed for the use as a primer for cementitious self leveling toppings and for the modification of portland cement concretes and mortars.

FINNDISP TPB 5 has the following properties:

Primer

- ◆ excellent adhesion both to the substrate and the topping.
- ◆ excellent water- and alkali resistance
- ◆ excellent flexibility and resistance against shrinking stress forces under humid conditions

Mortar modification

- ◆ improved application properties
- ◆ improved adhesion to the substrate
- ◆ increased elasticity
- ◆ improved abrasion resistance
- ◆ reduced tendency to dusting
- ◆ improved water resistance and resistance against alifatic hydrocarbons

16.12.2005

2(3)

FINNDISP TPB 5

Type: FINNDISP TPB 5 is an unplasticized, finely dispersed special terpolymer dispersion stabilized with an anionic emulsifying system.

Specifications:

| | | | |
|---|------------|-------|---------------|
| Polymer type | | | terpolymer |
| Total Solid Content | (ISO 3251) | % | 47 ± 1 |
| Viscosity at + 23°C - Brookfield RVT, 20 rpm sp. No. 3 | (ISO 3219) | mPa.s | 1 000 – 2 500 |
| pH | (ISO 976) | | 4,5 - 5,5 |

Typical Features:

| | | | |
|---|-----------------|-------------------|---------|
| Minimum Film Forming Temperature, approx. | (ISO 2115) | °C | 6-7 |
| Particle Size, average - Coulter LS 230 | (FORCIT 218/92) | µm | 0,4 |
| Glass Transition Temperature, approx. - Mettler DSC 30, Midpoint | | °C | 21 |
| Density , +23°C, approx. | (ISO 2811-1) | g/cm ³ | 1,04 |
| Emulsifying system / Protective Colloid | | | Anionic |

| | | | |
|---------------------|---------------|--------------|-----------|
| Stabilities: | - storage | (FORCIT A08) | 12 months |
| | - freeze/thaw | (FORCIT A07) | Unstable |

Film properties:

| | | | |
|--|------------|------|----|
| - Film Hardness after 14 Days at +23°C, 50 % RH according to König, approx. | (ISO 1522) | sec. | 16 |
|--|------------|------|----|

TECHNICAL PRODUCT INFORMATION

PanStat W

Electrically Conductive Coatings and Inks

PanStat W

0107

PanStat W is a series of electrically conductive, water based ink and coating compositions. PanStat W utilises the patented Panipol® inherently conductive polyaniline technology. The coatings are permanently conductive at the optimal ESD protection range and the conductivity is independent of the humidity. The PanStat W coatings are also thermoformable and they withstand ultrasonic washing, as well as moderate mechanical wear. Due to the very low ionic migration, PanStat W offers possibility to make transparent ESD and antistatic coatings for electronic packaging and clean-room applications.

Main features:

- Permanent antistatic and ESD coating
- Good stability
- Very low ion content (SO_4^{2-} , NH_4^+ and Cl^- <2 µg/g)
- Substrates: PET, PVC, PS, PC, PE, cardboard and more
- Appearance: green liquid or paste
- Colour: Translucent with greenish tint
- Thermoformable

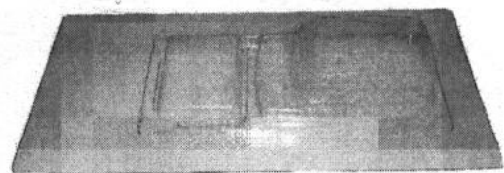
| | Method | Units | Value |
|--------------------|---------------|-------|-----------------|
| Viscosity | DIN cup #4 | s | 10-100 |
| Surface resistance | IEC 61340-5-1 | Ω | 10^5 - 10^9 |
| Static decay time | IEC 61340-5-1 | s | 0.1-0.2 |

Usage:

Viscosity, adhesive properties and surface resistivity of the PanStat W coatings can be tailored in a wide range according to the application. The coatings can be applied by utilising standard printing and coating methods: flexo, reverse gravure, roller coating, bar coating, dip coating and spray coating. PanStat W is based on water (no added solvents) and therefore it can be diluted with pure water if needed.

Typical applications:

- Thermoformed electronics packaging
- Heat sealable antistatic and ESD packaging
- ESD protection tapes
- Antistatic and semi-conductive plastic films
- Applications that require permanent conductivity
- Antistatic applications that require high transparency
- Any applications that require semi-conductive properties



PanStat W can be applied as a permanently antistatic, transparent coating for plastic packaging.

The information contained in these pages is correct according to Panipol Ltd's best current knowledge and experience, and obtained following good laboratory practices, and is applicable only to the material identified in this datasheet. The information is given without warranty, and no responsibility is accepted that the information is sufficient in all cases. The user should make independent determinations of suitability and validity to assure proper use of this material, and the safety and health of employees and customers, and protection of the environment. Nothing herein shall constitute permission, inducement, or recommendation to practice any invention covered by any patent owned by Panipol Ltd. or by others, nor as a recommendation to use any product or to practice any process in violation of any law or government regulation.

PANIPOL OY
P.O. Box 163
06101 Porvoo
FINLAND

Tel. +358 207 432 255
Fax +358 207 432 250
info@panipol.com
www.panipol.com

 **PANIPOL**
INHERENTLY CONDUCTIVE POLYMERS