

Aino Hietala

Prepress-prosessi älypainamisympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Mediatekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

3.5.2016

Tekijä Otsikko	Aino Hietala Prepress-prosessi älypainamisympäristössä
Sivumäärä Aika	41 sivua + 1 liite 3.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Graafinen tekniikka
Ohjaajat	Tutkijaopettaja Arne Klemetti Lehtori Toni Spännäri
<p>Insinööriyössä tutkittiin prepress-prosessia älypainamisympäristössä ja verrattiin painetun elektroniikan suunnittelua perinteiseen elektroniikan suunnitteluun. Työssä perehdyttiin kahden eri tuotantoympäristön toimintaan ja niissä valmistettavien lopputuotteiden suunnitteluun. Verrattavat tuotteet olivat älypainettu kapasitiivinen kosteusanturi ja perinteinen piirilevy. Insinööriyön puitteissa suunniteltiin ja valmistettiin älypainettuja kosteusantureita. Ne valmistettiin hiilinanoputkillä herkistetystä läpinäkyvästä kalvosta. Kalvosta tehdyt kosteusanturit olivat läpinäkyvyyden lisäksi joustavia. Kosteusanturit suunniteltiin vektoripiirustusohjelmalla, ja niiden valmistukseen käytettiin tasoleikkuria. Älypainettua elektroniikkaa verrattiin perinteiseen elektroniikkaan. Esimerkkinä perinteisestä elektroniikasta käytettiin kosteusmittaria, jossa hyödynnettiin valmista kosteusanturia.</p> <p>Insinööriyön tutkimuksesta saatiin selville, että piirilevyn suunnitteluprosessi oli monimutkaisempi ja monivaiheisempi kuin vertailussa olleen kosteusanturin suunnitteluprosessi. Tässä tutkimuksessa siis älypainetun elektroniikan suunnittelu oli helpompaa ja nopeampaa kuin perinteisen elektroniikan suunnittelu. Perinteisen ja painetun elektroniikan suunnitteluprosessien erilaisuudesta huolimatta todettiin, että prosessien yhdistäminen on mahdollista. Insinööriyön lopputuloksena tehtiin prosessikuvaukset molempien tuotteiden suunnittelusta ja niitä verrattiin keskenään.</p> <p>Lisäksi insinööriyössä tehtiin toimintasuunnitelma seripainoyritykselle, joka ryhtyisi valmistamaan painettua elektroniikkaa. Työn puitteissa tutkittiin älypainamisen nykytilaa, ja pohdittiin miten älypainotekniikat tulevat jatkossa kehittymään. Insinööriyössä päädyttiin myös lopputulokseen, että aihe vaatii lisää tutkimuksia, ja tekniikan uutuuden vuoksi kaikkia insinööriyön päätelmiä ei voitu perustella lähteiden avulla. Tämän vertailun kaltainen tutkimus olisi hyvä tehdä uudestaan muutaman vuoden kuluttua, jolloin lähteitäkin olisi luultavasti enemmän.</p>	
Avainsanat	älypainaminen, prepress, painettu elektroniikka, kosteusanturi

Author Title	Aino Hietala Prepress process in intelligent printing
Number of Pages Date	41 pages + 1 appendix 3 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Graphic Technology
Instructors	Aarne Klemetti, Researching Lecturer Toni Spännäri, Senior Lecturer
<p>The thesis studies prepress-process in intelligent printing and it compares the design process in printed electronics and traditional electronics. Two production environments and their end products are analysed in the thesis. The compared products are printed capacitive humidity sensors and conventional circuit boards. The printed capacitive humidity sensors were designed and manufactured during the project described in this thesis. The sensors were made of a transparent plastic film that had a carbon nanotube layer on it. In addition to the transparency of the sensors, the sensors were also flexible. The humidity sensors were designed with vector drawing software and they were produced with an automatic table cutter. The printed electronics were compared with conventional electronics. A hygrometer that utilized a ready-made humidity sensor was as an example of the conventional electronics.</p> <p>It was discovered in the study, that the design process of the circuit board was more complex and multi-staged than the printed humidity sensor's design process. In this study, the design process of the printed electronics was faster and easier than the conventional electronics' design process. Despite the differences in the printed and conventional electronics' design processes it was found out in the study that it is possible to combine processes. Two process descriptions were made as an end result. They were about designing conventional electronics and designing printed electronics. The process descriptions are compared to each other in the thesis.</p> <p>In addition, a plan of action was made for a screen printing company that was about to start print electronics. The present state of intelligent printing is examined in the thesis. The thesis also discusses how the intelligent printing techniques could be evolving in the future. In conclusion, it can be stated that more research is needed as not all conclusions can be backed up by source material. It would be beneficial to redo the study in a few years so that there would be more sources to rely on.</p>	
Keywords	intelligent printing, printed electronics

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Älypainaminen	2
3	Prepress	3
3.1	Digitaalinen prepress	4
3.2	Prepressin automatisointi	6
3.3	Prepress älypainamisessa	7
4	Moderni elektroniikan valmistus	8
4.1	Elektroniikan valmistuksen periaatteet	8
4.2	Ohjelmistot ja tiedostomuodot	12
4.3	Esimerkkituotantoympäristö Electria	13
4.4	Perinteisen kosteusmittarin suunnittelu	14
4.5	Elektroniikan suunnitteluprosessi	15
5	Painettu elektroniikka	17
5.1	Lisäävä prosessi	19
5.2	Poistava prosessi	23
5.3	Esimerkkituotantoympäristö Metropolian digipainolaboratorio	25
5.4	Älypainetun kosteusanturin suunnittelu	26
5.5	Painetun elektroniikan suunnitteluprosessi	30
6	Painetun ja perinteisen elektroniikan suunnitteluprosessin vertailu	31
6.1	Suunnitteluprosessin kesto	31
6.2	Älypainetun elektroniikan haasteet	33
7	Tulevaisuuden näkymät	34
7.1	Älypainamisen tulevaisuus	34
7.2	Prepressin tulevaisuus älypainossa	37
8	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Toimintamalli elektroniikan painamisen aloitukseen seripainoyritykselle	

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on perehtyä prepress-prosessiin älypainotuotteita tehtäessä, ja vertailla älypainomenetelmää sekä perinteistä elektroniikan valmistusmenetelmää. Insinööriyössä valmistetaan älypainettuja kapasitiivisia kosteusantureita ja tutkitaan antureiden suunnitteluprosessia. Älypainettujen kosteusantureiden suunnittelua verrataan perinteistä kosteusanturia varten tehdyn piirilevyn suunnitteluun. Insinööriyössä tutkitaan perinteisen elektroniikan suunnitteluprosessin muokkaamista painoympäristöön sopivaksi. Tarkoituksena on tehdä toimintasuunnitelma, jonka avulla painoalan yrityksen kynnyks aloittaa älypainaminen omissa tuotantotiloissaan madaltuisi. Hyvin suunniteltu ja testattu älypainoprosessi mahdollistaa kustannustehokkaan ja nopean elektroniikan valmistuksen.

Insinööriyössä verrataan kahden eri tuotantoympäristön valmistusprosesseja ja niitä tutkimalla tehdään selvitys perinteisen elektroniikan valmistuksen siirrettävyydestä painetun elektroniikan valmistukseen. Tuotantoympäristöinä toimivat Metropolia Ammattikorkeakoulun digipainolaboratorio ja Electrician koetuotantotehdas. Molemmissa tuotantoympäristöissä tuotantomäärät ovat suhteellisen pieniä ja enemmän kokeellisia kuin tuotantolaitosmaisia. Ympäristöjen samankaltaisuus helpottaa insinööriyössä tehtävän vertailun tekoa. Insinööriyö rajataan käsittelemään pääasiassa suunnitteluprosesseja.

Opetushallituksen vuoden 2013 graafisen alan osaamistarveraportin mukaan yksi graafisen alan tulevaisuuden skenaarioista voisi olla älypainamisen lisääntyminen ja innovaatioiden kehittyminen [1]. Tällä hetkellä kuitenkin graafisen alan työpaikat vähenevät vuosittain ja kokonaismarkkinat pienentyvät [2]. Tietyillä graafisen alan osa-alueilla tapahtuu kuitenkin kasvua, ja esimerkiksi digipainaminen kasvaa [3]. Lisäksi graafisen alan nousua varten täytyisi kehittää uusia kasvukohteita, ja yhtenä suurena kohteena näistä voisi olla älypainaminen. Myös Uusi teknologia -julkaisun artikkelin ”Painettu äly kasvattaisi tuotantolukuja” mukaan painettu äly voisi olla yksi mahdollinen suomalaisen teollisen tuotannon suunnan kääntäjä. [4.]

Insinööriyön tutkimuskysymyksenä on, miten älypainettujen kosteusantureiden suunnittelu onnistuu mahdollisimman tehokkaasti ja miten antureiden suunnittelu vertautuu perinteisen elektroniikan suunnitteluun.

2 Älypainaminen

Älypainaminen on poikkitieteellinen tapa valmistaa esimerkiksi elektronisia tai kemiallisia teknisiä tuotteita. Älypainamista hyödyntämällä voidaan valmistaa nopealla aikataululla ja verrattain pienillä kustannuksilla niin yksinkertaisia virtapiirejä kuin monimutkaisia elektroniikkasovelluksiakin [5]. Älypainaminen tarkoittaa, että perinteisin painomenetelmin valmistetaan toiminnallisia tuotteita, kuten virtapiirejä, aurinkokennoja ja transistoria. Älypainamiseen sopivia painomenetelmiä ovat esimerkiksi syväpaino, flekso-paino, seripaino, offsetpaino ja digipaino. [6, s. 68, 71; 7, s. 16.] Älypainotuotteet mielletään usein painetuiksi elektroniikkatuotteiksi, mutta ne voivat olla myös esimerkiksi kemiallisia älypainettuja tuotteita, kuten indikaattoreita tai lab-on-a-chip pikadiagnostiikkasovellutuksia [8].

Älypainotuotteita valmistettaessa ja suunniteltaessa yhdistetään monen eri alan osaajia. Painetun elektroniikan valmistamiseen vaaditaan osaajia sähkö- ja elektroniikka-alalta. Kun tehdään painettuja indikaattoreita tai pikaindikaattoreita, tarvitaan kemiallista osaamista. Painettua elektroniikkaa voidaan valmistaa myös suoraan tekstiiliin, mikä mahdollistaa älyvaatteiden valmistuksen, ja silloin tarvitaan tekstiilialan ammattilaisia mukaan valmistusprosessiin. Kokonaisuudessaan älypainaminen vaatii siis usean alan yhdistämistä. Esimerkiksi painolaitoksen ja elektroniikanvalmistuslaitoksen yhdistäminen mahdollistaa painetun elektroniikan valmistuslaitoksen. [9.]

Älytuotteita painettaessa valmistettavan tuotteen visuaalisuudella ei sinänsä ole merkitystä. Tärkeää on, että painettavan kuvion pinnat ovat yhtenäisiä, jotta esimerkiksi reitin johtavuus toteutuu. Painetun elektroniikan valmistuksessa ensimmäisiä kysymyksiä onkin, miten saadaan tehtyä tarpeeksi peittävä ja tarkkaa kuviota, jotta johtavuus toteutuu. [10, s. 4677.] Perinteisessä painamisessa laaduntarkkailussa suuressa osassa on värinoston tarkastus, eli nimenomaan visuaalisuus [11, s. 147]. Elektroniikkaa painettaessa laaduntarkkailussa kiinnitetään huomiota ainoastaan tuotteen toiminnallisuuteen eikä sen ulkonäköön. Electrician teknologiapäällikön Jarmo Tuppuraisen [12] mukaan toiminnallisuutta voidaan kuitenkin tarkastaa visuaalisesti havainnoimalla. Silloin on kuitenkin tarkoituksena huomata virheet, jotka estävät tuotteen toimimisen eikä varmistaa tuotteen kaunista ulkonäköä. Esimerkiksi virtapiirin juotoskohtia voidaan havainnoida visuaalisesti ja sillä tavoin löytää virtapiirin toimimisen estäviä tekijöitä. Elektroniikkaa painaettaessa lopputuote eroaa perinteisistä painotuotteista hyvin paljon. Painetun elektroniikan valmistuksessa kuitenkin pätee sama ajattelutapa kuin perinteisi-

sessä painamisessa: tuotteet valmistetaan kerroksittain. Perinteisissä painomenetelmissä jokainen osaväri painetaan erikseen, jolloin täytyy ottaa huomioon, mitä värejä painetaan päällekkäin ja kuinka suuri tuotteen kokonaisvärimäärästä tulee. Painetussa elektroniikassa kerrosajattelu on vahvempi kuin perinteisessä painamisessa. Toiminnallisten kerrosten täytyy olla toisiinsa nähden oikeassa järjestyksessä ja oikein kohdistettuina, jotta esimerkiksi johtavuus toteutuu.

Kun halutaan siirtää perinteistä elektroniikan valmistusta älypainamisympäristöön, täytyy ottaa huomioon käytettävät tiedostomuodot. Virtapiirejä suunnitellaan tietokoneohjelmilla, samaan tapaan kuin painoaineistojakin [13, s. 23]. Tässä insinööriyössä tarkoituksena on saada teoreettisesti yhdistettyä nämä kaksi suunnitteluprosessia, jotta elektroniikan valmistuksen tiedostomuodot ja ohjelmat sopisivat myös painoympäristöön. Tiedostomuodoista kerrotaan myöhemmin luvussa 4.2.

3 Prepress

Prepress eli painopinnan valmistus on painotuotteen valmistuksen ensimmäinen osio. Prepressin tarkoituksena on valmistella ja tarkistaa aineisto painovalmiiksi, eli se kattaa kaikki painamista edeltävät tapahtumat. Digipainossa prepress tarkoittaa siis digitaalisen materiaalin, eli kuvien ja tekstien, tarkastusta painoa varten. Aineistossa olevien kuvien täytyy olla tarpeeksi hyvälaatuisia, jotta ne näyttävät painettuina mahdollisimman hyviltä. Aineiston kaikkien elementtien täytyy olla kohdallaan, jotta jälkikäsittelyssä mitään ei esimerkiksi jää leikkausalueen ulkopuolelle. [11, s. 15.]

Työssäni prepress-osastolla olen huomannut prepress-osaston prosessien vaikuttavan kaikkiin tuleviin tuotantoprosesseihin. Esimerkiksi jos prepress-osastolla aineistosta unohdetaan leikkuumerkit, on jälkikäsittelyssä mahdotonta leikata painettua tuotetta ja koko tuotantoprosessi on aloitettava alusta. Kaikki virheet, jotka huomataan vasta painamisen jälkeen, tulevat huomattavasti kalliimmiksi kuin ennen painamista huomautetut virheet [14]. Tästä syystä prepress-osastolla kommunikointi muiden painotalon osastojen kanssa on erittäin tärkeää. Prepressin osuutta pyritään automatisoimaan mahdollisimman paljon, jolloin koko painoprosessi on nopea ja tehokas, ja ihmisen tekemät virheet minimoitaisiin. Prepressiä varten on kehitetty tarkastusohjelmia, jotka automaattisesti tarkistavat painoaineistojen halutut elementit ja mahdollisesti myös korjaavat automaattisesti virheelliset kohdat. [15.]

3.1 Digitaalinen prepress

Ennen digitaalista prepressiä ulkoasun toteutukseen kuului sisällöntuotanto sekä kuvan- ja tekstinvalmistus. Nämä prosessit tehtiin eri osastoilla, ja ne olivat erillisiä työvaiheita ulkoasun suunnittelussa. Kuvanvalmistus tehtiin repressa ja tekstinvalmistus latomossa. Digitaalisessa prepressissä ei ole erillisiä työvaiheita kuvan- ja tekstinvalmistukselle, vaan koko prepress-prosessi voidaan toteuttaa käytännössä yhdellä työasemalla. Nykyään prepress-osasolla lähinnä vastaanotetaan tuleva aineisto ja käsitellään se jatko tuotantoa varten. Varsinainen sisällöntuotanto ja aineiston suunnittelu tehdään yleensä ulkopuolisella taholla, kuten mainostoimistossa. Digitaalisessa prepressissä voidaan valmistaa aineisto painoaihion valmistusta varten tai suoraan RIPille (raster image processor), joka muuttaa aineiston binääriseksi ja tulostettavaan muotoon. [11, s. 43–44; 16, s. 771.]

Digitaalisessa prepressissä painettavat aineistot täytyy muuntaa muotoon, jonka tulostimen RIP ymmärtää. RIPille ymmärrettävät muodot ovat PDL:llä (page description language) muunnettuja. PDL on graafinen ohjelmointikieli, joka kuvaa sivuaineiston kuva-, piirros- ja tekstielementit. PDL-kieliä on useita, mutta niistä yleisin on Adoben PostScript. PostScript on avoin standardi, mikä tarkoittaa sitä, että tiedostoja voidaan käsitellä vapaasti millä tahansa laitteella. PostScript sisältää useita eri toimintoja, jotka ovat tiedoston kääntäminen PostScript kielelle, PostScript-koodin siirto ja PostScript-koodin prosessointi (rasterointi). Aineiston voi tallentaa PostScript-muotoon ilman, että se siirretään RIPille. Tällöin tiedoston ulkoasu on lukittu, eikä PostScript-tiedostoon voi enää tehdä muutoksia. [17, s. 246.] PostScript-kieli on joustava ja antaa ohjelmoijille mahdollisuudet räätälöidä PostScript-ohjelmistojen toimintaa. PostScriptin yleistyessä räätälöitävyys kuitenkin johti myös siihen, että tiedostot eivät olleet yhtä siirreltävässä eri alustoille ja eri laitteilla valmistetut tiedostot eivät näyttäneetkään samalta. [18.] Tästä syystä PostScript ei ole enää graafisella alalla yleisesti käytössä, vaan sen on korvannut PDF (Portable document format). PostScriptin kehityksen avulla on siis päästy nykyiseen PDF:n yleistymiseen, mutta PostScriptin käyttö nykypäivänä on harvinaisempaa. [19.]

PDF on tiedostomuoto, joka on samankaltainen PostScriptin kanssa. Kuten PostScript, myös PDF on avoin tiedostomuoto, jolloin se toimii millä tahansa ohjelmalla ja laitteella. PDF voi sisältää kuvien, piirrosten ja tekstin lisäksi esimerkiksi 3D-grafiikkaa, videota ja ääntä. PDF on PostScriptiin verrattuna standardoidumpi ja kehittyneempi, joten siitä on

myös tullut yleisesti huomattavasti käytetympi tiedostomuoto. [17, s. 250.] Painotalossa tapahtuvia erillisiä työkulkusovelluksia kutsutaan PDF-työnkuluksi, kun kaikissa sen sovelluksissa materiaali muutetaan PDF-muotoon [11].

PDF-työnkuluissa suuressa osassa on PDF-tiedoston painokelpoisuuden tarkastaminen. Tällaisen tarkastuksen tekee Preflight-ohjelmisto. Preflight-tarkastus tarkoittaa painotiedoston oikeellisuuden automatisoitua tarkastusta validointiohjelman avulla. Preflight-ohjelmisto on merkittävässä osassa nykyistä digitaalista prepressiä ja sen automatisointia. Virheitä, joita preflightin avulla voidaan löytää, ovat esimerkiksi fontin puutteellisuus, kuvalinkin puutteellisuus, väärä tiedostomuoto, liian pieni kuvaresoluutio ja väärin asetettu väritila. [20.] Preflight-ohjelmalla tarkastettavat kohdat ovat täysin muokattavissa halutun preflight-profiilin mukaiseksi. Preflight-ohjelman joustavuus mahdollistaisi myös painetun elektroniikan aineiston automaattisen tarkastuksen. Preflight-tarkistukseen voidaan myös lisätä automaattinen virheiden korjaus, jolloin ohjelma korjaisi esimerkiksi väärään väritilaan asetut kuvat automaattisesti. [21.]

Kokonaisuudessaan digitaaliseen prepressiin kuuluu monia vaiheita, vaikka sen voikin käytännössä tehdä yksi työntekijä yhdellä työasemalla. Kuviossa 1 havainnollistetaan prepressin työnkulun vaiheet pääkohdittain.



Kuvio 1. Prepressin työnkulun vaiheet.

Digitaalisen prepressin prosessikuvaus etenee aineiston suunnittelusta tai sen vastaanottamisesta preflight-tarkastukseen. Tarkastuksen ja mahdollisten korjausten jälkeen tehdään tarkastusvedos. Vedos voi olla joko digitaalinen näyttövedos tai paperille tehty tuloste. Tulostetulla vedoksella tarkistetaan värintoisto, ja näyttövedoksella voidaan hankkia asiakkaan hyväksyntä aineistolle. Vedostuksen jälkeen aineisto asemoidaan painoalustan formaattiin sopivaksi. Lopuksi aineisto viedään RIPille tulostusta tai painoaihion valmistusta varten. [22.]

Koska prepress-osastolla vastaanotetaan ja siirretään eteenpäin saapuvia aineistoja, on tiedonhallinta myös suuressa osassa nykyajan prepress-osaston toimintaa. Ennen tiedonhallinta tarkoitti käytännössä vedosten ja muiden asiakasaineistojen arkistointia. Nykyään arkistointi tehdään digitaalisesti, joko painolaitoksen omille palvelimille, tai pilvipalveluihin. [16, s. 773.]

3.2 Prepressin automatisointi

Graafisen teollisuuden automatisointia varten on kehitetty JDF-standardi (Job definition format), joka perustuu XML-kieleen (Extensible markup language). JDF toimii yhdessä digitaalisen työmääräimen kanssa. Sen avulla digitaaliseen työmääräimeen saadaan lisättyä tietoa. JDF hyödyntää saamaansa metadataa ja tekee sen avulla automaattisia toimintoja. Painolaitos voi saada metadataa esimerkiksi suoraan asiakkaan aineistoista tai tilauksista, ja JDF pystyy hyödyntämään sitä. Myös painolaitoksen omien laitteiden esiasetuksista saadaan metadataa, jota JDF voi käyttää. [23.] JDF:n tarkoituksena on yksinkertaistaa tiedonsiirtoa graafisen alan työnkulussa. JDF:n avulla työnkulku voidaan automatisoida alusta lopputuotteeseen asti. Tähän automaattiseen prosessiin kuuluu suunnittelu, prepress, paino, jälkikäsittely ja lähetys. JDF-työnkulun avulla asiakkaan ja tuotannon välinen kuilu pienenee, jolloin toiminta on läpinäkyvämpää ja väärinkäsityksiä on helpompi välttää. JDF:n käyttöönotto lisää yritykselle verkkäyttöliittymän, jonka avulla asiakkaat voivat olla paremmin yhteydessä yritykseen ja yritys saa asiakkaista hyödyllistä tietoa automaattisesti. [24.]

Adobe on panostanut PDF-työnkulkuun ja kehittänyt sitä varten oman Adobe PDF Print Engine (APPE) -ohjelman. APPE on RIP-ohjelma, joka on kehitetty optimoimaan prepressin automatisointi alusta loppuun. [25]. Sen myötä graafisen alan yrityksillä ei ole enää tarvetta PostScriptin käytölle. APPE:n avulla koko työnkulku alkusuunnittelusta

tulostukseen asti toimii PDF-muodossa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi viime hetken muutokset PDF-tiedostoon ilman, että tiedostoa tarvitsee avata alkuperäisessä suunniteluohjelmassa. Muutokset voidaan siis tehdä suoraan PDF-tiedostoon. Lisäksi PDF:n laiteriippumattomuuden ansiosta sama tiedosto voidaan ohjata eri lopputuotantolaitteille. PDF-työnkulun ansiosta samaa aineistoa voidaan siis hyödyntää monikanavajulkaisussa, eli niin painetussa mediassa kuin digitaalisissakin julkaisuissa. Aineiston suunnitteluvaiheessa ei tarvitse tietää, mihin loppukäyttöön aineisto tulee päätymään. Monipuolistaakseen APPE:n toimintaa Adobe toi markkinoille vuonna 2013 Mercury RIP -arkkitehtuurin. Se on käytännössä ohjelmistokehys, joka maksimoi prepressin tehokkuuden ja olemassa olevan laitteiston resurssit. Mercury RIP -arkkitehtuuri mahdollistaa tuotannon skaalaamisen ja monimutkaisten graafisten kuvioiden hahmontamisen muuttuvaa tietoa sisältävissä töissä. [18, s. 7–9.]

3.3 Prepress älypainamisessa

Älypainotuotteita tehtäessä prepressin osuus ei ole samanlainen kuin perinteisessä painamisessa. Perinteisiä painotuotteita tehtäessä prepress-vaiheessa tarkistetaan, että aineisto tulee painettuna näyttämään mahdollisimman hyvältä ja sen jälkikäsitteily onnistuu. Älypainotuotteissa lopputuotteen ulkonäöllä ei ole suurta merkitystä, vaan ainoastaan sen toimivuudella. Älypainon prepress-osuudessa täytyy siis olla jonkinlainen tarkastusmenetelmä sille, että tuote tulee oikeasti toimimaan. Pienissä koeprosesseissa voidaan suunnitella tuote, sitten valmistaa se ja jälkikäteen mekaanisesti testata toimiiko tuote. Tämä ei kuitenkaan ole järkevä tapa valmistaa tuotteita tuotannollisessa mittakaavassa. Tästä syystä älypainotuotteille tulisi tehdä etukäteen digitaalinen tarkastus, jossa pyrittäisiin löytämään virheet, jotka estäisivät lopputuotteen toiminnan. Tämä etukäteistarkastus vastaisi siis perinteisessä painoalassa preflight-tarkastusta.

Tärkeä osa prepressiä on painettavan aineiston asemointi painoalustalle. Perinteisessä prepressissä asemoinnin tarkoituksena on optimoida painoalustan tilankäyttö ja minimoida jätteen määrä. Painoaineiston koko on ennalta määriteltä, eikä sitä voida prepress-osastolla pienentää tai suurentaa. [11, s. 34–35.] Tämän insinööriyön esimerkkinä käytettävää kosteusanturia valmistettaessa anturin kokoa ei ollut ennalta määriteltä. Anturin kokoa voitiin muuttaa tarpeen mukaan pienemmäksi tai eri muotoiseksi, kuitenkin niin, että anturin ominaisuudet säilyvät. Painoaineiston muokkaamisen vapaus mahdollistaa materiaalikäytön optimoimista ja vähentää siitä aiheutuvia kuluja. Tässä

mielessä älypainamisessa asemoinnin osuus on merkittävämmässä osassa kuin perinteisessä painamisessa. Asemoinnissa ei voida kuitenkaan ottaa liikaa vapauksia, sillä tuotteiden täytyy myös toimia. Toimivuus voidaan taata testaamalla erikokoisia antureita ja määrittelemällä antureiden fyysisille mitoille raja-arvot, joiden puitteissa anturit toimivat. Painettujen kosteusantureiden vahvuus on niiden tuotannon edullisuudessa ja nopeudessa. Jokaisen anturin ei tarvitse toimia täydellisesti, vaan niitä voidaan käyttää ryhmänä, jolloin poikkeavia tuloksia antavat anturit voidaan poistaa mittatilastoista.

Älypainossa jälkikäsittely voi olla suuressa osassa tuotteiden valmistusta, sillä tuotteet eivät ole ainoastaan esillä katseltavissa jossain, vaan ne ovat oikeasti käytössä. Tuotteiden täytyy siis kestää kulutusta, kosketusta, ympäröiviä olosuhteita, sähkövirtaa ja niin edelleen. Tästä syystä jälkikäsittelyllä on suuri rooli, ja esimerkiksi johtavat pinnat täytyy saada suojattua, jotta ne eivät kulu käytössä tai niiden ominaisuudet muutu esimerkiksi hapen tai kosteuden kanssa reagoimisesta. Jälkikäsittelyä varten prepressissä usein joudutaan tarkistamaan tai lisäämään tiettyjä elementtejä valmistettavaan tuotteeseen. Esimerkiksi leikkausta varten lisätään leikkuumerkit, joilla automaattileikkuri tunnistaa tuotteen tai jälkikäsittelijä osaa leikata sen oikeasta kohdasta.

4 Moderni elektroniikan valmistus

4.1 Elektroniikan valmistuksen periaatteet

Tässä insinööriyössä valotuksen avulla valmistettuja piirilevyjä on käytetty modernin elektroniikan esimerkkinä. Piirilevyjen valmistusta on suhteellisen helppo verrata painetun elektroniikan valmistukseen, koska osa piirilevyn valmistuksesta tapahtuu jo teknologioilla, jotka muistuttavat perinteistä painamista tai painolevyn valmistusta [6, s. 69–70]. Piirilevyt voivat olla yksipuoleisia, kaksipuoleisia tai monikerroslevyjä. Piirilevyjä on joustavia ja jäykkiä ja niiden yhdistelmiä [26, s. 2]. Piirilevyjen valmistuksessa suunnitteluosuuteen kuuluu piirikaavion teko ja itse piirilevyn suunnittelu [13, s. 23]. Piirikaavion tekoa ja piirilevyn suunnittelua voidaan siis pitää elektroniikan valmistuksessa niin sanottuna prepress-osuutena.

Piirikaavion tehtävänä on määritellä käytettävät komponentit ja kytkennät niiden välillä. Rajapintana piirilevysuunnittelussa toimii vetolista (engl. Net List), jossa on osaluettelo

(taulukko 1) ja kytkennät komponenttien välillä. [13, s. 20.] Osaluettelon tekemisessä on oltava tarkkana, sillä komponenttien ladonta perustuu ensisijaisesti siihen [27].

Taulukko 1. Esimerkki osaluettelosta. Punaisella korostetut kohdat ovat positioita, joita ei tulla kalustamaan kyseisellä valmistajalla [27].

#	Ref. Des.	QTY.	Description	Value	Part Number	Case type	Manufacturer	Notes
1	R1, R3, R7	3	Chip Resistor 0.25W 1%	330kΩ	Any	0805	Any	
2	C1, C2	2	Chip Capacitor X7R 50V 10%	100nF	Any	1206	Any	
3	C3, C4	2	Low ESR Tantalum Capacitor 16V 20%	2.2uF	EEEF1C220AR	CASE-D	Panasonic	
4	IC1	1	8-bit 128kB FLASH Microcontroller	ATMEGA128-16AU	ATMEGA128-16AU	TQFP64	Atmel	
5	U1	1	Switched Mode Voltage Regulator	LM3578AM	LM3578AM	SO8	National Semiconductor	Alternative: LM3578AN
6	XTAL1	1	Crystal Oscillator 24.5535MHz	24.5535MHz	CFPT-9301-FX-A	HC49	Rakon	Farnell Part Number: 1272089
7	J1	1	Through Hole Programming Header Connector 14-pin 2,54mm Tin	16-675-191T	16-675-191T	NA	Aries Electronics	
8	U2	1	Operational Amplifier	LM741J	LM741J	CDIP8	National Semiconductor	
9	R2, R4, R5	3	NOT ASSEMBLED	NA	NA	1206	NA	
10	C7	1	NOT ASSEMBLED	NA	NA	CASE-D	NA	

Osaluettelon lisäksi täytyy valmistajalla olla osasijoittelukuva, jonka avulla ladontakoneen operaattori osaa asettaa komponentit piirilevylle oikein päin ja oikeille paikoilleen. Osasijoittelukuvan on hyvä olla PDF-formaatissa. Ladontakoneita varten tarvitaan ladontatiedot, jotka saa suoraan piirilevynsuunnitteluohjelmasta ASCII-muodossa (American Standard Code for Information Interchange). Piirilevy koostuu useasta kerroksesta, ja näistä kerroksista tulee olla omat tiedostonsa. Tiedostot ovat GERBER-tiedostoja. [27.]

Lisäksi piirilevynsuunnittelussa voi olla esimerkiksi suunnittelusääntöjä:

- tarvittava johdinleveys
- eristeväli
- signaalipuun (netin) kytkentäjärjestys
- signaalin sallittu pituus
- sallittu kulkuajaväli
- sallittu kapasitanssi
- komponenttien ryhmittelytiedot
- signaalien tärkeysjärjestys automaattireityksessä [13, s. 20].

Elektroniikan suunnitteluprosessissa piirikaavion suunnittelee usein eri henkilö kuin piirilevyn, jolloin piirikaavioon sisällytetään mahdollisimman paljon informaatiota inhimillisen unohduksen riskin poistamiseksi.

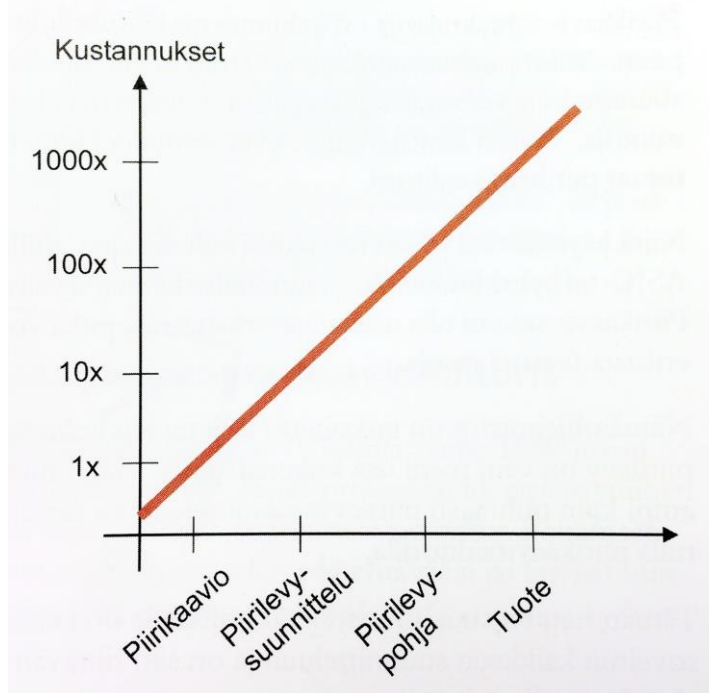
Piirilevysuunnittelussa pääkohdat ovat piirilevygeometrian ja kiinnitysreikien ynnä muun mekaniikan määrittely, komponenttisijoittelu, reititys, dokumentointimerkinnät, tulostus eli postprosessointi ja arkistointi (varmuuskopiointi). Näistä vaiheista tärkeimpänä voidaan pitää komponenttisijoittelua, sillä se ratkaisee esimerkiksi tarvittavan kerrosmäärän ja johdinleveydet, sähköisen toimivuuden ja piirilevyn mitat. Piirilevygeometria voidaan suunnitella piirilevyohjelmalla, tai se voidaan tuoda valmiina mekaniikkasuunnitteluohjelmasta, kuten Autocadista. Autocadissa tiedostoformaattina käytetään DFX-formaattia. Mekaniikkasuunnittelu tarkoittaa käytännössä piirikaavion tekoa. Mikäli piirikaavio tehdään piirilevyohjelmalla, on sille oma ohjelmisto-osansa suunnitteluohjelman sisällä. Piirikaavion teon jälkeen tehdään itse piirilevyn suunnittelu, joka tehdään omalla piirilevyohjelmistolla. Tehokkain tapa hyödyntää piirilevysuunnitteluohjelmaa on piirtää piirikaaviota ja piirilevyä yhtä aikaa. Käytännössä tämä tapahtuu niin, että muutokset tehdään ensin piirikaavioon ja päivitetään sitten piirilevylle. Vaikka piirilevyn suunnittelu tehdään yhdellä ohjelmalla, täytyy suunnittelijan käytännössä käyttää kahta erillistä ohjelmistoa samaan aikaan. Vaikka piirikaaviota ja piirilevyä voidaan suunnitella yhtä aikaa, tulee kuitenkin piirikaavion olla valmis ennen piirilevyä, sillä piirilevy suunnitellaan piirikaavion perusteella.

Mekaniikan määrittelyn jälkeen lisätään komponenttien väliset kytkennät. Kytkentöjä tehdessä komponenttien on oltava oikeilla paikoillaan, sillä reitityksellä ei voida enää korjata mahdollista epäonnistunutta sijoittelua. Ennen reitityksen tekoa piirikaavio-ohjelmistossa määritellään piirilevyn kerrosten rakenne, johdinleveydet ja eristevälit piirilevynsuunnitteluohjelmistoa varten. Reititys tehdään piirilevysuunnitteluohjelmistolla. Reititys voidaan tehdä manuaalisesti tai automaattisesti. Reitityksen avulla piirikaavioon piirretty looginen yhteys esitetään fyysisessä muodossa yhdessä tai useammassa tasossa piirilevyllä.

Reitityksen jälkeen voi piirikortin tyhjät alueet täyttää dynaamisella täyttökuparialueella. Tämä parantaa kortin häiriösietoa ja vähentää kortin aiheuttamaa häiriösäteilyä. Tämän jälkeen piirilevylle voidaan suunnitella testipistekohdat, joista levy voidaan mekaanisesti testata. Ennen lopullisten GERBER-tiedostojen tekoa piirilevyyn lisätään dokumentointimerkinnät. Niitä ovat tunnusmerkinnät ja valmistuksen kannalta tärkeät merkinnät.

Tunnustietoja ovat yrityksen nimi ja piirilevyn nimi ja versionumero. Valmistuksen kannalta tärkeitä tietoja ovat kerroskartta sekä paikka valmistajatunnukselle. [13, s. 20–23, 29–30, 94, 218, 228, 236–237.]

Elektroniikan suunnittelussa jokainen vaihe kannattaa suunnitella valmiiksi hyvin, sillä vaiheesta toiseen siirryttäessä voidaan karkeasti arvioida kulujen kymmenkertaistuvan, mikäli muutoksia täytyy jälkikäteen tehdä (kuvio 2) [13, s. 20–23].



Kuvio 2. Piirilevyn suunnittelun aikana syntyvä kustannusten kasvu prosessin edetessä [13, s. 23].

Painotuotteen prepress-prosessissa muutoksia voidaan tehdä melko joustavasti RIPille vientiin asti. RIP-prosessin jälkeen painoaihetta ei voida enää muokata ilman, että RIP-prosessi tulee suorittaa uudelleen. [11, s. 44.] Itse painamisen jälkeen korjauksia ei tuotteeseen oikeastaan voida tehdä, vaan korjaukset tulee tehdä painoaiheeseen ja suorittaa painaminen uudelleen. Tässä virtapiirin valmistuksen prosessi eroaa painamisprosessista, sillä virtapiirejä voidaan korjaila jopa sen jälkeen, kun tuote on kokonaan valmis. Prosessissa ei siis ole yhtä tiettyä vaihetta, jonka jälkeen korjaukset olisivat mahdollisia. Kustannusten kannalta tietenkin korjausten kannattavuus on täysin tuote- ja tilannekohtaista. [12.]

4.2 Ohjelmistot ja tiedostomuodot

Kun piirilevy tilataan ulkopuoliselta taholta, tulee valmistajalle lähettää tarvittavat tiedostot piirilevyn tekoa varten. Esimerkiksi Jopaco-yrityksen internetsivuilla näihin tarvittaviin tiedostoihin kuuluvat osaluettelo, osasijoittelukuva, ladontatiedot, GERBER-tiedostot ja muu erityisohjeistus. [27.] Electriassa piirilevyjen valmistusprosessissa suunnittelu tehdään yleensä ulkopuolisella taholla, josta tiedostot lähetetään Electriaan, missä piirilevyt kalustetaan. Piirilevyt painetaan suunnitelman ohjeiden mukaan ja tilataan ulkopuoliselta toimijalta. Piirilevyt voidaan tilata joko levyn suunnittelijalta tai piirilevyn kokoavalta yritykseltä. Tutkittavassa esimerkkiympäristössä, Electriassa käytettävät tiedostomuodot piirilevyjen valmistukseen ovat GERBER-muotoiset tiedostot. GERBER-tiedostot ovat graafisia tiedostoja, joissa on nähtävissä eri tasoilla tarvittava informaatio levynvalmistusta varten. [12.] GERBER-tiedostot saadaan piirilevysuunniteluohjelmasta automaattisesti piirilevyn suunnittelun jälkeen. Jopaco-yrityksen internetsivuilla [27] on kerrottu, että piirilevyn valmistukseen tarvittavat GERBER-muotoiset tiedostot ovat

- Paste mask (stensiilitiedosto)
- Copper (johdinkerrokset)
- Silkscreen (merkinnät piirilevyllä)
- Drill data (poraustiedot)
- Solder mask (juotteenestomaski).

Stensiilitiedostossa on esitettyä aukot, jotka pintaliitoskomponentteja varten täytetään juotospastalla. Johdinkerrosten tiedostot kertovat, mistä kohdista piirilevyä valotetaan eli mihin kohtiin valoherkkä pinnoite jää ja mistä kohdin taas kuparipinta etsataan pois. Jokaista johdinkerrosta varten on oma tiedosto. Merkinnät piirilevyllä ovat yleensä valkoisella värillä painettavat komponentti- ja juotospuolta varten tehtävät merkinnät. Poraustiedot kertovat, mihin kohtiin piirilevyllä tehdään porausreikiä. Poraustiedot voidaan tallentaa myös Excellon-formaattiin. Poraustiedostossa on tekstitietona reikien koordinaatit, poran terän koko ja porausnopeus. Juotteenestomaskilla määritellään kohdat, joihin juotoksia ei haluta, kuten kuparialueet, tekstit ja 2D-viivat. [13, s. 236–241, 114, 255–257.]

4.3 Esimerkkituotantoympäristö Electria

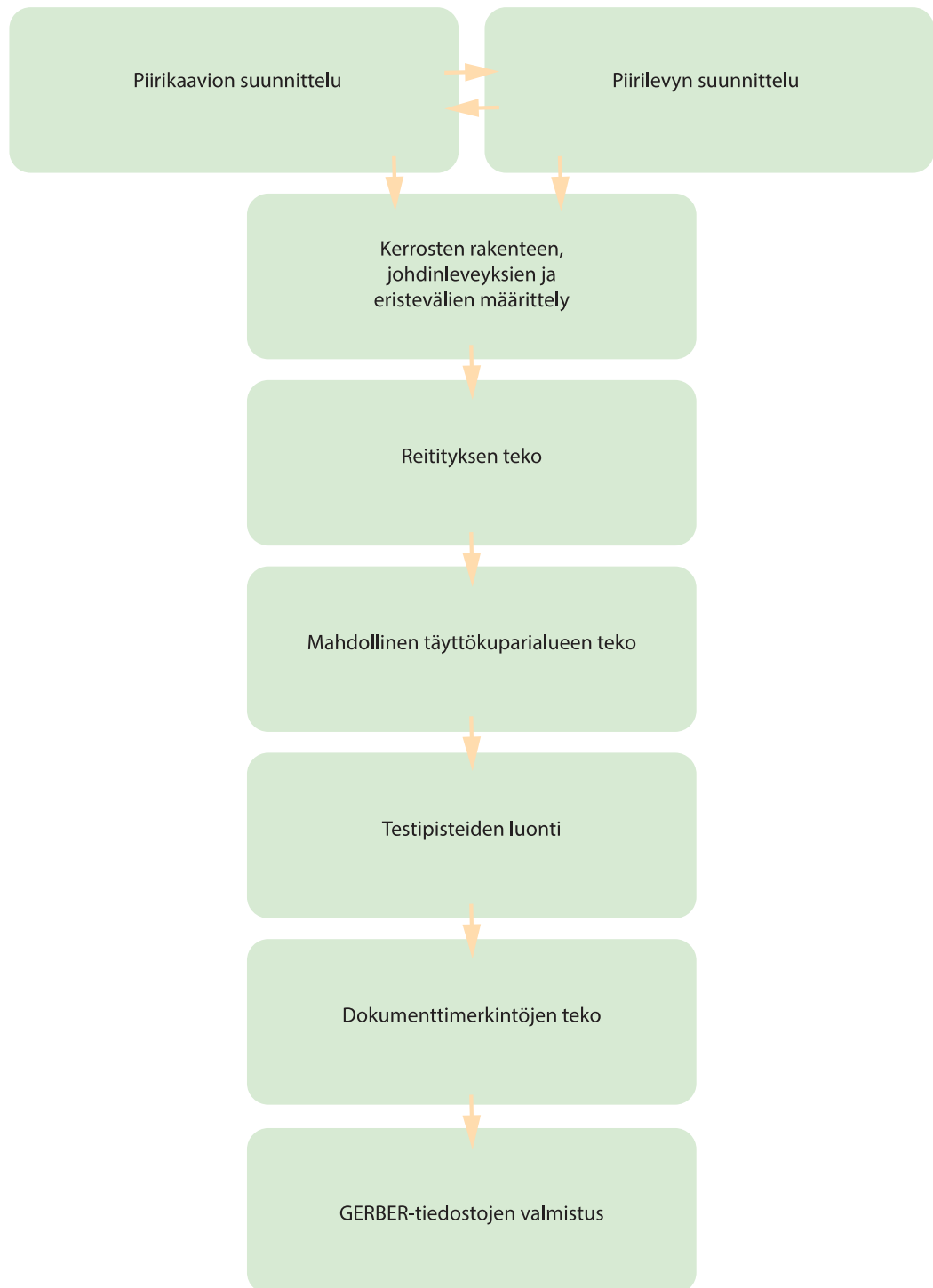
Electria on Metropolian omistuksessa oleva soveltavan digiteknologian tutkimus- ja kehitysyksikkö. Electriassa tutkitaan käyttäjälähtöistä suunnittelua, langatonta anturi-teknologiaa ja sulautettuja järjestelmiä. Sen yhteydessä on myös koetuotantotehdas ja RFID-laboratorio, joka on RFID-tekniikan esittelytila ja koulutuspaikka. [28.] Electrian koetuotantotehtaan koneet toimivat suunnilleen kahtena päivänä arkiviikossa, ja tuotannossa on töissä yksi tai kaksi työntekijää. Koetuotantotehtaalla ei ole harjoittelijoita, mutta tiloja käytetään joskus myös opetuskäyttöön. Tässä insinööriyössä perehdytään ainoastaan Electrian koetuotantotehtaaseen, johon viitataan jatkossa Electriana.

Electriassa valmistetaan asiakastilauksena piirilevyjä ja tehdään tutkimus- ja koetuotantotöitä. Asiakastöiden valmistus alkaa asiakkaan lähettämän piirilevytiedoston tarkistamisesta. Piirilevypohjat tilataan alihankintana, ja tilauksen tekee joko asiakas tai Electria. Electriassa kalustetaan valmis piirilevypohja. Valmiin piirilevypohjan päälle levitetään juotospasta, joka tehdään yleensä DEK horizon pastapainokoneella. Kone levittää juotospastan stensiilin apertuurien läpi raakelin avulla piirilevyn päälle. Stensiili on yleensä metallinen ohut levy, jossa on aukkoja, joita kutsutaan apertuureiksi. Tämän jälkeen levy siirtyy ladontakoneelle, joka lataa elektroniikkakomponentit piirilevyn oikeisiin kohtiin, joihin juotospasta on levitetty. Komponenttien syöttö voidaan tehdä joko tikku- tai nauhasyöttimillä. Alipaineella toimiva poimintapää asettaa komponentin piirilevyn oikeaan kohtaan. Komponenttien ladonnan jälkeen piirilevy siirtyy ERSA Hotflow 2/14 reflow -uuniin, jossa juotoskohdat ensin sulavat korkeassa lämpötilassa ja sitten jähmettyvät jäähdytyksen aikana. Seuraavaksi piirilevy siirretään juotospalettiin, ja se kuljetetaan ERSA N-Wave 330 -aaltojuotuskoneeseen. Aaltojuotuskoneessa levy puhdistetaan sprayflukserissa, sen jälkeen se kulkee esilämmitysvaiheiden läpi ja viimeisenä levyn pohja vedetään tina-aallon yli.

Pastapainokoneen stensiili on metallinen levy, jossa on aukkoja niillä kohdilla, mihin juotospastaa halutaan levittyvän. Stensiili valmistetaan laserilla leikkaamalla, sähkömuovaamalla (engl. electroforming) tai etsaamalla. Pastan painaminen on tehty ennen silkipainamalla, ja nykyinen stensiili-menetelmä muistuttaakin hyvin paljon silkipainoa. Kun pastaa painetaan stensiilin avulla, ei tarvita seripainossa käytettävää seula-kangasta, jolloin painettava pinta on täysin peittävä. Lisäksi metallinen stensiili kestää kymmeniä tuhansia painokertoja. [12.]

4.5 Elektroniikan suunnitteluprosessi

Painetun virtapiirin suunnitteluprosessissa on monia vaiheita. Vaiheiden määrä ja järjestys riippuvat valmistettavan virtapiirin monimutkaisuudesta ja tekijän omista mieltymyksistä. Lisäksi virtapiirin valmistavalla yrityksellä saattaa olla omia vaatimuksiaan suunnittelun ja valmistettavien tiedostojen suhteen. Pääkohdat suunnittelussa ovat piirikaavion ja piirilevyn suunnittelu. Näitä kahta voidaan valmistaa rinnakkain, mutta kuitenkin niin, että piirikaavio valmistuu ensin ja sen mukaan piirilevyn suunnittelu saadaan päätökseen. Kuviossa 3 on havainnollistettuna painetun piirilevyn suunnittelun prosessi. Kuviossa piirikaavion ja piirilevyn suunnitteluosiot on merkitty ylimmiksi, eli ensimmäisiksi. Niiden alapuolella näkyvät kohdat kuitenkin oikeastaan sisältyvät piirikaavion tai piirilevyn suunnitteluun. Suunnitteluprosessi ei ole välttämättä virtaviivainen ja ylempää alempaan siirtyvä, vaan suunnittelussa tarkistetaan ja korjataan myös edellisiä kohtia. Osa prosessikuvaukseen merkityistä kohdista voi myös valmistua automaattisesti suunnitteluohjelman tekemänä, eli kohtia ei tarvitse välttämättä itse toteuttaa. Kohdat on kuitenkin valittu prosessikuvaukseen sen perusteella, kuinka olennaisia ne kokonaisprosessin kannalta ovat.



Kuvio 3. Perinteisen piirilevyn suunnitteluprosessi.

Kuten jo aiemmin mainittu, elektroniikan suunnitteluprosessissa pääkohdat ovat piirikaavion suunnittelu ja piirilevyn suunnittelu. Niistä tehdään ensin piirikaavio ja sitten piirilevysuunnitelma, kuitenkin niin, että piirilevyä voidaan suunnitella samaan aikaan piirikaavion kanssa. Piirilevyn suunnittelu sisältää oikeastaan kuviossa 3 olevat alakohdat. Voitaisiin siis sanoa, että piirilevyt suunnitellaan tekemällä ensin piirikaavio ja sitten suunnittelemalla itse piirilevy. Piirilevyn kerrosten rakenteen, johdinleveyksien ja eristevälin määrittely tehdään yleensä ennen, kuin piirilevyä aletaan suunnitella. Nämä määrittelyt ovat piirilevysääntöjä, joiden mukaan piirilevy suunnitellaan. Piirilevyn suunnittelun vaiheista reitityksen teko on tärkeä. Mikäli reititys tehdään väärin, voi piirilevyllä syntyä oikosulku tai siinä ei kulje virta ollenkaan. Täyttökuparialueen teko tai testipisteiden luonti ei ole pakollista. Dokumenttimerkintöjä ei välttämättä tarvitse tehdä manuaalisesti, vaan ne tulevat suunnitteluohjelmasta automaattisesti levyille. Viimeinen vaihe piirilevyn suunnittelussa on GERBER-tiedostojen valmistus. Tämän jälkeen tiedostot yleensä arkistoidaan.

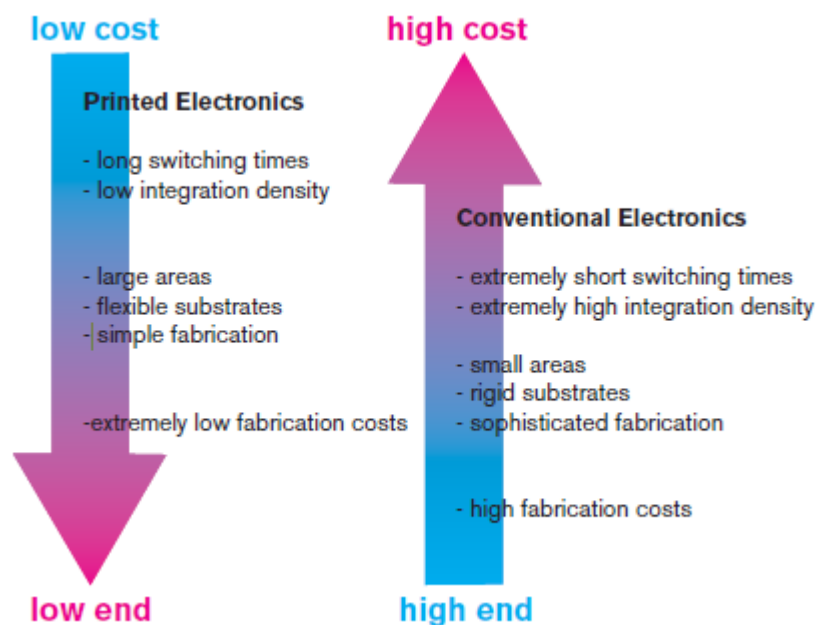
5 Painettu elektroniikka

Painettu elektroniikka tarkoittaa perinteisin painomenetelmin tai digitaalisesti tulostamalla valmistettua toiminnallista tuotetta. Painetun elektroniikan painoalustalla ei ole suuria rajoituksia, joten se voi olla paperia, muovia, tekstiiliä ja niin edelleen. [30.] Painetusta tuotteesta saadaan toiminnallinen käyttämällä painamiseen esimerkiksi johtavia painovärejä. Johtavien painovärien avulla voidaan valmistaa sähköä johtavia piirejä ja puolijohteita tai vaikka transistoreita. [31, s. 66.] Johtavat painovärit koostuvat yleensä nanopartikkeleista, jotka ovat jonkinlaisessa dispersiossa, kuten vedessä, tolueenissa tai etyleenissä. Lisäksi painovärit voivat sisältää muita ominaisuuksia parantavia lisäaineita. Painoväriin johtavuus saadaan aikaan painamisen jälkeen tehtävällä sintrausprosessilla, joka tehdään yleensä lämmön avulla. Tällöin painetusta painoväripinnasta haihtuvat ylimääräiset lisäaineet ja jäljelle jää johtava pinta. Hopeapohjaisia värejä käytetään painetussa elektroniikassa eniten hopean matalan resistiivisyyden takia. Myös hopean sintrausprosessi on hyvin yksinkertainen, ja sen voi tehdä lämmitämällä painettua pintaa uunissa. [32, s. 1685.]

Painetun elektroniikan hyöty verrattuna perinteiseen elektroniikan valmistukseen on sen edullisuus yksinkertaista elektroniikkaa valmistettaessa. Painetussa elektroniikassa hinta rakentuu eri tavalla kuin perinteisessä elektroniikan valmistuksessa. Painettu

elektroniikka kilpailee perinteisen elektroniikan valmistuksen menetelmien (esim. optinen litografia) kanssa. Painetun elektroniikan valmistusmenetelmissä on kuitenkin omia hyviä puolia, joita perinteisellä elektroniikan valmistuksella ei ole. Näitä ovat esimerkiksi räättälöityjen tuotteiden helppo valmistus, joustavien materiaalien hyödyntäminen ja herkkien substraattien käytön mahdollisuus kontaktittoman painoprosessin ansiosta. Valmistusprosessin kannalta suurin hyöty painetussa elektroniikassa verrattuna perinteiseen elektroniikkaan on materiaalihukan pienuus, laitteiden aloituskustannusten mataluus ja niiden laitteiden kunnossapidon helppous. [33.]

Perinteisen ja painetun elektroniikan valmistuksen eroja on havainnollistettu kuvassa 2. Kuvasta nähdään, että juuri yksinkertaista elektroniikkaa valmistettaessa painaminen valmistusmenetelmänä on kustannustehokkaampaa kuin perinteinen valmistustapa. Toisaalta taas monimutkaista silikonipohjaista elektroniikkaa ei kannata yrittää painamalla valmistaa. [6, s. 67.]



Kuva 2. Perinteisen ja painetun elektroniikan valmistuksen erot yksinkertaista ja monimutkaista elektroniikkaa valmistettaessa [6, s. 67].

Elektroniset komponentit voivat olla joko passiivisia tai aktiivisia. Yksinkertaisimmat komponentit ovat passiivisia ja niihin kuuluvat johdot, resistorit, induktorit ja antennit. Aktiivisiin komponentteihin taas luetaan esimerkiksi transistorit, diodit, patterit ja aurinkokennot. [34, s. 8.]

Painetussa elektroniikassa valmistustapa vaikuttaa lopputuotteen monimutkaisuuteen. Kun valmistus tehdään hitaalla menetelmällä puhdashuonetilassa, saadaan aikaan korkealaatuista elektroniikkaa. Toisaalta kun käytetään rullalta rullalle -prosessia nopealla vauhdilla, saadaan aikaan matalakustanteisia tuotteita, mutta tuotteen laadunhallinta on rajatumpaa. [34, s. 13.]

5.1 Lisäävä prosessi

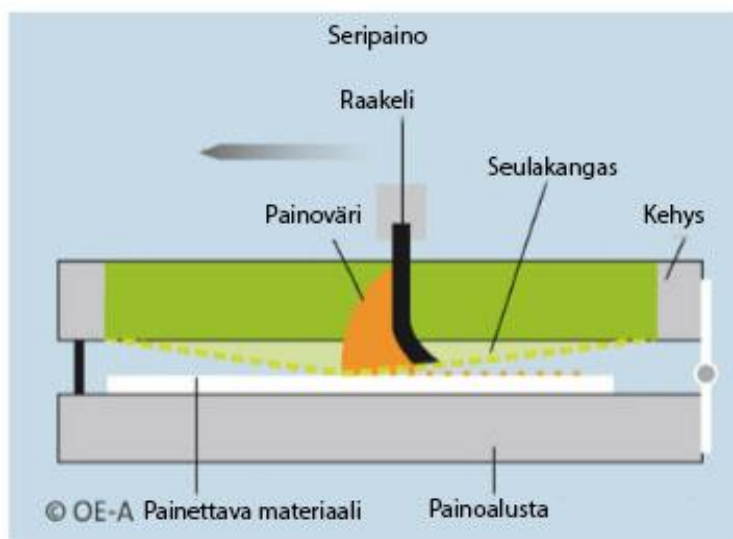
Kaikki painomenetelmät ovat lisääviä prosesseja. Lisäävät älypainomenetelmät ovat sellaisia, joissa painopinta ei ole alkuvaiheessa millään tavalla toiminnallinen, vaan toiminnallisuus saadaan lisäämällä pinnalle toiminnallisuutta mahdollistavia substraatteja [7, s. Vii]. Lisäävien prosessien hyöty on siinä, ettei materiaalihukkaa juurikaan ole verrattuna poistaviin prosesseihin.

Tässä luvussa esitellään älypainamiseen soveltuvia painomenetelmiä ja arvioidaan niiden sopivuutta älypainotuotteiden tekoa varten. Massatuotantoon parhaiten soveltuvat painomenetelmät ovat seripaino, syväpaino, offset ja fleksopaino. Digipainamisen ajonopeus ei vielä yllä massatuotantoon parhaiten sopivien painomenetelmien tasolle. Digipainaminen, ja varsinkin mustesuihkutekniikka on kuitenkin koko ajan lisääntymässä ja sen tekniikkaa kehitetään jatkuvasti. [7, s. 16–17.]

Seripaino

Seripainaminen sopii elektroniikan painamiseen hyvin, ja se onkin käytännössä tällä hetkellä ainoita tuotantomittaisia painotekniikoita, joita hyödynnetään älypainamisessa. Seripainossa käytettävät painovärit ovat tyypillisesti melko korkeaviskoosisia ja pasta-maisia. Korkeaviskoosisempi painoväri siirtyy tarkemmin seulakankaan läpi painoalustalle eikä leviä. [35, s. 12; 36.] Seripainossa käytettävällä painovärillä täytyy kuitenkin olla hyvät virtausominaisuudet, jotta se siirtyy hyvin seulakankaan läpi. Seripainamalla painaminen onnistuu lähes mille tahansa materiaalille. [11, s. 91, 130.] Seripainokone voi olla tasokone tai rotaatiokone, joka toimii rullalta rullalle [36.] Seripainamisessa hyödynnetään painokaaviota, johon painoaihe on sisällytetty. Painoaihe kiinnitetään seulakankaaseen, jonka päälle painoväri levitetään ja jonka läpi väri puristetaan kumisen raakelin avulla. Väri siirtyy seulakankaan läpi painoalustalle niiltä osin, kuin paino-

kaavio on suunniteltu. Kaavio tukkii ei-painavat pinnat, joiden läpi painoväri ei pääse siirtymään (kuva 3). [11, s. 88.]



Kuva 3. Seripainotekniikka [7, s. 17].

Seripainotekniikalla valmistettavassa elektroniikassa haasteena on rajallinen resoluutio ja se, että tekniikka vaatii melko korkeaviskoottisen painovärin. Seripainoväreissä on sideaineita, jotka tekevät väristä korkeaviskoottisempaa. Sideaineet eivät välttämättä poistu kuivauksen aikana, ja ne eivät ole johtavia. Tämä tekee painetusta pinnasta resistiivisempää kuin painamattomasta pinnasta. Tämän takia seripainetussa elektroniikassa johtavista pinnoista täytyy tehdä suurempia tai paksumpia. Seripainon matala resoluutio rajoittaa esimerkiksi antennien valmistusta, sillä tiettyjen antennien induktanssi vaatii korkeaa linjatiheyttä eikä sellaista saavuteta matalalla resoluutiolla. Tämän takia seripainomenetelmällä ei oikeastaan voida valmistaa esimerkiksi HF-taajuuksisia (High Frequency) RFID-tunnisteita. [35, s. 12.]

Seripainon prepress-prosessissa tehdään värierottelu, sillä jokainen osaväri painetaan oman painokaavion läpi. Lisäksi prepress-prosessissa tulostetaan tai leikataan painokaavio. Yleensä painoaihe tulostetaan läpinäkyvälle kalvolle, jonka avulla kaavio valotetaan seulakankaalle levitetulle valoherkälle emulsiolle. Tulostetut mustat alueet jäävät valottumatta, jolloin ne huuhtoutuvat pesuvaiheessa pois, läpinäkyvät alueet taas kovettuvat ja muodostavat ei-painavan alueen seulakankaalle. [11, s. 90.] Seripainon prepressissä ei siis tarvitse ajatella painettavia alueita negatiivisina kuvina, mutta painettavat osavärit täytyy erotella omille painokaavioilleen. Älypainaessa osavärien erotte-

lu tarkoittaisi käytännössä eri kemiallisten valmisteiden erottelua painamista varten. Jokaista vaadittua toiminnallista substraattia varten tehtäisiin oma painokaavio.

Syväpaino

Syväpaino on suurille painosmäärille sopiva painomenetelmä. Se ei sovellu pienille painosmäärille, sillä painosylinterien valmistus on monivaiheista ja kallista, jolloin aloituskustannukset nousevat korkeiksi. Syväpainomenetelmä perustuu siihen, että painava pinta on ei-painavaa pintaa alempana kuparipintaisella painosylinterillä. Painosylinteri kastellaan kokonaan painoväriin, minkä jälkeen sen pinnalta pyyhitään ylimääräinen väri raakelitelan avulla pois. Painoväri siirretään puristustelan avulla nipissä painoalustalle. Syväpainossa kaikki painettavat elementit rasteroidaan ja käytettävä painoväri on matalaviskoottista.

Toisin kuin muissa perinteisissä painomenetelmissä, syväpainossa painoaiheeseen voidaan tehdä korjauksia vielä levynvalmistuksen jälkeen. Painosylinterin rasterikuppeja voidaan lisäsyövyttää tai hioa, jolloin painettava pinta tummenee tai vaalenee. Syväpainossa jokaiselle painovärille on oma yksikkönsä, ja koneen lopussa on kuivausyksikkö. Kuivausyksikössä painoväristä haihdutetaan liuottimet. [11, s. 64.] Syväpainon hyvä puoli on sen painonopeus ja laatu. Laatu rajoittavana tekijänä on kuitenkin rasteripisteiden pakollisuus ja se, että ne ovat silmin havaittavissa. [6, s. 71.] Syväpainolla on kuitenkin pystytty valmistamaan parempilaatuista painojälkeä kuin seripainolla. Syväpainolla pitäisi pystyä valmistamaan HF-taajuuden RFID-antenneja sen korkeamman resoluution ansiosta. Kuitenkin syväpainon painovärit täytyisi saada matalaresistiivisiksi tarpeeksi pienellä linjatiheydellä. [35, s. 15.]

Offsetpaino

Offsetpainokoneita voi olla arkkioffsetkoneita tai offsetrotaatiokoneita. Offsetin painomenetelmä perustuu öljyn ja veden erilaisiin pintajännityksiin ja siihen, että ne hylkivät toisiaan. Offsetissa painolevy on täysin tasainen ja sille levitetään kostutusvettä, joka levittyy ainoastaan painolevyn ei-painaville pinnoille. Tämän jälkeen levyllä levitetään painoväri, joka on öljypohjainen ja leviää sen myötä ainoastaan painaville pinnoille. Painoväri siirtyy kumisylinterin kautta paperille. Offsetin painoväri on korkeaviskoottista, ja painolevyt on valmistettu yleensä alumiinista. Painolevyt on pinnoitettu valoherkällä kalvolla, ja levy voidaan valottaa positiivi- tai negatiivifilmin avulla tai tulostamalla pai-

noaihe suoraan levyille (CTP engl. Computer To Plate). Offsetpainokoneissa voi olla eri määrä painoyksiköitä, mikä vaikuttaa painettavien värien määrään. Yhdellä ajolla voidaan painaa yhdestä jopa kymmeneen väriä. Yleisimpiä ovat 1-, 2- ja 4-värikoneet.

Prepressissä täytyy ottaa huomioon painettavan tuotteen värillisuus ja koneen kapasiteetti. Jokaista osaväriä varten valmistetaan omat painolevyt, ja jokainen osaväri painetaan siis omassa painoyksikössään. [11, s. 47–55.] Offsetpainokone voi olla heatset- tai coldset-offsetkone. Heatset-offsetkoneissa on kuivausyksikkö painokoneen peräosassa. Coldset-offsetkoneissa painoväri ei vaadi kuivausyksikköä ollenkaan. Älypainamisessa johtavuuden toteutumisen kannalta kuivausyksikkö on tarpeen, joten coldset-offsetkone ei ole siihen soveltuva. Lisäksi offsetin vaatima korkeaviskoottinen ja öljypohjainen painoväri tuo elektroniikan painamiseen haasteita, mutta sen korkea volyyymi ja alhaiset kustannukset suurissa painoerissä ovat kuitenkin haluttuja ja tärkeitä ominaisuuksia. Offsetin suuret painosmäärät ovat mahdollisia muun muassa tasaisen painolevyn ansiosta. [6, s. 71.]

Fleksopaino

Fleksopaino eroaa muista perinteisistä painomenetelmistä siten, että siinä käytettävät painolevyt tai -laatat ovat joustavia. Fleksopaino on kohopainomenetelmä, eli painava pinta on ei-painavaa pintaa korkeammalla painolevyssä. Fleksopainomenetelmällä voidaan painaa paperille, kartongille, aaltopahville, muoville ja erilaisille laminaateille. Joustava painolaatta mahdollistaa painamisen niin karhealle kuin sileällekin pinnalle ja päällystetyille että päällystämättömälle pinnalle. Fleksopainossa käytettävä painoväri on matalaviskoottista ja juoksevaa. Matalaviskoottisuus mahdollistaa vesipohjaisten painovärien käytön ja pienemmän nippipuristuksen riittävyden painokuvion toistoon. Fleksopainon resoluutio on heikompi verrattuna offsetiin tai syväpainoon.

Myös fleksopainossa jokaista osaväriä varten valmistetaan oma painolaatta. Painolaatan valmistus tehdään joko UV-valolla valottamalla tai suoraan levyille laservalotuksella tulostamalla. [11, s. 75–88.] Fleksopainolla ei yleensä valmisteta HF-taajuuden RFID-antenneja sen vaatiman korkean resoluution puutteen vuoksi [35, s. 15]. Fleksopainossa liian suuri nippipuristus aiheuttaa värin leviämisen painokuvion reunoille. Tämä ilmiö on perinteisesti graafisessa teollisuudessa ei-haluttu. Elektroniikan painamisessa värin leviämistä voisi kuitenkin käyttää hyväksi. Yhdellä viivamaisella kuviolla voitaisiin

painaa niin suurella nippipuristuksella, että viivan molemmin puolin syntyisi kaksi pientä viivaa eikä väri levittyisikään itse ”painavalle” pinnalle.

Digipainaminen

Digipainaminen, toisin kuin muut edellä esitellyt painotekniikat, perustuu NIP- eli Non Impact -painotekniikan käyttöön. Tämä tarkoittaa, ettei digipainamisessa painamista varten tarvita fyysistä kontaktia väriä siirtävän pinnan ja painoalustan välille. [11, s. 92.] Digitaalisista painomenetelmistä yleisimpiä ovat mustesuihkutekniikka ja elektrofotografia. Mustesuihkutulostimia on myös kahdenlaisia: jatkuvasyöttöisiä (engl. Continuous stream) ja pisara kerrallaan tulostavia (engl. Drop on demand). Pisara kerrallaan tulostavien mustesuihkutulostinten tulostuspäät ovat joko pietsosähköteknisiä tai lämpöteknisiä. [3.]

Digipainamisen etu perinteisiin painomenetelmiin verrattuna on sen joustavuus ja aloituskustannusten pienuus. Digipainomenetelmällä on mahdollista valmistaa jokaisesta tulosteesta erilainen ilman lisäkustannuksia, sillä painolevyjä ei tarvitse erikseen valmistaa. Lisäksi digipainoprosessissa virheitä voidaan korjata kesken tuotannon eikä prosessia tarvitse pysäyttää ja aloittaa kokonaan alusta. [7, s. 17; 6, s. 72.] Digipainamisessa käytetyt painovärit ovat kaikkein matalaviskoottisimpia verrattuna muihin perinteisiin painomenetelmiin. Matalan viskoottisuutensa ansiosta digipainamisen painoväreissä ei ole pakko olla sideaineita, jotka laskisivat värin johtavuusominaisuuksia. [35, s. 16.] Räätelävytytensä ansiosta digipainaminen sopii hyvin painetun elektronikan koetuantoja varten. Digipainamalla voidaan matalilla kustannuksilla suunnitella ja kokeilla erilaisten tuotteiden valmistusta.

5.2 Poistava prosessi

Poistava prosessi älypainamisessa tarkoittaa käytännössä poistavaa kuviointia (engl. patterning) [7, s. 17]. Painamiseen voidaan yhdistää poistavia prosesseja, kuten etsausta, laserprosesseja tai nanopainatuslitografia. Poistavien prosessien lisäksi monilla eri päällystystekniikoilla, kuten lakkauksella tai laminoinnilla, saadaan lisättyä tuotantoprosessimahdollisuuksia. [30.] Tässä luvussa keskitytään poistavia prosesseja hyödyntävien tuotteiden suunnittelun tutkimiseen.

Tasoleikkuri

Kosteusanturit tehtiin painolaboratoriossa raaputtamalla ja leikkaamalla tasoleikkurilla hillinanoputkikalvoa. Tätä voi kutsua poistavaksi prosessiksi, sillä materiaali on valmiiksi johtavaa ja leikkurilla saadaan muodostettua hallittuja johtavia alueita, jotta anturi toimii halutulla tavalla. Menetelmässä ei siis lisätä mitään, mikä aiheuttaisi lopputuotteen toiminnallisuuden, vaan poistetaan johtavuutta tietyiltä osin. [7, s. 17–18.] Leikkurille suunniteltavissa tiedostoissa viivojen paksuudella ei ole merkitystä, sillä leikkurin terän paksuus on vakio aineistosta riippumatta. Leikkuria varten suunnitellaan siis vektorikuva, jonka mukaan leikkuri leikkaa tai raaputtaa irti piirretyn alueen. Mikäli tasoleikkurilla halutaan sekä raaputtaa että leikata, täytyy molempia kuvioita varten tehdä omat vektorilinjat ja asettaa ne omille tasoille samaan tiedostoon. Leikkurin RIPillä määritetään, kumman tason linja on kokonaan leikkaava ja kumman linja raaputetaan.

Laserleikkuri

Laserleikkurilla voidaan kaivertaa, merkitä tai leikata eri materiaaleja. Graafisella alalla laserleikkuria voidaan käyttää tasoleikkurin tavoin tuotteiden puhtaaksi leikkaamiseen ja muotoon leikkaamiseen, mutta myös tuotteiden personointiin. Perinteisellä laserilla voidaan leikata paperia, pahvia ja vaahtolevyä. CO₂-toiminnollisilla hybridilasereilla voidaan kaivertaa esimerkiksi muovia, puuta, lasia, kumia ja nahkaa. [37.] Laserleikkuri voi olla tasoleikkurin tapainen tai esimerkiksi 3D-tulostimessa oleva laserpää. Tasoleikkurin tavoin toimivaan laserleikkuriin valmistetaan aineisto samoin kuin mekaaniselle tasoleikkurille. Laserleikkurin RIPillä määritetään, millaista materiaalia käsitellään ja halutaanko sitä personoida vai leikata kokonaan irti.

Etsaus

Etsauksessa hyödynnetään kemiallista syöpymisreaktiota. Etsaaminen, jota kutsutaan myös viivaetsaamiseksi, syntyy raaputtamalla vahalla päällystetyn metallin pintaan kuvio. Levy kastetaan happoon, joka syövyttää levyn pintaa raaputetuista kohdista, kun vaha suojaa levyä muilta osin. [38.] Etsausmenetelmässä siis poistetaan levyn pinnalta metallikerrosta kemiallisen syövytysreaktion avulla. Etsausta hyödynnetään painettujen piirilevyjen valmistuksessa.

5.3 Esimerkkituotantoympäristö Metropolian digipainolaboratorio

Tässä insinööriyössä älypainamisen tuotantoympäristönä tutkittiin Metropolian digipainolaboratoriota. Painolaboratoriota käytetään sekä asiakastöiden tekoon että opetuskäyttöön. [38.] Digipainolaboratoriossa on laboratorioinsinöörin lisäksi lähes aina työskentelemässä yksi harjoittelija. Painolaboratoriossa tehdään asiakastöitä päivittäin vaihtelevalla volyymillä, ja niiden lisäksi tiloja ja koneita käytetään opetuksessa. Painolaboratoriossa on mustesuihkutulostimia ja elektrofotografinen digipainokone. Jälkikäsitteilyyn sopivia laitteita painolaboratoriossa ovat esimerkiksi giljotiinileikkuri, rullaleikkuri, tasoleikkuri ja pöytälaminoitinkone.

Digipainolaboratoriossa valmistettujen kosteusantureiden valmistamista varten tarvittiin seuraavia laitteita:

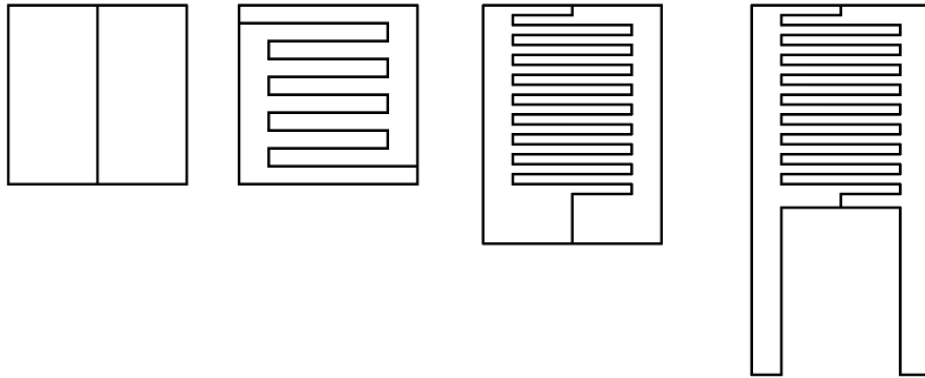
- työasema (Apple iMac)
- skanneri (Epson Perfection 3200 Photo)
- RIP ohjelma (Mirage)
- tasoleikkuri (Graphtec Cutting Pro)
- pöytälaminoitinkone (Linea DH-360).

Mainittujen laitteiden lisäksi saatettiin valmistustavasta riippuen tarvita käsin käytettävää giljotiinileikkuria. Digipainolaboratorio toimi tehdyssä insinööriyössä hyvänä suunnittelu- ja kokeiluympäristönä. Painolaboratoriossa ei kuitenkaan olisi järkevää tehdä antureita tuotannollisessa mittakaavassa. Painolaboratorion laitteisto sopi hyvin koeerien tekoon, sillä laitteiden käyttö on suhteellisen helppoa ja nopeaa. Ainoastaan laminoitinkoneen käyttö vaati koneen lämpenemistä, johon meni noin puoli tuntia aikaa.

Digipainolaboratoriossa työskennellessä täytyi ottaa huomioon muu tiloissa tapahtuva toiminta. Laboratoriossa saattoi olla opetusta, tai laitteilla tehtiin asiakastöitä samaan aikaan, kun projektia olisi tehty. Tästä syystä oli parasta työskennellä laboratoriotiloissa ilta-aikaan, jolloin tiloissa ei ollut enää muita.

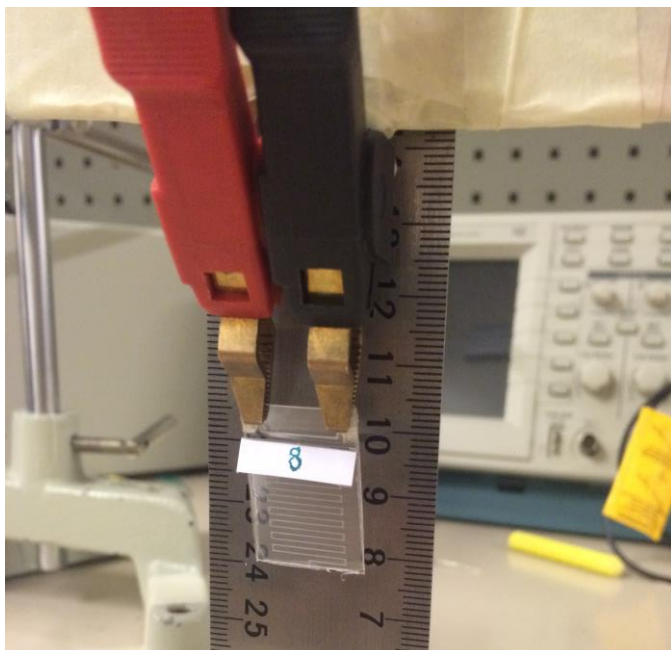
5.4 Älypainetun kosteusanturin suunnittelu

Kosteusantureiden valmistusprosessin ensimmäinen vaihe oli anturimuodon suunnittelu. Suunnittelu ei itsessään vie paljoa aikaa, sillä anturimuodot on kohtuullisen helppoa piirtää tietokoneella vektoripiirustusohjelmalla. Projektin puitteissa suunniteltiin erilaisia anturimuotoja, joista esimerkkejä näkyy kuvassa 4.



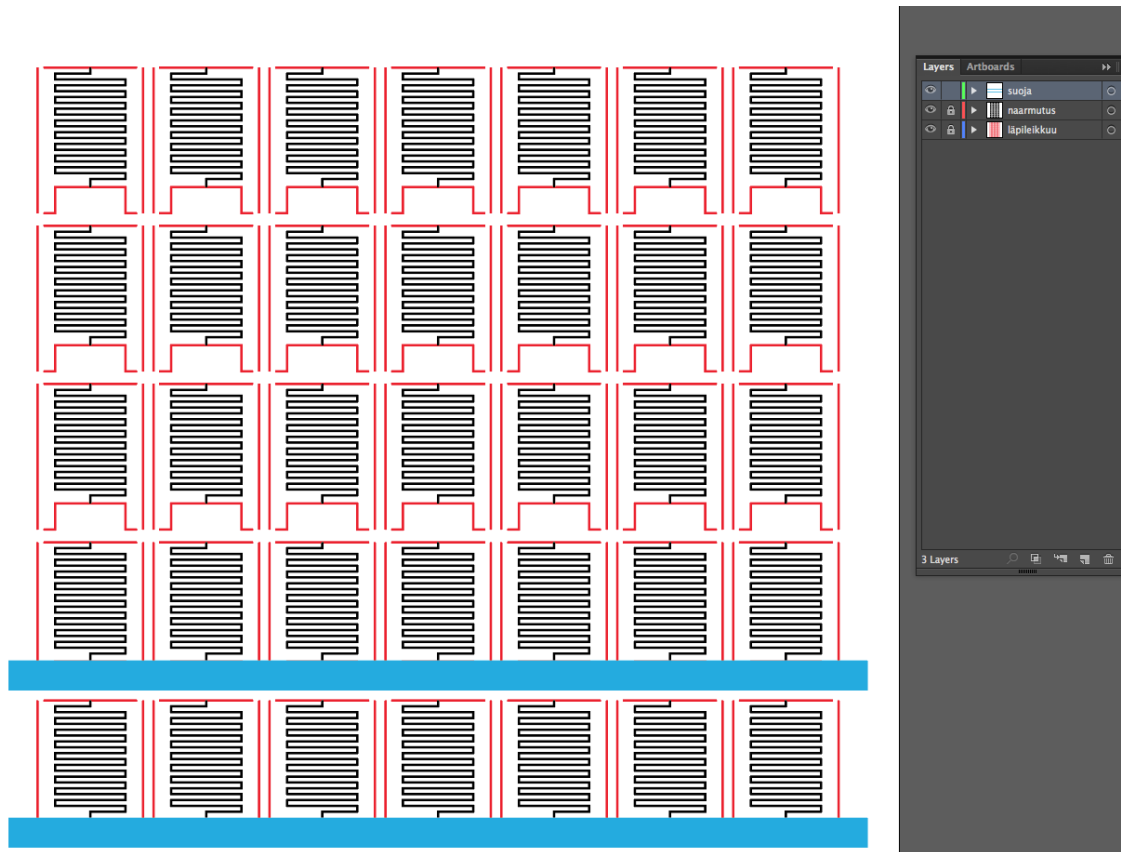
Kuva 4. Älypainettujen kosteusantureiden erilaisia suunnitelmia.

Jokainen valmistettava anturimuoto vaatii omat testauksensa eri kosteus- ja lämpötilaolosuhteissa. Antureiden testaaminen käytössä olevilla laitteilla on aikaa vievää, joten toimivaksi todettua muotoa kannattaa hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Tästä syystä tämän projektin puitteissa toteutettiin ja testattiin yhtä anturimuotoa (kuva 5).



Kuva 5. Painolaboratoriossa hiilinanoputkikalvosta valmistettu kapasitiivinen kosteusanturi.

Antureiden muoto suunniteltiin Adobe Illustrator CC 2015 -ohjelmalla. Illustratorilla onnistuu mittatarkan viivan piirtäminen, ja ohjelmasta saa tuotua suoraan leikkurille valmiin tiedoston. Vektorikuvioita suunnitellessa ei tarvitse tietää valmiin lopputuotteen kokoa, sillä vektorikuvioita voi suurentaa ja pienentää ilman, että laatu kärsii. Aluksi suunniteltiin, minkälainen kuvio anturiin tulee. Sitten päätettiin, leikataanko antennit kokonaan muovikalvosta irti vai raaputetaanko ainoastaan antureiden sisäosat ja leikataan anturit irti käsin. Antureiden irti leikkausta varten oli kaksi eri vaihtoehtoa: joko anturit leikattaisiin automaattisesti kokonaan irti raaputuksen jälkeen, tai anturit leikattaisiin melkein irti tasoleikkurilla, laminoitaisiin ja sitten leikattaisiin käsin irti. Vaikka laminointi on jälkikäsitteilyä eikä kuulu prepressiin, oli tässä tilanteessa päätettävä jo prepress-vaiheessa, miten tuotteet laminoidaan. Anturit olisi voinut leikata irti raaputuksen yhteydessä ja tehdä laminoinnin jokaiselle erikseen. Tämä olisi ollut hidasta ja aiheuttanut turhaa materiaalihukkaa. Tämän takia anturit päätettiin leikata automaattileikkurilla melkein irti arkista, minkä jälkeen jokaisen anturirivin ”jalkojen” päälle aseteltiin kerros eristävää materiaalia, joka suojasi jalkoja laminoinnilta. Laminoinnin jälkeen anturirivit leikattiin käsijäljotiinilla irti toisistaan, jolloin myös jalat saatiin eristeen alta esiin jälkikäsitteilyä varten. Tämä asemointi näkyy kuvassa 6. Kuvassa punaisella näkyvät linjat on asetettu läpileikkuu-tasolle ja mustat linjat naarmutus-tasolle. Siniset vaakapalkit ovat havainnollistamassa leikkuun jälkeen käsin asetettavaa suojausmateriaalia.



Kuva 6. Arkille asemoidut kosteusanturit. Punaiset linjat ovat läpileikattavia, mustat linjat naarmutettavia ja siniset palkit havainnollistamassa laminoinnilta suojaavaa materiaalia.

Painolaboratorion tiloissa tuotetut kosteusanturit valmistettiin hiilinanoputkilla johtavaksi saadusta läpinäkyvästä muovikalvosta, jota valmistetaan Canatulla. Se on yritys, joka valmistaa erilaisia CNB™ Film -hiilinanoputkikalvoja. Canatu ei itse valmista kalvoista lopputuotteita, vaan jälleenmyy niitä eteenpäin muille yrityksille, jotka voivat hyödyntää kalvoja omissa lopputuotteissaan. Canatu on kehittänyt, firman itsensä mukaan, maailman pisimmät yksiseinäiset hiilinanoputket. Canatun hiilinanoputkien yksiseinäisyyden ansiosta ne kestävät venymistä ja taipumista paremmin kuin moniseinäiset hiilinanoputket. Lisäksi putkien pituus auttaa hiilinanoputkirakenteen koossa pysymiseen taittelusta huolimatta. Hiilinanoputket ovat kalvon pinnalla kietoutuneet toisiinsa spagettimaisella tavalla, eivätkä ne katkeile tai irtoa helposti. Näiden ominaisuuksien ansiosta Canatun CNB™ Film -hiilinanoputkikalvot ovat sopivia taipuisien näyttöjen ja kosketuspintojen valmistukseen. [40; 41.]

Canatulta saatu CNB™ Film -hiilinanoputkikalvo oli antureiden tekoon sopivaa materiaalia ja helpotti suunnittelutyötä, sillä materiaali oli jo valmiiksi johtavaa. Canatun lahjoittama materiaali oli hukkatavaraa, joten arkit, joita projektia varten saatiin, eivät olleet

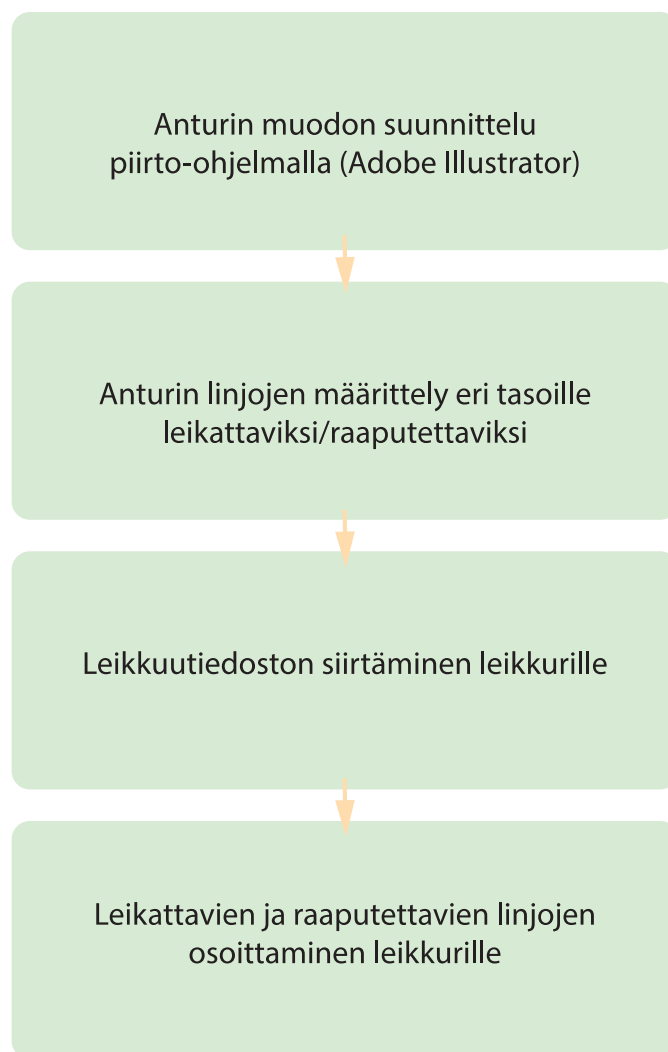
standardikokoisia eivätkä koko alueelta johtavia. Tästä syystä antureiden muodon suunnittelun jälkeen anturit täytyi asemoida arkille käsin. Asemointia varten arkit täytyi skannata, sillä arkeista ei pystynyt silmin havainnoimaan, miltä alueilta ne olivat johtavia ja miltä ei. Skannauksen jälkeen digitaalisessa muodossa arkista näkyivät tummempina alueina hiilinanoputkilla herkistetyt kohdat. Skannattu kuva tuotiin Adobe Illustratoriin asemointitiedoston taustalle. Anturit asemointiin skannatun kuvan päälle tummille alueille, jotta ne leikkausvaiheessa osuisivat hiilinanoherkkiin kohtiin. Tässä vaiheessa oli tärkeää pitää huoli siitä, että arkki pysyi koko prosessin ajan samoin päin. Arkkeihin tehtiin ennen skannausta käsin merkinnät, joiden mukaan arkki asetettiin leikkurille samoin päin kuin se oli asemoinnissa.

Asemoinnin jälkeen vektoritiedoston linjat määritettiin kahdelle eri tasolle, niin että irti leikattavat ja raaputettavat linjat olivat eri tasoilla. Tiedostosta piilotettiin taustalla ollut skannattu kuva, jolloin pelkät leikkuulinjat jäivät näkyviin. Leikkuutiedosto tallennettiin .ai-muotoon eli Adobe Illustratorin omaan tiedostomuotoon. Illustratorilla piirretyt vektoritiedostot voidaan myös tallentaa vektoreita varten kehitettyyn EPS-muotoon tai vektoreita tukevaan PDF-muotoon [42]. Anturitiedoston tallennuksen jälkeen se avattiin tasoikkurin RIP-ohjelmalla. RIPillä määritettiin, mitkä linjat tiedostosta leikataan irti ja mitkä raaputetaan.

Kapasitiivisten kosteusantureiden suunnitteluprosessi ja prepress-osuus oli tutkitussa tuotantoympäristössä melko yksinkertainen. Prosessia voitaisiin kuitenkin automatisoida niin, että hiilinanoputkiarkkeja varten tehtäisiin valmiit asemoinnit kosteusantureille. Projektissa käytössä olleet arkit olivat kaikki hieman erikokoisia, joten arkit täytyi skannata ennen antureiden asemointia tiedostoon. Mikäli antureita valmistettaisiin tuotantomittakaavassa, tulisi arkkien olla tasakokoisia, jolloin skannausta ei tarvitsisi tehdä. Tuotantomittakaavassa standardoituja erikokoisia arkkeja varten olisi valmiit asemoidut tiedostot, jotka kulkisivat tuotannon läpi automaattisen työnkulun avulla. Mikäli arkkeja ei olisi mahdollista saada tasan samankokoisina, olisi automatisointia silti mahdollista tehdä, esimerkiksi Illustratoriin tehtävien actionien eli automaattisten toimintojen avulla. Arkkien skannauksen jälkeen skannatusta kuvasta voisi valita automaattisesti tummemmat skannatut alueet, ja näille tummille alueille voisi automaattisesti asemoida haluttu määrä halutun kokoisia antureita.

5.5 Painetun elektroniikan suunnitteluprosessi

Painetun elektroniikan suunnitteluprosessi on melko yksinkertainen ja suoraviivainen. Anturin muodon suunnitteluprosessi onnistuu yhdellä tietokoneen piirto-ohjelmalla, joka esimerkkiprosessissa oli Adobe Illustrator. Koko suunnitteluprosessi on kuvattu kuviossa 4.



Kuvio 4. Älypainetun kapasitiivisen kosteusanturin suunnittelu.

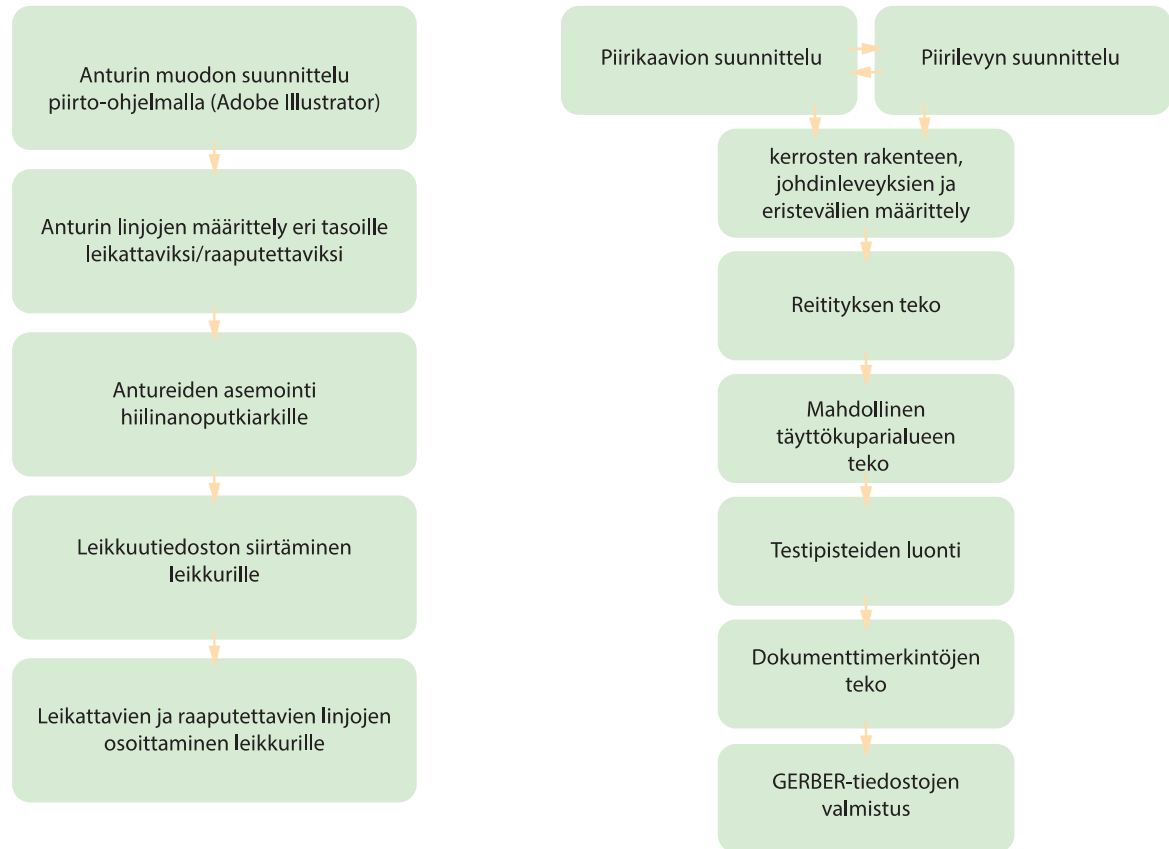
Painetun kosteusanturin suunnittelussa eniten aikaa vievä osuus on itse anturin muodon suunnittelu. Anturimuotoja voi olla monenlaisia, ja niistä paras löytyy testaamalla. Muodon suunnittelun jälkeen tulee vektoriviivat siirtää omille tasoilleen sen mukaan, tullaanko viiva leikkaamaan irti vai vain raaputtamaan kalvon pintaan. Viivat on yksinkertaista pitää omilla tasoillaan, jotka on nimetty sen mukaan, leikataanko vai raaputetaanko ne. Tällöin voidaan muokata pelkästään raaputuslinjoja tai leikkuulinjoja, ilman että toiset ovat tietokoneen näytöllä esillä. Anturit tulee asetella arkille sen koon ja johdattavien pintojen mukaan. Asettelussa tulee ottaa huomioon tilankäytön maksimointi, mutta kuitenkin leikkurin toiminnan rajallisuus. Antureita ei tule sijoittaa liian lähelle toisiaan, jotta niiden leikkaaminen onnistuu leikkurilla. Kun antureiden muoto on suunniteltu, sen linjoista on eroteltu leikattavat ja raaputettavat viivat ja anturit on asemoitu arkille, voidaan tiedosto lähettää leikkurille. Tiedostomuotona voidaan käyttää Adobe Illustratorin omaa .ai-päätteistä muotoa. Leikkurin RIPillä täytyy vielä kertoa leikkurille, minkä tason linjat leikataan ja mitkä raaputetaan.

6 Painetun ja perinteisen elektroniikan suunnitteluprosessin vertailu

Insinöörityössä tutkittiin millaisia eroja perinteisessä elektroniikan valmistuksessa ja painetun elektroniikan valmistuksessa on. Vertailussa suunniteltiin älypainetut kosteusanturit ja verrattiin niitä perinteisen kosteusanturin suunnitteluun. Vertailu on perusteltu lähdetiedoista ja kahteen eri tuotantoympäristöön tutustumisesta saatujen tietojen pohjalle. Vertailu tehtiin kahden eri työprosessin havainnollisella ja teoriatietoon pohjautuvalla tutkimuksella.

6.1 Suunnitteluprosessin kesto

Perinteisessä elektroniikanvalmistuksessa koko tuotteen valmistusvaiheita on useampia kuin painetussa elektroniikassa. Kuvassa 7 on elektroniikan ja älypainotuotteen suunnitteluprosessien prosessikuvaukset asetettuna vierekkäin.



Kuva 7. Elektroniikan ja älypainamisen suunnitteluprosessi.

Prosessikaavioiden vertailusta näkee selvästi, että perinteisen elektroniikan suunnitteluprosessin kesto on monimutkaisempi ja sisältää enemmän välivaiheita kuin insinööriydessä tehdyn älypainetun sensorin suunnitteluprosessi. Virtapiirin suunnittelu vaatii itsessään kahden eri ohjelman käyttöä, jotta piirikaavion ja itse piirilevyn suunnittelu onnistuu. Lisäksi piirilevyn suunnittelussa täytyy määrittellä monille eli materiaaleille ja kerroksille omia tietojansa. Anturit valmistetaan yhdestä materiaalista irti leikkaamalla, jolloin ei tarvita monelle eri substraatille omia tietoja.

Metropolian painolaboratoriossa valmistettujen kosteusantureiden suunnitteluprosessi on hyvin yksinkertainen ja suoraviivainen. Suunnitteluprosessia ja tuotteen valmistusta kuitenkin helpottaa se, että anturit on tehty valmiiksi johtavasta nanohiiliputkikalvosta. Mikäli anturit tehtäisiin kokonaan lisäävällä menetelmällä, eli esimerkiksi nanohopeamusteella, se vaatisi suunnittelulta hieman enemmän. Tämän takia älypainotuotteen suunnitteluprosessikaaviota ei voida sinänsä yleistää kaikkiin älypainettuihin tuotteisiin. Tässä insinööriydessä tarkoituksena oli kuitenkin perehtyä nimenomaan näiden

painolaboratoriossa valmistettujen antureiden tutkimiseen. Älypainettujen kapasitiivisten kosteusantureiden suunnitteluun ei tarvita mitään erikoisia tai kalliita suunnitteluohjelmia. Mikä tahansa piirustusohjelma, jolla voidaan tehdä vektorikuviota, sopii anturin suunnitteluun.

Elektroniikan suunnittelun osalta prosessikuvaus on tehty yleisesti sopimaan mihin tahansa piirilevyyn. Piirilevyn suunnitteluprosessin kestoon vaikuttaa huomattavasti piirilevyn monimutkaisuus, eli se, onko piirilevy monikerroksinen, onko siinä paljon komponentteja ja millaisia kytkentöjä levyille tehdään. Kosteusanturin valmistaminen suoraan piirilevyille on suhteellisen helppoa, sillä anturin kuvio voidaan etsä suoraan piirilevyn pintaan. Virtapiirin suunnitteluun vaaditaan omat suunnitteluohjelmansa, eikä ohjelmien toiminta ole aivan yksinkertainen.

6.2 Älypainetun elektroniikan haasteet

Painetun elektroniikan valmistamisen mahdollistaa johtavien painovärien käyttö. Johtavilla painoväreillä tulisi saada aikaan mahdollisimman tasaisesti peittävää painopintaa, ja painettujen alueiden reunojen tulisi olla mahdollisimman virtaviivaisia. Tällöin pinnan johtavuus on tasaista, vältetään ylikuumentuminen ja prosessi on mahdollisimman hyvin toistettavissa. Kaikki painotekniikat perustuvat rasteroidun kuvion tekoon, eikä rasteroitu pinta ole täysin tasaista. Tämä tuo painotekniikalle uusia haasteita. Johtavat painovärit luovat painoprosessille uusia vaatimuksia perinteisiin painoväreihin verrattuna. Perinteisissä painoväreissä keskitytään värien reologisiin ominaisuuksiin (esim. viskositeetti ja pintajännite). Johtavissa painoväreissä tulee reologisten ominaisuuksien lisäksi ottaa huomioon värien kemialliset ominaisuudet. Elektroniikan painamisessa haasteena on, että jokaisella painotekniikalla on omat vaatimuksensa painovärien suhteen. [33.] Taulukossa 2 näkyvät perinteisen painamisen eri painomenetelmien vaatimat keskimääräiset painovärikerroksen paksuudet ja viskositeetit.

Taulukko 2. Eri painomenetelmien värikerroksen paksuus ja viskositeetti [11, s. 129].

Painomenetelmä	Painovärikerroksen paksuus (μm)	Painoväriin viskositeetti
Laakapaino (offset)	1,5–2,5	Korkea
Syväpaino	4–8	Alhainen
Fleksopaino	2–4	Alhainen
Seripaino	8–60	Melko korkea

Yksi käytetyimmistä johtavista painoväreistä on nanohopeamuste. Nanohopeamusteella on sintrauksen jälkeen hyvät johtavuusominaisuudet, ja sen hapetusluku pysyy stabiilina. Nanohopeamusteen huono puoli on kuitenkin sen kallis hinta. Tämän takia kansainväliset tutkimukset keskittyvät tällä hetkellä kupari- ja nikkelimusteiden tutkimiseen. Kupari- tai nikkelimusteissa on hyvät johtavuusominaisuudet, mutta niiden reagointi hapen kanssa ei ole yhtä hyvää kuin nanohopean. [33.]

Painovärien aiheuttamien haasteiden lisäksi, myös esimerkiksi seripainossa käytettäville seulakankailta vaaditaan enemmän painettua elektroniikkaa tehtäessä verrattuna perinteiseen painamiseen. Seulankankaan tiheys määrittää painettavan pinnan linjatiheyden, joka on verrattavissa rasteritiheyteen. Linjatiheys vaikuttaa painetun kuvion tarkkuuteen. Johtavia pintoja tehtäessä painettavan pinnan tulee olla todella tarkkaa ja tasaista, ja tämä taas vaatii tiheälinjaista seulakangasta onnistuakseen. Painettua elektroniikkaa tehdessä täytyy pystyä tuottamaan linjaa, joka on jopa 20 μ ohutta. Tämä on ehdottomasti yksi painoalan haasteista painettua elektroniikkaa tehtäessä. [43.]

Haasteena älypainotuotteiden prepressissä on, ettei vielä ole olemassa standardeja tai suunnittelusääntöjä painettavaan teknologiaan. Lisäksi suunnitteluvaiheessa täytyy ottaa huomioon materiaalit ja niiden yhteensopivuudet. [44.]

7 Tulevaisuuden näkymät

7.1 Älypainamisen tulevaisuus

Painettu elektroniikka ja sen tuotannollinen valmistus on jo nykypäivää. Esimerkiksi Saksassa järjestettävillä LOPEC-messuilla, jotka keskittyvät painettuun älyyn ja elektroniikkaan, on joka vuosi ollut enemmän kävijöitä ja esittelijöitä edelliseen verrattuna. Painetun älyn markkinaosuus on kasvanut vuosittain noin 20 %. Painetun älyn uudet innovaatiot ja konseptit kehittyvät nopeasti valmiiksi tuotteiksi. [45.] Medea-niminen vodkamerkki on tuonut markkinoille vuonna 2014 vodkapullon, jonka kyljessä on taipuisa LED-näyttö. LED-näyttöä voi itse ohjailta Bluetooth-yhteyden avulla, jolloin pullon näytölle voi lähettää viestejä. [46.] LED-näytöllä varustettu vodkapullo on vain yksi kulluttajille näkyvistä painettua elektroniikkaa hyödyntävistä keksinnöistä. Tällaiset näytöllisten pullojen kaltaiset keksinnöt eivät mielestäni ole kuitenkaan painetun elektroniikan tärkeimpiä innovaatioita. Itse LED-näyttö, jota pullossa on hyödynnetty, on saatu ai-

kaiseksi painotekniikkaa hyödyntämällä. Tässä on painetun elektroniikan ja älykkyyden merkittävyys: niiden avulla voidaan valmistaa jotain aivan uutta, mitä muuten ei olisi mahdollista tehdä.

Älypainotuotteita tehdään jo tuotannollisessa mittakaavassa, mutta monet keksinnöt ovat vielä testaus- ja suunnitteluvaiheessa. Älypainoa valmistavat tuotantolaitokset tulevat olemaan monia aloja yhdistäviä hybriditekniikkalaitoksia. Uskoisin, että lähitulevaisuudessa älypainolaitokset tekevät koko valmistusprosessin suunnittelusta lähtien itse, mutta älypainamisen lisääntyessä siirtyisi suunnittelutyö ulkopuoliselle taholle. Tätä kehitystä voisi verrata perinteiseen painoalaan, jossa ennen on ollut omat osastonsa sivunvalmistukselle ja sisällöntuotannolle, kuten kuvien valmistukselle. Nykyään painotaloissa käytännössä vain painetaan ja suunnittelu tehdään suurimmaksi osaksi muualla. Mielestäni tämä sama ilmiö voi olla tapahtumassa myös älypainotuotannolle. Kun älypainosta tulee yleisempää, siitä tulee myös standardoidumpaa. Standardien ja sovittujen suunnittelusääntöjen sekä tasalaatuisten materiaalien avulla tulee älypainettujen tuotteiden suunnittelusta helpompaa. Kun suunnittelu on helpompaa, sitä voidaan tehdä tehtaan ulkopuolella, jolloin tuotannossa voidaan keskittyä tehokkuuteen ja parhaaseen mahdolliseen laatuun.

Älypainaminen voisi onnistua kenen tahansa kotiloissa tavallisella mustesuihkutulostimella ja johtavilla painoväreillä. Älypainaminen voisi ulottua kaikkien saataville myös niin, että tavallinen painoalan yritys vain toteuttaisi muiden suunnittelemaa älypainotuotteita. Esimerkiksi seripainossa voitaisiin valmistaa älypainotuotteita suhteellisen helposti. Insinööriyössäni mietin, mitä perinteiseltä seripainoyritykseltä vähintään vaadittaisiin, jotta se voisi siirtyä valmistamaan painettua elektroniikkaa. Toteutin tästä skenaarion toimintamallin, joka on liitteessä 1. Seripainoyrityksen täytyy ottaa huomioon elektroniikan painamisen aloituksessa uusien materiaalien hankinta ja tietenkin niiden sopiminen tuotantoprosesseihin. Yrityksen tulee tehdä testauksia ja mittauksia ennen tuotannon aloittamista. Lisäksi jotkin johtavat painovärit saattavat vaatia hyvin puhtaita olosuhteita toimiakseen, joten tilojen siisteys täytyy miettiä prosessin kannalta toimivaksi. Seripaino soveltuu painetun elektroniikan valmistamiseen, koska sillä voidaan painaa monenlaisille materiaaleille. Painettavaa elektroniikkaa tehdään usein muoville sen taipuisuuden, sekä hyvien pintaominaisuuksien takia. Muovit voivat olla seripainossa jo valmiiksi yleisiä painomateriaaleja, mutta voi myös olla, että niiden käyttö on yritykselle uutta ja vaatii testausta. Ennen minkään toiminnallisen tuotteen valmistamista se täytyy suunnitella. Yrityksen täytyy päättää, suunnitteleeko se itse toiminnalliset

tuotteet vai tilaako se suunnitelmat muualta. Varsinkin jos tuotteet suunnitellaan alihankintana, tulee prepress-osastolla selvittää ohjelmistojen sopivuus tuotteiden valmistamiseen. Seripainossa seulakankaat ovat tärkeässä osassa painojäljen laadussa. Luultavasti yritys joutuu tilaamaan uusia seulakankaita painetun elektroniikan valmistamista varten. Valmistamisen osalta tulee prosesseissa ottaa huomioon kuivauksen tärkeys. Johtavat painovärit vaativat toimiakseen sintrauksen, joka voidaan toteuttaa kuivaamalla painettu pinta kuumassa uunissa. Kuivausta tehdään seripainossa muutenkin, mutta sen tarkoituksena on estää painetun pinnan leviäminen, kun painetaan uusi väri edellisen päälle. Painetussa elektroniikassa kuivaus mahdollistaa tuotteen toiminnan, eli sen rooli on suurempi kuin perinteisessä seripainamisessa.

Esimerkkinä seripainossa valmistettavasta elektroniikkatuotteesta voisi olla vaikka painettu paristo. Insinööriyössä tutustuttiin Andreas Willertin ja Reinhard R. Baumannin [47] tekemään selvitykseen räätälöityjen painettujen paristojen teosta. Seripainomenetelmällä valmistettu paristo tehdään niin, että jokainen toiminnallinen substraatti painetaan alustamateriaalille yksi kerrallaan ja jokaisen substraatin painamisen jälkeen täytyy tehdä sintraus, eli tässä tapauksessa kuivaus. Kuivaus vastaa seripainoissa tehtävää loppukuivausta, ja se tehdään uunissa. Willertin ja Baumannin tutkimuksessa alustamateriaali oli polymeerisubstraattia, joka vaati alle 120 °C:n lämpötilan. Tutkimuksessa jokainen toiminnallinen substraatti tulostettiin samalle alustalle, minkä jälkeen osiot leikattiin irti ja koottiin päällekkäin. Tällöin jokaisella toiminnallisella materiaalilla on alustamateriaalista syntynyt eristekerros allaan. Elektroniikkaa painaessa johtavien ja toiminnallisten materiaalien välille saattaa tarvita eristävän kerroksen. Eristävä kerros voidaan toteuttaa esimerkiksi lakkauksella tai laminoinnilla, ja tällöin ei erillistä kokoamisvaihetta tarvita. Kokoamista varten tarvitaan jonkinlaiset kohdistusmerkit, jotta jokainen toiminnallinen kerros on toisiinsa nähden samassa linjassa.

Mikäli painolaboratoriossa suunnitellut ja valmistetut kosteusanturit siirrettäisiin suurempaan olemassa olevaan tuotantoympäristöön, tulisi siellä ottaa huomioon seuraavat seikat:

- Mistä anturikuvio saadaan, eli kuka sen suunnittelee ja millaiseksi?
- Missä muodossa anturia varten tehty tiedosto on?
- Millaisille arkeille anturit asemoidaan?

- Miten anturin tiedosto saadaan siirrettyä leikkurille?
- Miten valmistusprosessi saadaan mahdollisimman automaattiseksi?

Anturit voidaan suunnitella kokonaan niitä valmistavassa yrityksessä. Tällöin suunnittelu tehtäisiin vektoripiirustusohjelmalla, kuten Adobe Illustratorilla. Anturit voitaisiin myös suunnitella alihankintana, jolloin täytyisi ottaa huomioon tiedostomuotojen siirrettävyys valmiin tuotantoympäristön ohjelmistoille. Teknisessä piirustuksessa käytettävät CAD-muotoiset vektoritiedostot on mahdollista avata esimerkiksi Adobe Illustratorilla. CAD-tiedostot eivät kuitenkaan ole parhaita mahdollisia tiedostoja Illustratorilla avattaviksi, ja ne olisi hyvä muuttaa muuhun tiedostomuotoon, kuten PDF:ksi. Tämän muunnoksen tulisi tapahtua automaattisesti tuotantolaitoksessa. PDF-muodossa tiedostolle voisi tehdä automaattisen preflight-tarkastuksen. Preflightin voi määrittää tarkastelemaan PDF:stä vain tiettyjä tasoja, mikä olisi elektroniikan tiedostoissa tärkeää. Kun PDF:stä on saatu oikea taso eroteltua preflightin avulla, se täytyy asemoida hiilina-
noputkiarkille. Tuotantoympäristössä voitaisiin olettaa kaikkien arkki-
olevan saman-
kokoisia, jolloin tässä projektissa tehtyä skannausvaihetta ei tarvittaisi. Tällöin anturi-
muotoa vain kopioitaisiin automaattisilla toiminnoilla niin, että se täyttäisi koko arkin. Tämä asemointi voitaisiin tehdä esimerkiksi Illustratorilla tai jollain muulla tuotantoympäristön omalla asemointiohjelmalla.

7.2 Prepressin tulevaisuus älypainossa

Painetun elektroniikan valmistamisessa prepress tarkoittaa käytännössä elektroniikan suunnittelun periaatteiden, ohjelmistojen ja tiedostomuotojen soveltamista painomaailmaan. Jotta esimerkiksi perinteistä piirilevynvalmistusta saataisiin mahdollisimman yksinkertaisesti siirrettyä älypainomaailmaan, täytyisi piirilevysuunnittelun valmiita tiedostomuotoja käyttää suoraan älypainotuotteita varten. Valmiit piirilevytiedostot tulisi tarkastaa automaattisella preflight-ohjelman tapaisella validointijärjestelmällä, jonka avulla tarkistettaisiin tuotteen toimivuus. Digitaalisessa prepress-prosessissa preflight-ohjelmia käytetään painoaineistojen validointiin [20]. Preflight-ohjelmaa voisi muokata myös älypainoon soveltuvaksi. Ohjelma voisi esimerkiksi hälyttää, mikäli jotkin painokerrokset ovat liian ohuita tuottamaan johtavaa pintaa tai mikäli sähköpiiristä puuttuu vastuksena toimiva substraatti kokonaan. Elektroniikan valmistuksessa preflight-tarkastuksen sijaan suunniteltujen tuotteiden toimivuutta voidaan simuloida siihen tar-

koitetuilla ohjelmilla. Tällaiset elektroniikan simulointiohjelmat voisivat luultavasti soveltaa myös painetun elektroniikan simuloimiseen.

Perinteisen prepressin automatisoitu työnkulku on jo hyvin pitkälle kehittynyt, eikä varmasti olisi mahdotonta kehittää sitä myös älypainotuotteille sopivaksi. Tällä hetkellä prepressiin vaikuttavat painotekniset ja jälkikäsitteilyn vaatimukset. Prepressosuudessa täytyy ottaa huomioon, miten tuote tullaan painamaan ja jälkikäsittelemään. Näitä painoteknistä ja jälkikäsitteilyn vaatimuksia kuitenkin helpottaa esimerkiksi PDF-työnkulku. PDF-työnkulun tapainen automaattinen työnkulku älypainotuotteille helpottaisi suunnittelun osuutta. Tällöin suunnittelijan ei tarvitsisi tietää, millä tekniikoilla tuote toteutetaan.

Uskon, että tulevaisuudessa älypainettuja tuotteita voidaan suunnitella ja toteuttaa kotioloissa. Mielestäni älypainotuotteiden kehitystä voi verrata 3D-tulostettujen tuotteiden kehitykseen. 3D-tulostuksessa ollaan nykypäivänä jo niin pitkällä, että kuka tahansa osaa tulostaa yksinkertaisia muotoja esimerkiksi filamenttitulostimella. En näe estettä sille, etteikö älypainotuotteiden teossa voisi käydä samoin. 3D-tulosteita suunnitellaan 3D-mallinnusohjelmilla, kuten Mayalla tai Autodeskin 3ds Maxilla. Mallinnusohjelmien käyttö vaatii opettelemista ja saattaa nostaa kynnystä 3D-tulosteiden omatoimiseen tekemiseen. Tästä syystä internetissä on palveluja, joissa ihmiset jakavat suunnittelemaansa 3D-malleja. Tällaisia sivustoja ovat muun muassa Thingiverse, ks. <http://www.thingiverse.com> ja Shapeways, ks. <http://www.shapeways.com>. Thingiverse on kaikille ilmainen palvelu, jossa kuka tahansa saa jakaa omia 3D-mallejaan muille käyttäjille. Se on maailman suurin 3D-tulostusyhteisö. [48.] Shapeways taas on vuonna 2007 perustettu 3D-tulostukseen perustuva nettikauppa. Sille voi myydä omia 3D-mallejaan, jotka yritys sitten valmistaa ja lähettää ostajalle. [49.] Shapeways on hyvä esimerkki siitä, että tuotteen kehitys- ja valmistusprosessissa voi keskittyä vain yhteen osaan, kuten itse valmistamiseen. Shapeways on ulkoistanut internetin avulla suunnittelutyön kenelle tahansa, joka osaa suunnitella. Sen tehtävänä on ainoastaan toteuttaa suunnitelmat parhaalla mahdollisella tavalla. Tätä toimintamallia myös älypainamisessa voisi tulevaisuudessa hyödyntää.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli vertailla painetun ja perinteisen elektroniikan suunnitteluprosesseja. Insinööriyössä suunniteltiin älypainettu kapasitiivinen kosteusanturi ja selvitettiin, miten prosessista saataisiin mahdollisimman automaattinen. Lisäksi insinööriyössä pohdittiin, miten älypainettuja kosteusantureita valmistettaisiin oikeassa tuotantoympäristössä ja mitä seripainoyritykseltä vaadittaisiin elektroniikan painamisen aloittamista varten.

Insinööriyössä todettiin, että painetun elektroniikan ja perinteisen elektroniikan valmistus ovat ohjelmistoiltaan ja suunnittelutavoiltaan melko kaukana toisistaan. Painetun elektroniikan keinoin voidaan valmistaa hyvinkin yksinkertaisesti, käytännössä yhdestä substraatista, toimiva tuote. Perinteisen elektroniikan suunnittelu vaatii monimutkaisempien ohjelmistojen hallintaa ja melko suurta ymmärrystä elektroniikan toimintaperiaatteista ja eri materiaaleista. Painetun elektroniikan suunnitteluprosessissa voi vähimmillään olla vain muutama vaihe, kun taas perinteisen elektroniikan valmistuksessa suunnitteluvaiheita on aina useampia. Piirilevyn suunnittelussa tulee aina suunnitella piirikaavio ja sen jälkeen vasta itse piirilevy.

Insinööriyön tutkimuksen myötä kuitenkin todettiin, että perinteisen ja painetun elektroniikan prosessien yhdistäminen olisi mahdollista. Painoalan yritykseltä vaadittaisiin vähimmillään melko pieniä prosessimuutoksia painetun elektroniikan valmistukseen ryhtymiseen. Perinteisen elektroniikan suunnitteluprosessista voidaan suoraan hyödyntää tiettyjä tiedostoja, jotka voidaan tuoda painoprosessiin. Varsinkin leikkurille tuotavia CAD-tiedostoja voitaisiin automatisoinnin avulla muuntaa helpostikin suoraan elektroniikan valmistuksesta painotuotantoon.

Elektroniikan valmistuksessa on jo käytetty painotuotannosta tuttuja prosesseja, kuten etsausta ja seripainamista. Painoalalla taas käytetään suunnitteluun samanlaisia vektorimuotoisia kuvioita, joita elektroniikan suunnittelussakin tuotetaan. Elektroniikan ja painoalan yhdistämisessä tärkein tekijä on alojen välinen kommunikaatio. Ilman monialaista toimimista ja kommunikointia ei tänäkään insinööriyön teko olisi ollut mahdollista. Painoalalla on varmasti ratkaistu ongelmia, joita elektroniikan valmistajat ovat joutuneet pohtimaan ja toisin päin. Yhdistämällä kahden tai useamman eri alan tuotannon toimintoja saadaan aikaan uusia innovaatioita ja tuotteita ilman, että tarvitsee kehittää kokonaan uusia tuotantolaitoksia.

Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella mahdollisimman tehokas ja automatisoitu älypainettujen kosteusantureiden suunnitteluprosessi. Lopputuloksena onnistuttiin suunnittelemaan ja valmistamaan toimivia kosteusantureita. Suunnittelun osalta todettiin, että itse antureiden muodon suunnittelu on nopeaa, eikä se ole vaikeaa. Kaikkia suunniteltuja antureita täytyisi kuitenkin testata, ja käytössä olevat testausmenetelmät olivat niin hitaita, että projektin puitteissa testattiin yhtä muotoa. Antureiden suunnitteluprosessia mietittiin jatkoa varten automaattisemmaksi. Prosessista löydettiin useita kohtia, joita voisi jatkossa automatisoida. Insinööriyön lopullisia päätelmiä ja johtopäätösten tekoa rajoitti se, ettei aiheesta löydy vielä tieteellistä lähdetietoutta. Vaikka painettua elektroniikkaa valmistetaan jo paljon ja sitä kehitetään koko ajan, ei tieteellisiä lähteitä sen suunnittelusta oikeastaan ole. Tieteellisten lähteiden puutteen vuoksi olisi hyvä, että tämä tutkimus toistettaisiin muutaman vuoden kuluttua, koska silloin lähteitä olisi luultavasti enemmän. Tutkimusten avulla saatuja tuloksia voitaisiin paremmin verrata sen hetkiseen tietouteen aiheesta. Painetusta elektroniikasta löytyy tällä hetkellä paljon tutkimuskirjallisuutta, mutta siinä ei ole perehdytty itse suunnitteluosuuteen. Tästä syystä myös tämä insinööriyö on aiheensa puolesta uniikki, mutta sen johtopäätökset voisivat kattavampien lähteiden pohjalta olla laajemmat.

Lähteet

- 1 Taipale-Lehto, U. & Bergman, T. 2013. Graafisen teollisuuden osaamistarveraportti. Verkkodokumentti. <http://www.oph.fi/download/154583_graafisen_teollisuuden_osaamistarveraportti.pdf>. 2013. Luettu 8.2.2016.
- 2 Ruulio, Tiina. 2015. Suomessa osataan painaa, mutta ei johtaa. Verkkodokumentti. Julkaisija. <<http://www.julkaisija.fi/suomessa-osataan-painaa-mutta-ei-johtaa-2/>>. 23.3.2015. Luettu 26.2.2016.
- 3 Viluksela, Pentti. 2015. Digitaaliset tulostustekniikat. Kurssimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 Painettu äly kasvattaisi tuotantolukuja. 2016. Verkkodokumentti. Uusi Teknologia. <<http://www.uusiteknologia.fi/2016/01/11/painettu-aly-kasvattaisi-tuotantolukuja/>>. 11.1.2016. Luettu 19.2.2016.
- 5 About Thinfilm. 2016. Verkkodokumentti. Thinfilm. <<http://thinfilm.no/company-about-thinfilm/>>. 2016. Luettu 16.2.2016.
- 6 Neuvo, Y. & Ylönen, S. 2009. Bit Bang Rays to the Future. Verkkodokumentti. <<http://lib.tkk.fi/Reports/2009/isbn9789522480781.pdf>>. 2009. Luettu 9.2.2016.
- 7 Cantatore, Eugenio. 2013. Applications of Organic and Printed Electronics. New York: Springer Science+Business Media.
- 8 Käsäkoski, Markku. 2009. Printed Intelligence- Applications and Technologies; Low cost diagnostics. Verkkodokumentti. VTT. <http://www.micropolis.fi/files/micropolis/photonicroad/printed_intelligence_applications_technologies_low_cost_diagnostics_markku_kansakoski_vtt_photoroadsme_oulu_050709.pdf>. 7.5.2009. Luettu 15.2.2016.
- 9 Kempainen, Antti. 2010. VTT Printed Intelligence. Verkkodokumentti. VTT. <http://www.micropolis.fi/files/photonicroad/printed_intelligence_15.2.2010.pdf>. 15.2.2010. Luettu 15.2.2016.
- 10 Lessign, J., Glavan, A. C., Walker, B., Keplinger, C., Lewis, J. A. & Whitesides, G. M. 2014. Inkjet Printing of Conductive Inks with High Lateral Resolution on Omniphobic "RF Paper" for Paper-Based Electronics and MEMS. Verkkodokumentti. <<http://gmwgroup.harvard.edu/pubs/pdf/1217.pdf>>. 30 May 2014. Luettu 17.2.2016.
- 11 Viluksela, P., Ristimäki, S. & Spännäri, T. 2010. Painoviestinnän tekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

- 12 Tuppurainen, Jarmo. 2016. Teknologiapäällikkö. Electria, Vantaa. Tutustumiskäynti. 22.2.2016.
- 13 Tikkanen, Hannu. 2004. PADS® Piirilevysuunnitteluopas 2 PowerLogid, PowerPCB ja BlazeRouter –ohjelmistoille. Jyväskylä: DS-Design Systems.
- 14 Nieppola, Merja. 2015. Laatutekniikka. Kurssimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 15 Massinen, Kalervo. 2014. Prepress-työnkulun automatisointi ei välttämättä vaadi kalliita investointeja. Verkkodokumentti. <<http://kalervomassinen.com/2014/04/11/prepress-tyonkulun-automatisointi-ei-valttamatta-vaadi-kalliita-investointeja/>>. 11.4.2014. Luettu 25.2.2016.
- 16 Abdullah, M. M. Y. B., Ahmad, R. & Shafia, J. 2012. Identifying Key Digital Prepress Competence. Verkkodokumentti. IEEEExplore. <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6422995>>. 2012. Luettu 18.1.2016.
- 17 Johansson, K., Lundberg, P. & Ryberg, R. 2007. A guide to graphic print production. New Jersey: John Wiley & Sons.
- 18 Muscolino, H., Corr, C. & Machado, A. 2013. Mercury RIP Architecture: Adobe's Print Framework for a One-to-One Digital Age. Verkkodokumentti. IDC. <<http://www.adobe.com/content/dam/Adobe/en/products/pdfprintengine/pdfs/IDC-WhitePaper-AdobeMercury.pdf>>. 2013. Luettu 28.3.2016.
- 19 The history of PostScript. 2013. Verkkodokumentti. Prepressure. <<http://www.prepressure.com/postscript/basics/history>>. 9 August 2013. Luettu 23.4.2016.
- 20 Masod, M. Y., Abdullah, H. & Abdullah, M. A. 2011. The Study on the Roles of Electronic Artwork Pre-Flight Checking in Digital Prepress Workflow. Verkkodokumentti. IEEEExplore. <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6163791>>. 2011. Luettu 16.2.2016.
- 21 PitStop Pro does PDF quality control better. 2016. Verkkodokumentti. Enfocus. <<https://www.enfocus.com/en/products/pitstop-pro/pitstop-pro-does-pdf-quality-control-better>>. 2016. Luettu 25.2.2016.
- 22 Lers, Lauren. Prepress. 2013. Verkkodokumentti. Prepressure.com. <<http://www.prepressure.com/prepress/>>. 8 August 2013. Luettu 16.2.2016.
- 23 Basic JDF Tutorial. Verkkodokumentti. CIP4. <http://www.cip4.org/global/v3/index.php?content=/overview/jdf_tutorial.html>. Luettu 25.2.2016.

- 24 Meissner, Stefan. 2016. JDF. Verkkodokumentti. CIP4 Organization. <<https://confluence.cip4.org/display/PUB/JDF>>. Päivitetty 8 March 2016. Luettu 25.2.2016.
- 25 Adobe PDF Print Engine 3. 2016. Verkkodokumentti. Adobe. <<http://www.adobe.com/fi/products/pdfprintengine.html>>. 2016. Luettu 23.4.2016.
- 26 Design Guide. 2006. Verkkodokumentti. Lenthor Engineering. <<http://www.lenthor.com/pdf/designguide.pdf>>. 2006. Luettu 15.2.2016.
- 27 Gerber-tiedostot (RS274X –muodossa). 2016. Verkkodokumentti. Jopaco. <http://www.jopaco.com/docs/JOPACO_kalustusohje.pdf>. 2016. Luettu 22.2.2016.
- 28 Tuomme digitaalisuuden arkipäivän esineisiin. Verkkodokumentti. Electria. <<http://electria.metropolia.fi/FIN/>>. Luettu 22.2.2016.
- 29 Mellberg, Henrik. 2013. Liikuteltava sisäilman mittausjärjestelmä. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 30 Painetun elektroniikan komponentit. Verkkodokumentti. VTT. <<http://www.vtt.fi/palvelut/digitaalinen-maailma/painettu-äly-ja-hybridivalmistus/painetun-elektroniikan-komponentit>>. Luettu 17.2.2016.
- 31 Malinen, M. & Kuusisto, J-M. 2010. Research, development and commercialisation activities in printed intelligence. Verkkodokumentti. <http://www.vttprintedintelligence.fi/cpi_2010.pdf>. 2010. Luettu 15.2.2016.
- 32 Soltani, A., Kumpulainen, T. & Mäntysalo, M. 2014. Inkjet Printed Nano-particle Cu Process for Fabrication of Re-distribution Layers on Silicon Wafer. Verkkodokumentti. IEEEExplore. <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6897523&tag=1>>. 2014. Luettu 23.4.2016.
- 33 Kappaun, Stefan. 2012. Printed Electronics: Inks and the Technical Challenges. Verkkodokumentti. Printing News. <<http://www.printingnews.com/article/10565756/printed-electronics-inks-and-the-technical-challenges>>. 16 January 2012. Luettu 23.4.2016.
- 34 Bollström, Roger. 2013. Paper for printed electronica and functionality. Doctoral thesis. Åbo Akademi.
- 35 Subramanian, Vivek. 2005. Developments in Printed RFID. United Kingdom: Pira International.

- 36 Jurgen, Daniel. 2010. Printed Electronica: Technologies, Challenges and Applications. Verkkodokumentti. <<http://www.parc.com/content/attachments/printed-electronics-technologies.pdf>>. Luettu 8.2.2016.
- 37 Trotec – Setting New Standards. Verkkodokumentti. Seri-Deco. <http://www.seri-deco.fi/laserit-trotec-laserit-c-51_73_181.html>. Luettu 21.3.2016.
- 38 What Is A Print? 2013. Verkkodokumentti. The Philadelphia Print Shop, Ltd. <<http://www.philaprintshop.com/whataprt.html>>. 2013. Luettu 24.3.2016.
- 39 Valovirta print. Verkkodokumentti. Metropolia. <<http://valovirta.metropolia.fi/print/>>. Luettu 22.2.2016.
- 40 Canatu products. 2016. Verkkodokumentti. Canatu. <<http://www.canatu.com/products/>>. 2016. Luettu 23.2.2016.
- 41 Varjos, Ilkka. 2015. Tekniikan varapäälliköitä. Canatu, Helsinki. Tutustumiskäynti. 22.5.2015.
- 42 Evans, David. PostScript vs. PDF. Verkkodokumentti. Adobe. <<http://www.adobe.com/print/features/psvspdf/>>. Luettu 23.4.2016.
- 43 Accomodating the challenges in the printed electronics' industry. 2013. Verkkodokumentti. Specialist printing worldwide. <https://www.chromaline.com/wp-content/uploads/2013/10/2013.10.8_AlphaArticleSP3-2013.pdf>. 2013. Luettu 24.3.2016.
- 44 Määttä, Harri. 2012. Painettava teknologia. Verkkodokumentti. Oulun Seudun Ammattikorkeakoulu. <<http://www.rfidlab.fi/index.php?q=system/files/system/files/OAMK.pdf>>. 27.11.2012. Luettu 26.2.2016.
- 45 Savastano, David. 2016. LOPEC 2016 will showcase New Opportunities for PE. Verkkodokumentti. Printed Electronics Now. <http://www.printedelectronicsnow.com/contents/view_online-exclusives/2016-03-01/lopec-2016-will-showcase-new-opportunities-for-pe/>. 1 March 2016. Luettu 21.3.2016.
- 46 Savastano, David. 2016. Medea Vodka 'Lights' Up Shelves. Verkkodokumentti. Printed Electronics Now. <http://www.printedelectronicsnow.com/contents/view_online-exclusives/2016-01-20/medea-vodka-lights-up-shelves/>. 20 January 2016. Luettu 21.3.2016.
- 47 Willert, A. & Baumann, R. R. 2013. Customized Printed Batteries Driving Sensor Applications. Verkkodokumentti. IEEEExplore. <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6656322>>. 2013. Luettu 24.3.2016.

- 48 MakerBot Thingiverse. Verkkodokumentti. Thingiverse.
<<https://www.thingiverse.com/about/>>. Luettu 26.3.2016.
- 49 About Us. Verkkodokumentti. Shapeways.
<<http://www.shapeways.com/about?li=footer>>. Luettu 26.3.2016.

Toimintamalli elektroniikan painamisen aloitukseen seripainoyritykselle

Ohjelmistot ja tiedostot

Mistä painetun elektroniikan tuotteiden suunnitelmat saadaan, tilataanko muualta vai tehdäänkö itse

Sopivatko ulkopuolelta tulleet tiedostomuodot käytettäville ohjelmistoille, ja miten tiedostot saadaan muunnettua sopiviksi

Materiaalit

Johtavien painovärien hankinta

Elektroniikkatuotteille sopivien alustamateriaalien hankinta

Tuotantolaitteet ja muutokset prosessiin

Seulakankaat painoväreille sopivaksi

Jokaisen substraatin painamisen jälkeen tarvittava uunikuivaus