



Painetut hybridisysteemit

| Teknologian tila ja kaupallistamisen mahdollisuudet Suomessa

VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES 2547

Painetut hybridisysteemit

Teknologian tila ja kaupallistamisen mahdollisuudet Suomessa

Jukka-Tapani Mäkinen (toim.).



ISBN 978-951-38-7645-6 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7646-3 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2010

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Toimitus Mirjami Pullinen

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

Painetut hybridisysteemit. Teknologian tila ja kaupallistamisen mahdollisuudet Suomessa [Printed hybrid systems. State of technology and opportunities for commercialization in Finland]. Jukka-Tapani Mäkinen (toim.). Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2547. 95 s.

Avainsanat printed hybrid systems, plastic integration, electronics manufacturing technologies

Tiivistelmä

Tämä raportti on osa vuosina 2009 ja 2010 Tekesin ja VTT:n rahoituksella toteutettua PROFIT-projektia, jonka tavoitteena oli kartoittaa muovi-integroinnin alalla kehitettyjen valmistusteknologioiden kaupallistamisen mahdollisuuksia Suomessa. Dokumentin tarkoituksena on esitellä lähinnä VTT:ssä Oulussa painetuista hybridisysteemeistä tehdyn tutkimuksen sisältöä ja tuloksia. Raportissa halutaan välittää mahdollisimman monipuolinen kuva tutkimusalueen tilanteesta niin teknologisesta kuin myös kaupallisesta näkökulmasta.

Painetut hybridisysteemit on kokonaisuus, joka perustuu kalvomaisten piirilevyjen hyödyntämiseen ja jatkojalostukseen. Termillä tarkoitetaan komponentteja ja systeemejä, joissa yhdistetään painettuja toiminnallisuksia perinteisiin elektroniikkakomponentteihin ja alikokoonpanoihin. Kokonaisuuden etuna on 3D-muovattavuus ja mahdollisuus integroida elektroniikkaa suoraan tuotteiden muovirakenteisiin. Muoviin valetut moduulit ja laitteet ovat lisäksi kompakteja ja hyvin robusteja. Nämä edut mahdollistavat elektroniikan hyödyntämisen uudella tavalla monilla sovellusalueilla autoista terveydenhuollon diagnostiikkalaitteisiin ja viihde-elektroniikkaan.

Raportin ensimmäinen osio keskittyy teknologiaan. Ensin tehdään kevyt yleiskatsaus VTT:n kehittämiin integrointiteknologioihin, minkä jälkeen kerrotaan tarkemmin kokonaisuuden taustoista ja pureudutaan VTT:n kehittämään teknologiaan sekä kerrotaan eri tutkimusprojekteissa valmistetuista demonstraattoreista. Raportin toisessa osiossa näkökulma vaihtuu yksityiskohtaisesta teknologiakuvauksesta kohti kaupallisempaa painotusta. Siinä pyritään valottamaan kehitettyjen teknologioiden etuja ja heikkouksia. Lisäksi kerrotaan tehtyjen yhteydenottojen perusteella syntyneestä näkemyksestä liiketoiminnan mahdollisuuksiin Suomessa. Raportin viimeisessä osiossa painopiste siirtyy tuotemuotoiluun, joka on alue missä integrointiteknologiat voivat mahdollistaa elektroniikkalaitteiden tulevaisuuden suuren murroksen.

Painetut hybridisysteemit. Teknologian tila ja kaupallistamisen mahdollisuudet Suomessa [Printed hybrid systems. State of technology and opportunities for commercialization in Finland]. Jukka-Tapani Mäkinen (ed.). Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2547. 95 p.

Keywords printed hybrid systems, electronics manufacturing technologies, plastic integration

Abstract

This report is a part of Tekes and VTT funded research project PROFIT, which was carried out during the years 2009 and 2010. The goal of the project was to survey the business potential of plastic integration technologies in Finland. Many discussions and seminars were arranged during the project and around one hundred companies were contacted. In addition to disseminating the current knowledge, information was gathered on the research needs of companies in this particular field. The purpose of this document is to present the results of the research work conducted mainly at VTT in Oulu and to convey a diverse picture on the state of the printed hybrid systems both from the technological and commercial points of view. In addition, strong emphasis is put on the possibilities that the technology offers in product design.

First part of the report deals with technology. This is started by giving a short introduction to the integration technologies developed at VTT. After this, a brief historical perspective is taken with main emphasis on MIDs. A more detailed account of VTT's research is made with some descriptions of technology demonstrators at the end of the first part. In the second part the emphasis is put on commercial aspects. It deals with the benefits and weaknesses of the technology and gives an outlook on the business interests of Finnish companies in this field. A short international IPR survey is also presented. The last part of the report emphasizes product design, which is the field where the integration technologies can have the largest impact in the future. Potential of the technology is made more concrete by showing a large group of new product concepts.

Alkusanat

Elektroniikkateollisuus on noussut parin viimeisen vuosikymmenen aikana maamme vientiteollisuuden veturiksi paperi- ja konepajateollisuuden rinnalle. Suomeen syntyi 1990-luvulla suuri joukko pieniä ja keskisuuria elektroniikka-alan alihankkijayrityksiä, joiden pääasiakkaana oli Nokia. Nokia-vetoisesti Suomessa on panostettu vahvasti myös elektroniikan tutkimukseen ja tuotekehitykseen, joista on tullut entistä tärkeämpiä 2000-luvulla käynnistyneen nopean globalisaatiokehityksen seurauksena. Yritysten kansainvälistymisen aiheuttama tuotannon siirtyminen halvemman työvoiman maihin nähdään kuitenkin suurena uhkana suomalaisen elektroniikkateollisuuden jatkuvuudelle. Suurin osa entisestä elektroniikkatuotannosta on jo siirtynyt Euroopasta Kaukoitään, ja pahimpana uhkakuvana pidetäänkin nyt tutkimus- ja tuotekehitystyön siirtymistä tuotannon perässä muun muassa Kiinaan ja Intiaan, joissa työväestön koulutustaso kasvaa vauhdilla. Vuonna 2008 alkanut voimakas taloustaantuma vain kiihdytti tätä maamme talouden tukijalan murenemistä. Muovi-integrointi voidaan nähdä yhtenä tapana vastustaa kehitystä tulevaisuudessa.

Matkapuhelin on helppo esimerkki suomalaisesta elektroniikkaosaamisesta ja samalla mainio näyte laitteesta, jonka valmistuksessa tarvitaan todella monitek-nistä osaamista. Kännykkä on lisäksi hyvä esimerkki tuotteesta, jonka suosio perustuu pitkälti siihen, kuinka hyvin on onnistuttu sovittamaan yhteen suuri joukko elektronia ja muovisia osia sekä ohjelmistoja miellyttämään käyttäjän silmää ja tuottamaan myönteisen käyttökokemuksen. Nokian menestys matka-puhelinmarkkinoilla on perustunut pitkään juuri kilpailijoita parempaan kykyyn yhdistää erilaisia teknologioita kustannustehokkaasti käyttäjystävällisten ja tyylikkaiden tuotteiden valmistuksessa. Uusien piirteiden kehittäminen vaatii kuitenkin jatkuvaa panostusta ohjelmistojen lisäksi myös valmistusteknologiaan. Pelkkä nykyisten teknologioiden hiominen kustannustehokkaammiksi ei riitä ympäristössä, jossa uusi toiminnallisuus voi nostaa tai laskea tuotteen suosiota

hyvin äkillisesti. Applen viime vuosina nähty rakettimainen nousu yhdeksi älypuhelinmarkkinoiden johtavaksi valmistajaksi kertoo, kuinka herkästi kuluttajat voivat muuttaa ostotottumuksiaan. Hybriditeknologia vaatii kehittyäkseen hyvin samankaltaista monitekniistä osaamis pohjaa, joka on elektroniikkateollisuuden nousun myötä kohonnut Suomessa nykyiselle varsin korkealle tasolle. Hybriditeknologia mahdollistaa jatkossa aivan uudenlaisia tuotteita ja niiden myötä tuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa avautuvia työpaikkoja.

Kannettavissa laitteissa nopeasti yleistyneet kosketusnäytöt ovat yksi esimerkki siitä, kuinka uutta teknologiaa voidaan hyödyntää paremman käyttökemuksen luomisessa. Tässä raportissa esitelty integroitu optinen kosketuspaneeli on puolestaan hyvä näyte siitä, kuinka valmistusteknologiaa voidaan kehittää vastaamaan paremmin tulevaisuuden tarpeisiin. Tuotteiden muotoilu kohti parempaa intuitiivista käytettävyyttä on yksi merkittävistä tekijöistä, joilla suomalaiset yritykset voivat erottua muiden joukosta kovassa kansainvälisessä kilpailussa. Parhaimmillaan laitteen käyttöliittymä on niin intuitiivinen, että se reagoi jo pienen vihjeen tai eleen perusteella käyttäjän toiveisiin ja käynnistää halutun toiminnon. Painetun elektroniikan lupaama yhdistelmä edullisesta valmistuksesta ja elektroniikan muotoiltavuudesta tarjoaa erinomaisen tilaisuuden aivan uudenlaisten kuluttajia ilahduttavien tuotteiden kehittämiseen. Hybriditeknologian avulla muovirakenteisiin integroidut muotoiltavat näytöt, painonapit ja lämpötilaa, liikettä yms. tarkkailevat sensorit vievät kulutuselektroniikan tuotteita kohti älykäästä ympäristöä, joka mukautuu automaattisesti ihmisen henkilökohtaisiin mieltymyksiin. Tällaiset seuraavan sukupolven tuotteet erottuvat kilpailijoistaan paremman mukautuvuutensa ja helppokäyttöisyytensä ansiosta.

VTT tekee sovellettua tutkimusta tavoitteenaan parantaa suomalaisten yritysten kilpailukykyä. Painetut hybridisysteemit on strategisesti tärkeäksi nähty osa-alue, jonka sisällä usean vuoden aikana tehtyä tutkimustyötä on suunnattu yrityksiltä saadun palautteen perusteella. Sen avulla voidaan vastata paremmin tulevaisuuden elektroniikkalaitteiden valmistusteknisiin haasteisiin. Tässä dokumentissa esitellään painettujen hybridisysteemien nykytila ja valotetaan sen mahdollisuuksia niin teknologian kuin liiketoiminnan aloilla. Tarkoituksena on aktivoida lukijan mielikuvitusta kohti tulevaisuuden tuotteita ja tarjota samalla läpileikkaus VTT:ssä kehitetyn teknologian nykytilasta.

Oulussa 17.8.2010
Jukka-Tapani Mäkinen
Erikoistutkija, VTT

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Symboliluettelo	9
1. Johdanto	11
1.1 Elektroniiikan muovi-integrointi	12
1.2 Painettu elektroniikka	13
1.3 Painetut hybridisysteemit	14
1.4 Materiaalit ja luotettavuus	16
2. Muovi-integroinnin historiallinen tausta	17
2.1 MID – <i>moulded interconnect device</i>	18
2.2 MIDin sovellusalueet	18
2.3 Lähteet	20
3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointiteknologiat	21
3.1 Lämpölaminoituiden monikerrosrakenteet	21
3.1.1 Laminoitu rakenne valaisusovelluksiin	22
3.1.2 LCP-kalvojen käyttö laminoituissa rakenteissa	23
3.1.3 Kirjallisuutta	24
3.2 Kalvojen ylivalu	24
3.2.1 Materiaalit	26
3.2.2 Joustavien piirilevyinserttien valmistusprosessi	28
3.2.3 Erilliskomponenttien ladonta ja ylivalu	30
3.2.4 Kirjallisuutta	34
4. Valmistetut teknologiademonstraattorit	35
4.1 Laminoituiden LED-elementit	35
4.2 Integroitu optiikka	37
4.3 Integroitu venymäliuska	38
4.4 Muovin sisälle upotettu OLED	39
4.5 Valaistu jäänraaputin	40
4.6 Optinen kosketuspaneeli	42
4.7 Kirjallisuutta	44
5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet	45
5.1 SWOT-analyysi	45
5.1.1 Vahvuudet ja heikkoudet	46
5.1.2 Mahdollisuudet ja uhat	47
5.2 Hybriditekniikan soveltuvuus kriteerit tuotteille	49
5.3 Hybriditekniikan mahdolliset sovellusalueet	51

5.4	Suomalaisten yritysten kiinnostuksen kohteet	54
5.5	Hybriditeknologian käyttö valaisusovelluksissa	56
6.	Patenttikartoitus	58
6.1	Lähtökohta	58
6.2	Yleiskatsaus.....	58
6.3	Patentinhaltijat ja -hakijat	60
6.4	Aikaulottuvuus.....	62
6.5	Maantieteellinen näkökulma	63
6.6	IPC-luokat	65
6.7	Huomionarvoisia patenteja ja patenttihakemuksia	66
6.8	Listaukset käytetyistä hakuehdoista	68
6.9	Yhteenveto.....	69
7.	Muovi-integrointi tuotesuunnittelun prosessissa.....	71
7.1	Tuotekehitysprosessi	71
7.2	Muotoiluprosessi	72
7.3	Teollisen muotoilijoilla erilaisia rooleja ja toimintatapoja.....	72
7.4	Elektroniikkasuunnittelu	73
7.5	Muovi-integraatio	73
7.6	Vaikutus yhteistyöhön	74
7.7	Ympäristökysymykset	76
7.8	Asiakastyytyväisyys	76
7.9	Tuoteideoita	77
7.10	Mahdollisia tutkimusprojekteja.....	78
7.11	Yhteenveto.....	79
7.12	Kirjallisuutta.....	79
8.	Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa.....	80
8.1	Hybridi-integroinnin edut ja rajoitukset.....	80
8.2	Muotoiluyhteistyö	84
8.3	Konsepti 1: polkupyörän huomiovalo	85
8.4	Konsepti 2: valoleikki	86
8.5	Konsepti 3: interaktiivinen opetuspelellä	87
8.6	Konsepti 4: sanelumuistio.....	88
8.7	Konsepti 5: joustava ohjainalusta	90
8.8	Lisäkonseptit.....	91
9.	Yhteenveto.....	94

Symboliluettelo

3D	kolmedimensiainen
ACA	anisotropic conductive adhesive
COC	cycloolefin copolymer
CTE	coefficient of thermal expansion
EMFi	electromechanical film
EP	Eurooppa
FPC	flexible printed circuit
FR-4	piirilevymateriaali, laminoitu epoksi (flame retardant)
ICA	isotropic conductive adhesive
IMD	in-mould decoration
IML	in-mould-labeling
IPC	international patent classification
IPR	intellectual property rights
JP	Japani
LaY	Lapin yliopisto
LCD	liquid crystal display
LCP	liquid crystal polymers
LDS	laser direct structuring
LED	light emitting diode
LM	Lahden muotoiluinstituutti

LTCC	low temperature co-fired ceramic
MEMS	micro-electro-mechanical systems
MID	molded interconnect devices
NCA	non-conductive adhesive
OLED	organic light emitting diode
PC	polykarbonaatti
PCT	patent cooperation treaty
PEN	polyethylene naphthalate
PET	polyeteenitereftalaatti
PMMA	polymetyylimetakrylaatti
POC	proof-of-concept
PS	polystyreeni
RF	radio frequency
SWOT	strengths, weaknesses, opportunities and threats
T&K	tutkimus ja kehitys
TaiK	Taideteollinen korkeakoulu
US	Yhdysvallat
VCSEL	vertical cavity surface emitting laser

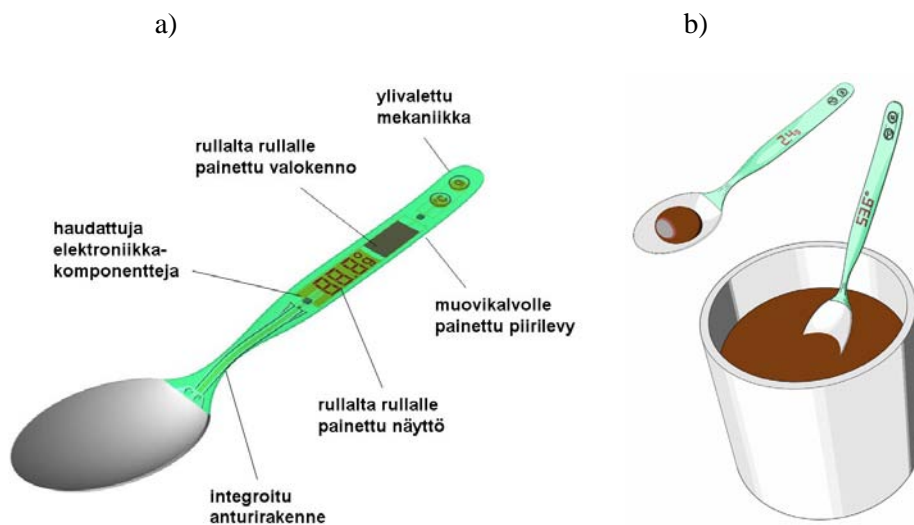
1. Johdanto

VTT:ssä on tehty runsaasti elektroniikan muovipohjaisiin integrointitekniikoihin liittyvää tutkimusta, joka vuodesta 2005 lähtien on suuntautunut muun muassa ruiskuvalutekniikan hyödyntämiseen. Tavoitteena on ollut kehittää massatuotannollisia valmistusmenetelmiä elektroniikan integroimiseksi suoraan muovisiin tuoterakenteisiin. Perinteiset elektroniikkalaitteet perustuvat tasomaisiin piirilevyihin, joille ladotaan ja kiinnitetään tarvittavat elektroniikkakomponentit. Nämä herkät kalustetut elektroniikka-alustat suojataan useimmiten muovisten, ruiskuvalulla valmistettujen kuorirakenteiden sisään. Kuorien tehtävänä ei ole pelkästään suojata elektroniikkaa, vaan niiden avulla laitteesta tehdään myös käyttötarkoitukseen sopiva ergonominen ja silmää miellyttävä tuote. VTT:n kehittämien integrointitekniikoiden tavoitteena on sulauttaa piirilevy ja komponentit osaksi muovisia rakenteita, jolloin koko tuote voidaan muotoilla vapaammin ilman jäykkää tasomaista piirilevyä.

Tämä raportti on osa vuosina 2009 ja 2010 Tekesin ja VTT:n rahoituksella toteutettua PROFIT-projektia, jonka tarkoituksena oli kartoittaa muovintegroinnin alalla kehitettyjen valmistustekniikoiden kaupallistamisen mahdollisuuksia Suomessa. Projektin puitteissa käytiin runsaasti keskusteluja ja järjestettiin seminaaritilaisuuksia, joiden myötä saatiin kontakti yhteensä lähes sataan eri yritykseen. Tiedon levityksen lisäksi tietoa kerättiin yritysten tutkimuksellisista tarpeista. Raportin tarkoituksena on esitellä lähinnä VTT:ssä Oulussa painettuja hybridisysteemejä koskevan tutkimuksen sisältöä ja tuloksia. Kirjoittajina ovat toimineet VTT:n tutkijoiden (Janne Aikio, Teemu Alajoki, Kimmo Keränen, Jukka-Tapani Mäkinen ja Kari Rönkä) lisäksi Teppo Vienamo Taideteollisesta korkeakoulusta, Jarno Vehmas Lapin yliopistosta sekä Sakari Värilä IPR Partnersista. Raportissa halutaan välittää mahdollisimman monipuolinen kuva tutkimusalueen tilanteesta niin teknologisesta kuin kaupallisesta näkökulmasta.

1.1 Elektroniikan muovi-integrointi

Elektroniikan muovi-integroinnilla tarkoitetaan valmistusteknologioita, jotka mahdollistavat erilaisten elektronisten, mekaanisten ja optisten toimintojen yhdistämisen samaan muovikappaleeseen massatuotannollisesti. VTT:n tutkimat aidosti massatuotannolliset elektroniikan muovi-integroinnin teknologiat voidaan jakaa karkeasti kalvopohjaisiin ja ruiskuvalupohjaisiin menetelmiin sekä näiden yhdistelmiin. Ruiskuvalu on jo useita vuosikymmeniä vanha menetelmä, jonka avulla raaka-aine voidaan muuntaa yhdessä valmistusprosessivaiheessa nopeasti ja tehokkaasti monimutkaiseksi 3D-kappaleeksi. Kalvopohjaiset valmistusmenetelmät puolestaan perustuvat jopa vuosisatoja vanhoihin painomenetelmiin, joissa tasomaiselle pinnalle levitetään hallitusti väriainetta tai, kuten painetun elektroniikan tapauksessa, esimerkiksi johtimia muodostavaa johtavaa mustetta.



Kuva 1. Muovi-integrointitekniikalla valmistetun älylusikka-tuotekonseptin a) rakenne ja b) käyttötavat.

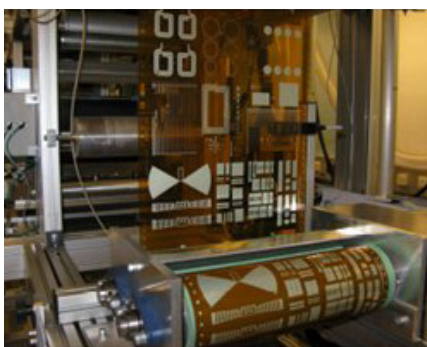
Kuva 1 esittää tuotevisiota, joka pyrkii havainnollistamaan näiden integroivien valmistusteknologioiden kehitystyön tavoitetta. Kysymyksessä on lämpötilaa ja painoa mittaava älylusikka. Lusikan varsi on valmistettu ruiskuvalamalla joustavalle kalvolle painettujen ja kiinnitettyjen komponenttien päälle kerros muovia. Valussa inserttinä käytetty piirilevykalvo sisältää kaiken mittaussysteemin tar-

vitseman elektroniikan sähköä tuottavasta valokennosta integroituihin anturi-rakenteisiin ja käyttöliittymään. Konseptituote vastaa fyysisiltä mitoiltaan ja käytettävyydeltään täysin normaalia lusikkaa, mutta se sisältää arkielämää helpottavia elektronisia lisätoimintoja. Lämpömittarin avulla käyttäjä voi tarkistaa, onko kahvi liian kuumaa juotavaksi tai onko vauvanruoka jo jäähtynyt riittävän viileäksi. Painonmittausta puolestaan voidaan käyttää apuna leipomisessa tai kalorien hallinnassa. Tämän tuotekonseptin valmistus ei vielä onnistu kokonaisuudessaan nykyisin käytössä olevilla perinteisillä tuotantomenetelmillä, mutta kuten raportin seuraavissa luvuissa käy ilmi, oleellimmat tarvittavat osat on jo pystytty demonstroimaan käytännössä.

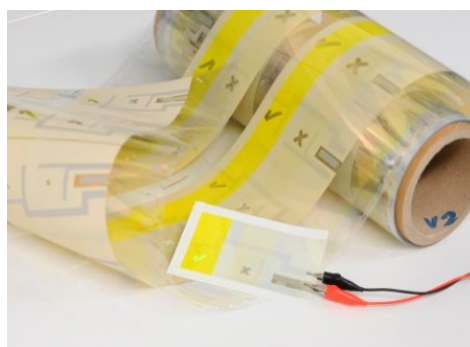
1.2 Painettu elektroniikka

Painetulla elektroniikalla, tai laajemmin ajateltuna painetulla toiminnallisuudella, tarkoitetaan komponentteja ja systeemejä, jotka laajentavat painamalla valmistettujen tuotteiden toiminnallisuutta yli perinteisen visuaaliseen käyttöön tarkoitetun tekstin ja grafiikan. Nämä toimivat aktiivisina osina funtionaalisissa tuotteissa ja suuremmissa informaatiojärjestelmissä. Painettu elektroniikka on teknologiakenttä, jossa VTT:n osaaminen erityisesti rullalta rullalle -prosessitekniikassa on maailman kärkeä. Tämä huimaa vauhtia kehittyvä valmistusteknologian alue mahdollistaa tulevaisuudessa erittäin halpojen elektroniikkatuotteiden valmistuksen.

a)



b)



Kuva 2. a) Elektroniikan rullalta rullalle -valmistuksessa käytettävä painokone ja b) painamalla tehtyä elektroniikkaa.

1. Johdanto

Painetun elektroniikan perusajatuksena on tehdä kokonaisia toiminnallisia systeemejä pelkästään painotekniikoita hyödyntäen. Rullalta rullalle -painomenetelmillä (Kuva 2a) elektroniikkakomponentteja ja niitä yhdistäviä virtapiirejä voidaan valmistaa nopeasti ja tehokkaasti jopa kilometrien pituisille kalvoille. Koska valmistusaika yhtä komponenttia tai toiminnallista moduulia kohden pystytään saamaan hyvin lyhyeksi, myös valmistuskustannukset voidaan saada todella alhaisiksi. Tämän valmistusteknologian yhteydessä puhutaankin paljon kertakäyttöisistä elektroniikkatuotteista, joita kulutetaan samaan tapaan kuin painettuja aikakauslehtiä tai tuotepakkauksia. Painaminen on myös additiivinen menetelmä, jossa materiaalia lisätään sen sijaan, että sitä poistettaisiin – kuten esimerkiksi perinteisessä syövytykseen perustuvassa piirilevyvalmistuksessa. Additiivisen valmistusprosessin ansiosta tuotanto voi olla halvempaa ja ympäristöä vähemmän kuormittavaa, kun vältetään ylimääräisen jätteen syntyminen. Tähän mennessä painotekniikoilla on jo demonstroitu hyvin monenlaisia rakenteita ja komponentteja (Kuva 2a), kuten yksinkertaisia johtimia, antennoja, aurinkokennoja, valoa tuottavia OLED-komponentteja, yksinkertaisia näyttöjä, erilaisia sensoreita jne.

1.3 Painetut hybridisysteemit

Painetuilla hybridisysteemeillä tarkoitetaan komponentteja ja systeemejä, joissa yhdistetään painettuja toiminnallisuksia perinteisiin elektroniikkakomponentteihin ja alikokoonpanoihin (Kuva 3). Tavoitteena on optimoida yhtäaikaaisesti tuotteen suorituskyky ja hinta hyödyntämällä eri valmistusteknologioiden etuja integroidussa tuotantoprosessissa.



Kuva 3. Painetut hybridisysteemit yhdistävät erilaisia toiminnallisuksia ja valmistusteknologioita.

Painetut hybridisysteemit on kokonaisuus, joka perustuu kalvomaisten piirilevyjen hyödyntämiseen ja jatkojalostukseen. Muovipohjaiset hybridit ovat puhtaaseen painotekniikkaan verrattuna astetta perinteisempi tapa tuottaa muovipohjaista elektroniikkaa. Kalvomaisia piirilevyjä tehdään tyypillisesti uusien rullalta rullalle -painotekniikoiden lisäksi perinteisellä silkkipainolla tai elektrolyyttisillä kasvatus- tai syövytysmenetelmillä. Laminoitintekniikoita puolestaan käytetään esimerkiksi älykorttien valmistuksessa, ja muotoon puristettuja laminaattimoduuleja voi käyttää myös 3D-ruiskuvaluinserteinä. Laminoitintekniikoissa on nähtävissä myös valmistusteknologiaa suoraviivaistava murrosteknologia, jossa joitakin perinteisen hybriditekniikan liitosvaiheita voidaan jättää pois.

Muovipohjaisissa hybridiratkaisuissa hyödynnetään muovia elektroniikan liitosalustana, johon liitetään erillisiä komponentteja tai siruja. Tällöin muovintegroitavissa elektroniikkamoduuleissa hyödynnetään puolijohdetekniikan tarjoamia funktioita esimerkiksi prosessoinnin, muistin, mikrosensoreiden tai valolähteiden (LED / laser) muodossa. Muovihybriditekniikan etuna on 3D-muovattavuus ja mahdollisuus integroida elektroniikkaa suuren pinta-alan ratkaisuihin vaikka suoraan tuotteiden runkoon. Lisäksi muovialustaan on kohtuullisen helppo tehdä räätälöityjä mekaanisia ja optisia tai anturityyppisiä funktioita, jolloin moduulin integrointiaste kasvaa.

Tulevaisuuden tuotteissa muovihybridit mahdollistavat elektroniikan toteutuksen IML-yhteensopivasti. Konsepti laajentaa ruiskuvalun mahdollisuuksia siten, että graafisen kuvion lisäksi IML-kalvon mukana laiterunkoon asennetaan elektroniikkaa. Aluksi sovellusalueina ovat todennäköisesti varsinkin laajan pinta-alan sensorit ja dekoratiiviset piirteet (esim. näppäimet, liukukytkimet, valoefektit yms.). Myöhemmin voidaan valmistaa monimutkaisempiakin systeemeitä, kuten antureita ja näyttöjä. Painetun elektroniikan käyttöalue siis todennäköisesti laajenee kertakäyttö-tyyppisistä ratkaisuihin yhä vaativampiin soveluksiin sitä mukaa kuin integrointitekniikan luotettavuus kasvaa. VTT:ssä on demonstroitu muun muassa kalvopohjaisten hybridien tekemistä ja päällevalua ruiskuvaluprosessissa sekä hybridien tekemistä laminoimalla. Painetun elektroniikan menetelmät sekä hybridi- ja laminoitintekniikat soveltuvat funktionaalisten IML-kalvojen tuottamiseen. Tekniikan houkuttavuus on massavalmistettavuudessa ja toisaalta räätälöinnissä – kalvoa vaihtamalla voidaan vaihtaa toiminnallisuuksia ilman, että esimerkiksi laitteen rungon mekaniikkaan tarvitsee tehdä muutoksia.

1.4 Materiaalit ja luotettavuus

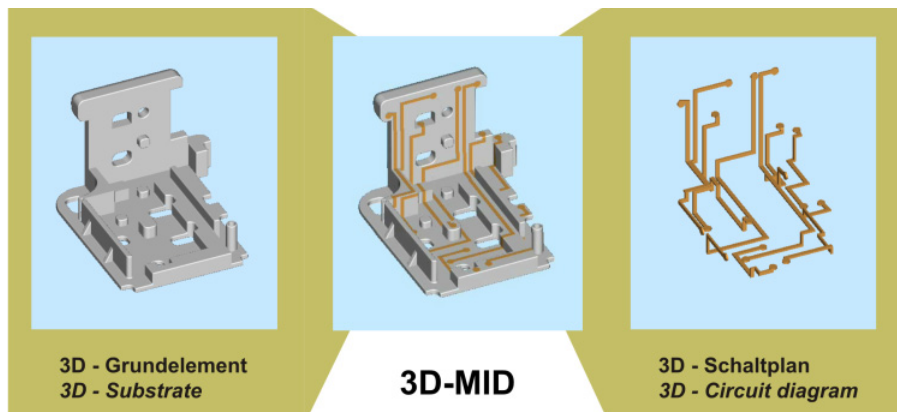
Lämpömuovattavat materiaalit (kestomuovit) ja niiden eri tavoin räätälöidyt variaatiot ovat muovi-integrointiteknologian perusta. Muovimateriaalien ominaisuuksia voi valita tai räätälöidä tarpeen mukaan esimerkiksi optisten, sähköisten, tai mekaanisten ominaisuuksien parantamiseksi. Ominaisuuksiin voi vaikuttaa pohjamateriaalin valinnalla ja muodostamalla komposiittimateriaaleja seostuksen kautta.

Elektroniikan kannalta tärkeitä kehityskohteita materiaaleissa ovat esimerkiksi adheesion parantaminen johdinkerroksiin, sähköisen permittiivisyyden säätäminen, juotettavuuden parantaminen sekä materiaalin kosteuden- tai kaasujen läpäisyominaisuuksien ja lämpöstabiilisuuden kehittäminen. Funktionaalisissa materiaaleissa, kuten EMFi-kalvossa, myös varauksen poistumiseen ja säilymiseen liittyvät räätälöinnit ovat oleellisia. Optisissa sovelluksissa säädetään yleensä taitekerrointa, materiaalin sironta- ja absorptio-ominaisuuksia (väriä) tai esimerkiksi kuumapuristukseen tai pinnoitusprosesseihin liittyvää viskositeettia prosessointilämpötiloissa. Mekaanisesti oleellisia ominaisuuksia ovat muun muassa materiaalin kovuus ja joustavuus.

Muovi-integrointitekniikoissa on vielä runsaasti luotettavuuteen liittyviä avoimia kysymyksiä. Muovimateriaalit käyttäytyvät eri tavalla kuin perinteiset elektroniikan pakkausmateriaalit. Muovit esimerkiksi läpäisevät hitaasti kosteutta ja kaasuja, jolloin perinteisesti käytössä olevat läpäisytestit saattavat antaa muovien kohdalla virheellisen kuvan pakkauksen tarjoamasta suojasta – kuva voi olla liian positiivinen tai negatiivinen tapauksesta riippuen. Myös muovien elastisuus ja joustavuus luovat omat haasteensa ja mahdollisuutensa pakkaustekniikkaan. Muovi-integrointiteknologian käyttöönotto voi siis edellyttää syvällisiä pakkaustekniikkaparadigmojen muutoksia ja siihen liittyvää perustutkimusta. Elektroniikan luotettavuutta muovi-integroiduissa rakenteissa parantaa rakenteiden monoliittisuus, jolloin mekaaninen kestävyys on huippuluokkaa. Elektroniikan upottaminen rakenteiden sisään lisää myös ympäristösietoisuutta – esimerkiksi pölyntymisen ja suoran kastumisen mahdollisuudet on eliminoitu.

2. Muovi-integroinnin historiallinen tausta

Muovi-integroinnin voidaan katsoa syntyneen 1980-luvulla, jolloin kehitettiin konsepti ruiskuvalettavasta kytkinalustasta (*moulded interconnect device*, MID). Tuolloin MIDien (Kuva 4) uskottiin olevan suuri läpimurto elektroniikan valmistustekniikan kehityksessä ja korvaavan perinteiset piirilevyt muutaman vuoden sisällä. Lopulta MIDien kaupallinen menestys jäi varsin vaatimattomaksi – teknologia osoittautui liian monimutkaiseksi ja kalliiksi suurimmalle osalle loppukäyttäjistä. Muita rajoittavia tekijöitä tuolloin olivat tuotannon joustamattomuus ja hidas pääsy markkinoille, samoin tuotantoinfrastruktuurin kehittymättömyys. Viime vuosien aikana MIDit ovat kuitenkin tehneet paluuta erityisesti uusien laserkuviontekniikoiden ansiosta, ja markkinavolyymit ovat kasvaneet tasaisesti 10–20 % vuodessa.

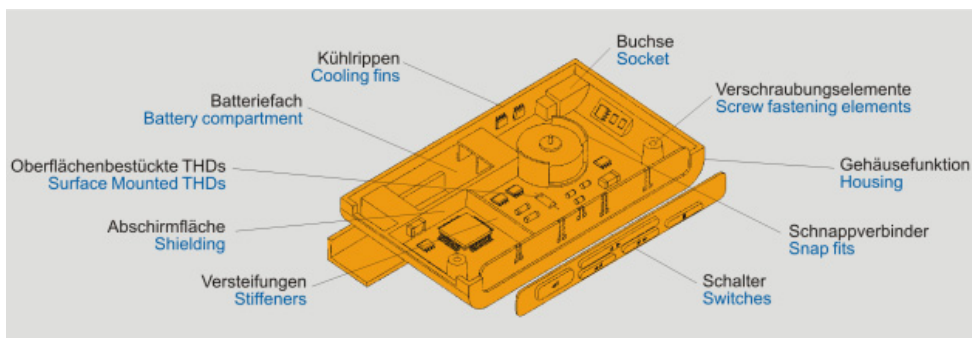


Kuva 4. MID integroi sähköisen johdotuksen ruiskuvaletun muovikomponentin mekaaniseen rakenteeseen [3-D MID e.V.].

2. Muovi-integroinnin historiallinen tausta

2.1 MID – *moulded interconnect device*

MIDit määritellään ruiskuvaletuiksi muovialustoiksi, jotka sisältävät johdinkuivioita ja integroivat mekaanisia ja sähköisiä toimintoja yhteen komponenttiin. Perinteiset piirilevyt ovat kaksiulotteisia rakenteita, joissa on erilliskomponentteja ja joko toisella tai molemmilla puolilla. MIDit mahdollistavat johdinkuvioiden ja erilliskomponenttien vapaan sijoittelun kolmiulotteiseen mekaaniseen rakenteeseen.



Kuva 5. MIDin mahdollisuuksia [3-D MID e.V.].

Mekaanisten ja sähköisten ominaisuuksien yhdistämistä kolmiulotteisiin rakenteisiin voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi integroiduissa kytkimissä, näppäimissä ja liittimissä (Kuva 5). MIDien avulla voidaan näin vähentää komponenttien lukumäärää sekä pienentää rakenteiden kokoa ja painoa, mikä vähentää kustannuksia, lisää luotettavuutta ja vähentää käytetyn materiaalin määrää keventäen tuotteen ympäristökuormaa. MIDEissä käytettyjen kestävä muovien kierrätettävyys on myös parempi kuin perinteisten piirilevyjen kertamuovien.

2.2 MIDin sovellusalueet

Tänä päivänä MIDien tärkeimpiä sovellusalueita ovat autoteollisuuden sekä kannettavien tietoliikennelaitteiden ja muun kulutuselektronikan komponentit. Esimerkiksi auton ohjauspyörään on integroitu johdotukset vilkuille, äänimerkille jne. (Kuva 5). Matkapuhelimen antenni on onnistuneesti toteutettu MID-tekniikalla (Kuva 7), ja myös kameramoduulissa on käytetty MID-tekniikkaa (Kuva 8).

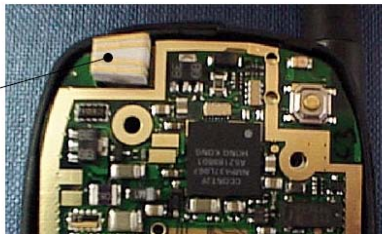
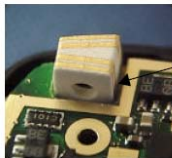
2. Muovi-integroinnin historiallinen tausta



Kuva 6. MID-teknologiaa hyödyntävä ohjauspyörä [TRW].



Views of MID design positioned in phone.



Kuva 7. Matkapuhelimen MID-teknikalla tehty antenni [Hitachi].



Kuva 8. Integroitu kameramoduuli, joka on valmistettu MID-teknikalla [Panasonic].

2. Muovi-integroinnin historiallinen tausta

MID-valmistusteknologioita on useita. Nykyisin suosituimpia ovat ns. LPKF-LDS-tekniikka sekä kaksikomponenttivalu. Näistä ensimmäisessä erikoismuovimateriaalista ruiskuvaletun komponentin pintaan piirretään johdinkuviot laserilla. Haluttu johdinkuvion paksuus saavutetaan kemiallisella kasvatuksella. Kaksikomponenttiruiskuvalussa kappale toteutetaan valamalla yhteen kahta eri muovimateriaalia, joista toisen pintaan voidaan kasvattaa johdinkerros kemiallisesti.

2.3 Lähteet

- 3-D MID e.V.: http://www.faps.uni-erlangen.de/mid/fs_e.html.
- Hitachi: <http://www2.hitachi-cable.co.jp/pdf/midnews.pdf>.
- Panasonic: <http://www.physorg.com/news2315.html>.
- TRW: http://www.trw.com.br/produtos/oss_steeringwheels-english.pdf.

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointi-tekniologiat

Elektroniikan integroiminen muovituotteisiin ei ole uusi keksintö, mutta VTT:n tutkimuksessa on löydetty vahvaa uutuusarvoa lähestymällä aihetta painetun elektroniikan suunnasta. Painettujen hybridisysteemien kehitystyö on keskittynyt kahteen pääasialliseen valmistusprosessiin: elektroniikkakalvojen laminointiin ja ylivaluun. Laminoinnissa perusajatuksena on kiinnittää yhteen kaksi tai useampi painettu piirilevykalvo, jolloin niiden väliin voidaan sijoittaa pieniä pii-pohjaisia elektroniikkakomponentteja. Paljaat puolijohdet voidaan näin suojata laminaatin sisään, jolloin komponentit eivät tarvitse erillistä paketointia. Tämä mahdollistaa varsin ohuiden ja sen myötä myös taipuisien rakenteiden valmistuksen suoraan käyttämällä paketoituja komponentteja halvempia paljaita puolijohdesiruja. Ylivaluprosessissa ideana on ensin kiinnittää elektroniikkakomponentit painetulle piirilevykalvolle ja sitten ruiskuvalaa päälle rakenteen haluttu 3D-muoto. Komponenttien kiinnitysvaiheessa kalvo voidaan pitää tasomaisena, minkä ansiosta ladonnassa pystytään käyttämään normaaleja tuotantolaitteita, eikä hitaampiin ja huonosti saatavilla oleviin erikoisiin laiteratkaisuihin tarvitse turvautua. Koska painettu piirilevykalvo on taipuisaa, se pystytään muotoilemaan tuotteen mukaisesti. Muoto voidaan jäykistää ruiskuvaluprosessin yhteydessä.

3.1 Lämpölaminoitujen monikerrosrakenteet

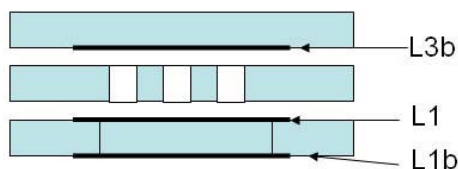
VTT on kehittänyt monikerrospolymeerisubstraattitekniologiaa, joka perustuu lähinnä polykarbonaatti- ja nestekidepolymeereihin. Polykarbonaattimateriaalin etuna on hyvä läpäisy valon näkyvällä aallonpituusalueella, mikä mahdollistaa materiaalin käytön muun muassa optisissa valaisu- ja anturisovelluksissa. Nestekidepolymeeria voidaan puolestaan hyödyntää hyvien RF-ominaisuuksiensa vuoksi erilaisissa elektroniikkasovelluksissa, joissa alustamateriaalin läpinäky-

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointitekniikat

vyydellä ei ole merkitystä. Kuvioituun nestekidepolymeeriin voidaan liittää komponentit juottamalla, mikä mahdollistaa normaalien pintaliitosprosessien käyttämisen piiriratkaisujen kokoonpanossa.

3.1.1 Laminoitu rakenne valaisusovelluksiin

Kuva 9 näyttää esimerkin kolmikerroksisesta polymeerisubstraattirakenteesta, joka kehitettiin ohuen ja taipuisan elementin toteuttamiseksi valaisusovelluksiin. Päälimmäiseen kalvoon on silkkipainettu johdin- ja liitosaluekuvionnit hopeapastaa käyttäen. Keskimmäiseen kalvoon on rei'itetty ontelot LED-siruille. Alimmaiseen kalvoon on tehty johdin- ja liitosaluekuvionnit sekä läpiviennit silkkipainamalla käyttäen hopeapastaa, ja yksittäiset kalvot on liitetty yhteen lämpölaminoimalla. Rakenteilla on tähän mennessä tuotettu sininen, vihreä ja valkoinen valaisu.



Kuva 9. Esimerkki kolmikerroksisesta polymeerisubstraattirakenteesta.

Käytännössä valaisun väri riippuu käytettävien LED-sirujen säteilyspektristä. Valkoisen valon tuotto on saatu aikaan sinisistä LED-siruista koostuvan rakenteen päälle lämpölaminoinnilla kiinnitetyllä fosforipintaisella kalvolla, jolloin säteilyspektri riippuu LEDin lisäksi myös käytetystä fosforista ja kerroksen paksuudesta. Toinen mahdollisuus toteuttaa valkoinen valaisu on sekoittaa monikerrosrakenteeseen kolme eriväristä sirua eli sininen, vihreä ja punainen. LED-siruihin perustuvien monikerrosrakenteiden käyttöä voidaan myös laajentaa melkoisen suoraviivaisesti lähi-infrapuna-alueen valaisusovelluksiin. Ultra-violetti-alueen valaisusovellukset vaativat puolestaan materiaalitekniistä kehitystä, sillä polymeerien ja käytettävien liitosmateriaalien elinikä voi nykyisellään olla hyvinkin rajallinen voimakkaassa ultravioletisäteilyssä.

3.1.2 LCP-kalvojen käyttö laminoituissa rakenteissa

Nestekidepolymeerien (LCP = *liquid crystal polymers*) käyttö piirilevymateriaalina käynnistyi merkittävässä määrin vasta tämän vuosituhannen alussa kehitystyön alkaessa tuottaa parempilaatuisia materiaaleja. Nämä LCP-materiaalit eroavat tavanomaisista piirilevymateriaaleista siinä, että niiden molekyylit ovat keskenään kohdistuneita ja organisoituja. Molekyylit pystyvät liikkumaan sulassa tilassa säilyttäen suuntautuneisuutensa, kun taas tavanomaiset polymeerit ovat satunnaisesti suuntautuneita. LCP-materiaalit tarjoavat tiettyjä etuja perinteisiin piirilevyihin verrattuna: suuremman vetolujuuden, pienemmän vesihöyryn läpäisyn, pienemmän kosteuden absorption (0,02 %), korkeamman lasin siirtymäpisteen (335 °C), millimetrialtoalueelle asti stabiilin dielektrisyysvakion ja pienemmät häviöt, alhaisemman CTE-arvon ja paremman kemiallisen stabiilisuuden.

Tarvittavat johdotukset voidaan valmistaa usealla eri tavalla. Yleisin menetelmä on syövyttää Cu-johtimet samaan tapaan kuin perinteisessä piirilevyvalmistuksessa. Lämpöjohtimet voidaan valmistaa mekaanisesti lävistämällä tai laseroimalla. Sähköinen kontakti saadaan aikaan joko pinnoittamalla tai painomenetelmällä. Kun kaikki tarvittavat johdinkerrokset on valmistettu, suoritetaan laminointi tarkoituksenmukaisessa laminaattorissa. VTT:ssä on käytössä Laufferin laminaattori, jolla voidaan saavuttaa 300 °C:n lämpötilan lisäksi tarvittava tyhjö-
taso sekä paine laminoitavien rakenteiden ympärille. Lämpötilan hallinta on tärkeää, sillä liian matala lämpötila aiheuttaa huonon laminointilujuuden ja liian korkea puolestaan epätasaisen laminointilaadun.

Kohtalaisen matala laminointilämpötila mahdollistaa aktiivisten komponenttien integroimisen ja hautaamisen. Esimerkiksi MEMS:hin perustuvan kapasitiivisen paineanturin integroimista LCP:hen on tutkittu viitteessä [Palasagaram 2006]. LCP-materiaalit ovat kalliimpia kuin perinteiset piirilevymateriaalit, kuten FR-4, joten ne eivät välttämättä ole kilpailukykyisiä matalan taajuuden sovelluksissa. Sen sijaan mielenkiintoisia sovelluskohteita löytyy esimerkiksi millimetrialtoalueen tietoliikennesovelluksista. Tutkimuksia on tehty ainakin 94 GHz:n sovelluksiin asti. NASA on osoittanut kiinnostusta menetelmää kohtaan, samoin sen soveltamiseen esimerkiksi sademäärien kaukokartoitukseen. Joitakin tutkimuksia on tehty myös LCP:n luotettavuudesta, ja sen on todettu sopivan avaruussovelluksiin [Chen 2006]. Näillä taajuusalueilla LCP kilpailee esimerkiksi LTCC-tekniikan kanssa. Edellä mainittujen hyvien ominaisuuksien lisäksi LCP mahdollistaa myös kaareville pinnoille liittämisen joustavan materiaalin ansiosta (Kuva 10).

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointitekniikat



Kuva 10. Esimerkki johdinkuvioista joustavan LCP-kalvon pinnalla.

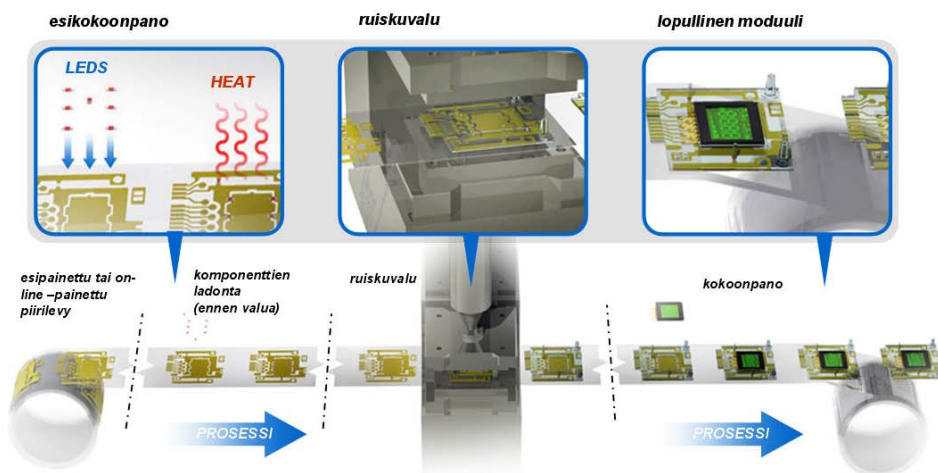
3.1.3 Kirjallisuutta

- B. Farrell & M. St.Lawrence, "The processing of liquid crystalline polymer printed circuits", Proc. Electronic components and technology conference, 2002, s. 667–671.
- J. Palasagaram et al., "MEMS-capacitive pressure sensor fabricated using printed-circuit-processing techniques", IEEE Sensors Journal, Vol. 6, No. 6, December 2006, s. 1374–1375.
- M. Chen et al., "Design and development of a package using LCP for RF/microwave MEMS switches", IEEE T on microwave theory and techniques, Vol. 54, No. 11, November 2006, s. 4009–4015.

3.2 Kalvojen ylivalu

VTT:ssä on panostettu voimakkaasti painetun elektroniikan tutkimukseen. Muovi-integroinnissa näitä ns. painetun älyn tutkimusalueella syntyneitä komponentteja ja yksinkertaisia systeemejä liitetään ruiskuvalun avulla saumattomasti osaksi muovituotteita. Erilaisten painotekniikoilla joustaville muovialustoille valmistettujen komponenttien lisäksi ruiskuvalun avulla rakenteisiin voidaan integroida erilaisia sähköisiä tai optoelektronisia erilliskomponentteja, jotka voivat olla pintaliitospakattuina tai jopa paljaita puolijohdesiruja.

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrintiteknologiat



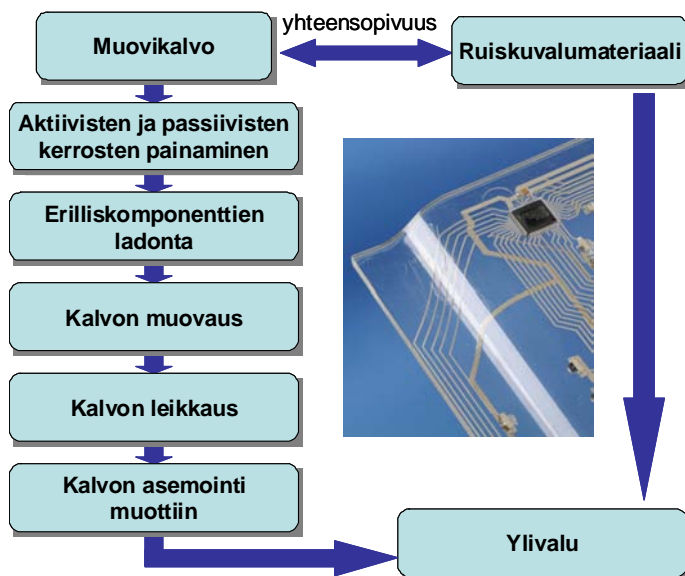
Kuva 11. Painettujen kalvojen ylivaluprosessin konseptikuva.

VTT:n kehittämässä valmistusprosessikonseptissa (Kuva 11) paljaat puolijohdesirut tai pintaliitoskomponentit ladotaan joustavalle piirilevyille ja syntynyttä kokoonpanoalustaa käytetään inserttinä ruiskuvaluprosessissa. Itse alusta voi myös sisältää toiminnallisia painettuja komponentteja. Mekaaniset ja optiset rakenteet valmistetaan ruiskuvaluprosessin aikana siten, että komponenttien väliset liittynät ja sirujen suojaukset syntyvät ilman jälkiprosessointia. Kuva 12 esittää ylivalun prosessikaaviota.

Kalvojen ylivalua hyödyntävän muovi-integrintitekniiikan etuja ovat

- lopputuotteen pienempi koko ja paino
- pienemmät valmistuskustannukset
- mahdollisuus vähentää erilliskomponenttien määrää
- nopeampi ja yksinkertaisempi kokoonpanoprosessi
- parempi kestävyys ja luotettavuus kosteutta, ilman epäpuhtauksia, lämpötilan vaihteluita sekä mekaanisia iskuja vastaan
- kierrätettävien kestopuovien hyödyntäminen
- mahdollisuus integroituihin optikkaosiin: ei tarvita välttämättä lainkaan erillisiä optikkaosia, joiden kokoonpano on kallista.

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointitekniikat

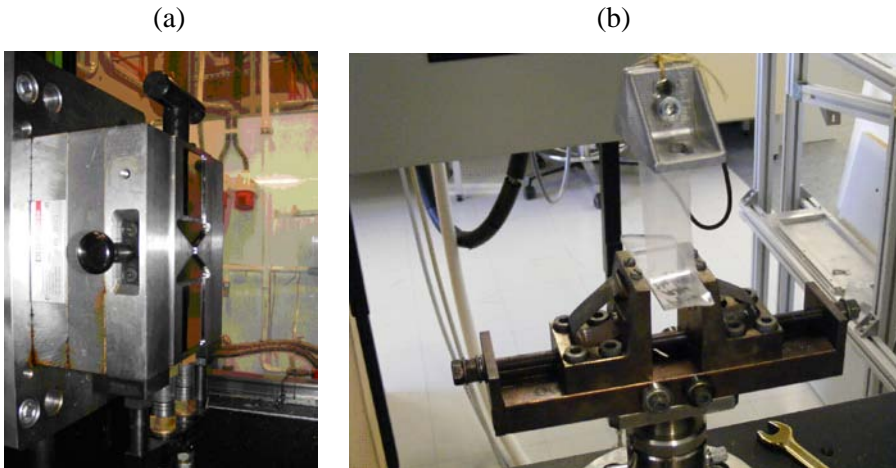


Kuva 12. Painettujen kalvojen ylivalun prosessikaavio.

3.2.1 Materiaalit

Kalvo- ja ylivalumateriaaleille asetettiin toteutetuissa testeissä kaksi ensisijaista vaatimusta: niiden tuli olla läpinäkyviä, jotta niitä voidaan käyttää optisiin ja optoelektronisiin sovelluksiin, ja niiden tuli olla yhteensopivia toistensa kanssa. Yhteensopivuuden vaatimus koski erityisesti ruiskuvaluprosessissa toisiinsa liitettävää kalvoa ja ylivalumateriaalia. Suuri määrä kaupallisesti saatavilla olevia läpinäkyviä kestopuovisia kalvoja ja ruiskuvalugranulaatteja testattiin pareina, jotta paras kombinaatio löytyisi. Näissä testeissä kalvo sijoitettiin inserttinä muottisyvennykseen ennen valua, ja valettu osa poistettiin muotista ruiskuvaluprosessin jälkeen. Kalvo sijoitettiin muottiin kahtena liuskana, jotka olivat 25 mm leveitä, jotta niitä voitiin käyttää kuorintatestikoneessa. Ylivalut tehtiin tavallisella hydraulisella ruiskuvalukoneella (Engel ES200 / 50 HL), joka oli varustettu ISO 294-3 laattasyvennyksellä. Kuorintatestiä ISO 8510-1 käytettiin mittaamaan adheesio kalvojen ja ylivaletun muovin välillä. Kuva 13 esittelee käytetyn testilaitteiston.

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integroitteknologiat



Kuva 13. (a) Laattaonkalomuotti ISO 294-3 (b) kuorintatesti ISO 8510-1.

Testeissä kävi ilmi, että yleisesti ottaen läpinäkyvillä muoveilla kalvon ja ylivalumateriaalin adheesio on huono [Koponen 2008]. Muutamia hyviä materiaaliyhdistelmiä kuitenkin löydettiin (Taulukko 1). Kuten taulukosta voidaan havaita, erittäin hyvä adheesio saatiin aikaan polykarbonaattikalvon (PC) ja polykarbonaattiyhdistelmäkalvon (PC) ja polykarbonaattiyhdistelmäkalvon (PET4) ja polykarbonaattiyhdistelmäkalvon välille, samoin polyeteenitereftalaattikalvon (PET4) ja polykarbonaattiyhdistelmäkalvon välille. Taulukossa PET-kalvot 1–4 ovat samalta valmistajalta kaupallisesti saatavilla olevia kalvoja PET4:n ollessa lämpöstabiloitu ja erikoiskäsitelty adheesio parantamiseksi. PC1 ja PC2 ovat saman peruspolymeerin eri variaatioita, jotka sisältävät erilaisia lisäaineita. Kohtalainen adheesio havaittiin PC-kalvon ja akryylin (PMMA) välillä, samoin PET2-kalvon ja PC:n välillä. Kaikilla muilla PET- ja PEN-kalvojen sekä PC- ja PMMA-yhdistelmäkalvojen yhdistelmillä adheesio oli joko heikko tai sitä ei ollut ollenkaan. Testatut polystyreeni- (PS) ja COC-yhdistelmäkalvot eivät muodostaneet adheesioita käytettyihin PC- tai PET-kalvoihin. VTT:n adheesiotestien lopputuloksena parhaimmaksi kalvomateriaaliksi optiikkaa hyödyntäviin rakenteisiin valittiin PET4 ja ylivalumateriaaliksi PC1.

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointitekniikat

Taulukko 1. Adheesiotestien tuloksia eräillä läpinäkyvien ja kaupallisesti saatavilla olevien kalvo- ja ylivalumateriaalien yhdistelmillä.

Kalvomateriaali	Ylivalumuovi				
	PC1	PC2	PMMA	PS	COC
PC	++++	++++	++	-	-
PET1	+	+	+	-	-
PET2	++	++	-	-	-
PET3	+	+	-	-	-
PET4	++++	++++	+	-	-
PEN1	+	+	-	-	-
PEN2	+	+	-	-	-

++++ erinomainen adheesio > 1,5 N

++ kohtalainen adheesio > 0,5 N

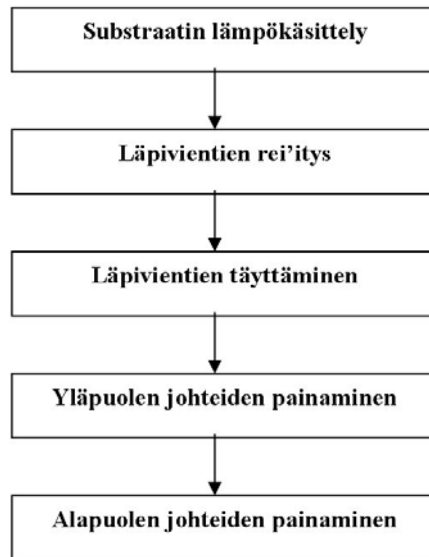
- ei adheesiota

+++ hyvä adheesio > 1 N

+ heikko adheesio > 0,2 N

3.2.2 Joustavien piirilevyinserttien valmistusprosessi

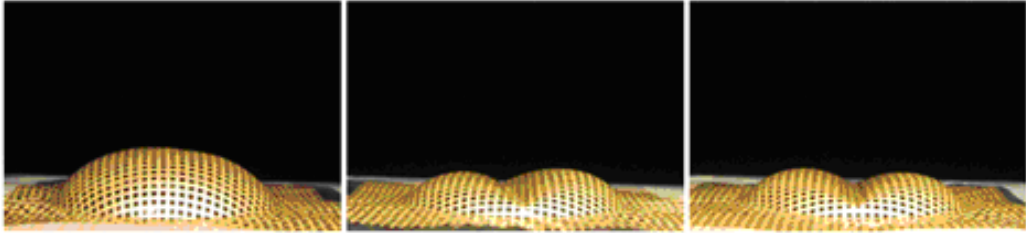
VTT:ssä kehitettiin valmistusprosessi joustaville piirilevyinserteille, jotka ovat yhteensopivia ruiskuvaluprosessin kanssa. Työhön kuului johdinten kuviointi-prosessin valinta ja kehitys, sopivien kaupallisten johtavien musteiden valinta ja kalvojen 3D-muovauksen testaus käyttäen edellisessä luvussa mainittuja materiaaleja. Kuva 14 esittää joustavien piirilevyinserttien valmistusprosessin kulun.



Kuva 14. Joustavien piirilevyinserttien valmistuksen prosessikaavio.

Tutkimustyön aikana tehtiin useita testejä oikeiden parametrien ja käytäntöjen löytämiseksi. Optimoidussa prosessissa substraatit lämpökäsiteltiin ennen käyttöä, jotta niiden kutistuma saatiin minimoitua johtavien musteiden kuivauksen aikana. Kutistuma stabiloitui yhden lämpökäsittelysyklin (150 °C / 60 min) aikana. Läviventireikien tekemiseen käytetty lävistintyökalu oli halkaisijaltaan 100 µm. Lävistämisen aiheuttamat ”kaulukset” läpiventireikien ympärillä olivat matalammat lävistimen puolella, ja siksi läpiventireikien täyttö tehtiin tältä puolelta. Täyttö tehtiin erillisenä prosessivaiheena käyttäen 30 µm paksua metallistensiiliä 100 µm:n rei'illä. Kaupallisesti saatavilla olevaa hopeamustetta käytettiin sekä reikien täyttöön että johdinten painamiseen. Testeissä käytettiin trampoliiniverkkoa mesh-luvulla 400. Käytetyn vetolastan kovuus oli 70 duro, painamisnopeus 10–20 mm/s ja paine 20–28 %.

Ruiskuvalettavan kappaleen muodosta riippuen inserttinä käytetty muovikalvo voi vaatia myös 3D-muovausta. Nykyään laajasti muoviteollisuudessa käytettyjen ns. IML (in-mould labelling) ja IMD (in-mould decoration) -menetelmien yhteydessä suosituimmat tavat kalvon muovaukseen ovat tyhjö-, ylipaine- ja lämpömuovaus. VTT:n kokeilemassa tekniikassa käytettiin alkuvaiheen testeissä tyhjömuovausta, myöhemmin ylipainemuovausta. Kuva 15 esittää 3D-muovattuja, johtavalla musteella rasterikuvioituja kalvoja.

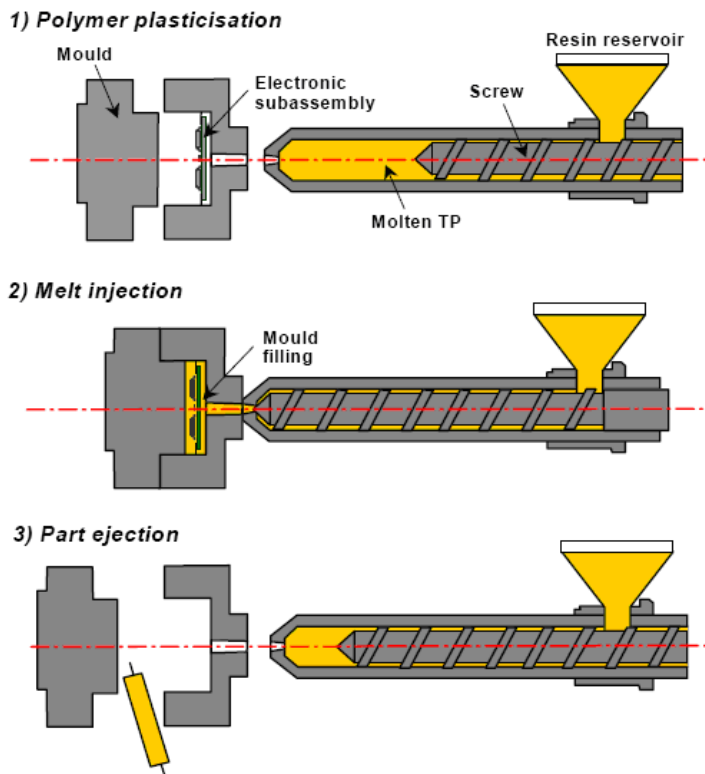


Kuva 15. 3D-muovattuja kalvoja.

3.2.3 Erilliskomponenttien ladonta ja ylivalu

Yksi este MIDien leviämislle laajempaan massatuotantoon on ollut kesto-muovien tyypillisesti alhainen lämmönkesto. Korkein muovien käyttölämpötila määräytyy taipumislämpötilan mukaan, joka määritellään staattisella kuormalla rasitettujen muovien pehmenemispisteestä. Tämän lisäksi lämpö kiihdyttää fyysikaalista ja kemiallista ikääntymistä. Useimpien muovien lämpölaajenemiskerroin on myös suurempi kuin metallien, mikä voi aiheuttaa johdinten irtoamista. Näiden syiden johdosta edulliset, läpinäkyvät kesto-muovit eivät kestä tyypillisen pintaliitosprosessin juotoksien vaatimia lämpötilaprofiileja (erityisesti lyijyttömässä liittämässä), mikä koskee myös paljaiden puolijohdesirujen flip-chip-liittämistä juoteliihtoksiin. Tämän vuoksi VTT:ssä on keskitytty alhaisten prosessilämpötilojen mahdollistamien liimaliitosten tutkimukseen: isotrooppisiin johtaviin liimaliitoksiin (*isotropic conductive adhesive*, ICA), anisotrooppisiin johtaviin liimaliitoksiin (*anisotropic conductive adhesive*, ACA) ja johtamattomiin liimaliitoksiin (*non-conductive adhesive*, NCA). Joustaville muovialustoille tehtiin testirakenteisiin liitettiin pintaliitoskomponentteja ICA-menetelmällä ja paljaita puolijohdesiruja flip-chip-ACA- ja NCA-menetelmillä.

Kuva 16 esittää ylivaluprosessin periaatteen normaalilla ruiskuvalukoneella. VTT:n tekniikassa elektroniikka-alustana (*electronic subassembly*) toimii pintaliitoskomponenteilla ja paljalla puolijohdesiruilla kalustettu joustava piirilevy kuvassa esitetyn jäykän inserttikappaleen sijaan. Inserttivaluissa käytetään usein myös ns. vertikaalista ruiskuvalukonetta, jossa ruiskutus tapahtuu pystysuuntaista liikettä tekevän muotin päältä.



Kuva 16. Elektroniikan ylivalu tavallisella ruiskuvalukoneella [Teh].

Ruiskuvaluprosessissa on tiettyjä ominaispiirteitä, jotka tekevät elektroniikka-komponenttien ylivalusta haastavaa: lämpötila voi nousta yli 300 °C:seen, paine voi olla yli 100 MPa ja leikkausvoimat voivat olla suuria johtuen sulan muovin korkeasta virtausnopeudesta (yli 50 mm/s) ja viskositeetista. Suora kontakti korkealämpötilaiseen, viskoosiin muovisulaan ylivalun aikana voi aiheuttaa termomekaanisen shokin, joka johtaa ylivaletun elektroniikkamoduulin vikaantumiseen. Juote- ja/tai liimaliitokset voivat esimerkiksi murtua lämpökuorman ja leikkausvoimien yhteisvaikutuksesta, mikä voi pahimmassa tapauksessa johtaa komponenttien irtoamiseen. Suuret erot lämpölaajenemiskertoimissa ylivaletun muovin ja kalvosubstraatin välillä voivat aiheuttaa esimerkiksi kalvon käyrystymistä ja termomekaanisen rasituksen siirtymistä elektroniikkaan. Tuotteen käyttöaikana tapahtuvat lämpötilanmuutokset voivat myös johtaa adheesion heikkenemiseen ylivaletun muovin ja kalvon välillä, mikä johtuu niiden erilaisesta laajenemisesta ja kutistumisesta.

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointiteknologiat

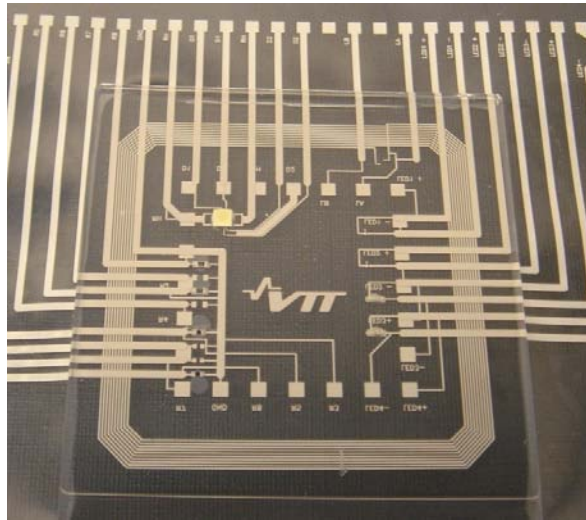
VTT:ssä toteutetuissa valukokeiluissa [Alajoki 2009] materiaalien yhteensopivuudet, liitostekniikat ja ruiskuvalun prosessiparametrit tutkittiin ja optimoitiin tarkasti. Testirakenteessa käytettiin luvussa 3.2.2 esitettyä joustavaa piirilevyalustaa. Testirakenteina valmistettiin kaikkiaan kaksitoista näytettä. Jokaiseen näytteeseen kiinnitettiin kaksi pintaliitosvastusta 0402-pakkauksessa ja kaksi vastusta 0603-pakkauksessa; kaksi 0603 pintaliitos-LEDiä; ja kultanystyillä varustettu flip-chipattu testisiru. Kaikki pintaliitoskomponentit asennettiin hopeapartikkeleilla täytetyllä johtavalla epoksiliimalla. Liima annosteltiin kontaktialueilla, komponentit ladottiin paikoilleen ja näyte kuivattiin 100 °C:ssa 30 minuutin ajan. Flip-chipattu testisiru liitettiin kalvolle käyttäen anisotrooppista johtavaa liimaa kuudessa näytteessä ja johtamatonta liimaa lopuissa kuudessa näytteessä. Ylivalut tehtiin samalla muotilla kuin luvussa 3.2.1 kuvaillussa adheesiotestissä.

Taulukko 2. Testirakenteiden valmistuksessa käytetyt ruiskuvaluparametrit.

Ylivalumateriaalin lämpötila	280 °C
Muotin lämpötila	80 °C
Painerajoitus	50 bar
Ruiskutusnopeus	110 mm/s
Pakkauspaine	53 bar
Annos	72 mm

Taulukko 2 sisältää ylivalettujen testirakenteiden (Kuva 17) valmistuksessa käytetyt tärkeimmät ruiskuvaluparametrit. Kaikki komponentit kaikissa näytteissä toimivat ylivalun jälkeen. Näytteet tarkastettiin myös visuaalisesti eikä liitos- ja komponenttivaurioita tai muita näkyviä vikoja havaittu.

3. VTT:ssä tutkittavat muovi-integrointitekniikat



Kuva 17. Esimerkki ylivaletusta testirakenteesta.

Testirakenteille suoritettiin lämpörasitus- ja syklaustestit, jotta niiden luotettavuutta voitiin arvioida. Lämpörasitustesti tehtiin vakiolämpötilassa ja –ilman-
kosteudessa +85 °C ja 85 % 500 tunnin ajan. Lämpösyklaustestiä käytettiin, jotta materiaalien lämpölaajenemiskerrointen eroista johtuvia luotettavuusongelmia voitaisiin tutkia. Syklauksessa lämpötila vaihteli –40 °C:n ja +85 °C:n välillä syklin pituuden ollessa 1,5 tuntia. Testeissä näytteet altistettiin kaikkiaan 280 syklille. Lämpörasitus- ja syklaustestien jälkeen näytteet karakterisoitiin toiminnallisesti, röntgenläpivalaisulla ja hie’eillä. Yhteenvetona joissakin näytteissä havaittiin adheesion pettäminen kalvon ja ylivaletun muovin välillä, mikä aiheutti muutamassa tapauksessa johtimien murtumisen. Oikealla johdinmusteen valinnalla tätä ongelmaa voitiin kuitenkin vähentää ja nostaa toiminnallisten komponenttien osuus 90 prosenttiin.

Yhteenvetona voidaan todeta, että testeistä saatiin lupaavia tuloksia, joiden mukaan pintaliitoskomponenttien ja paljaiden sirujen liittäminen joustaville muovalustoille on yhteensopiva menetelmä ruiskuvalun kanssa. Kombinaatiota voidaan soveltaa muovi-integroinnissa. Erityisesti lyhyen aikavälin luotettavuus havaittiin erinomaiseksi, joskin varsin rajujen ympäristötestien jälkeen havaittiin jonkin verran vikoja. Suurta luotettavuutta vaativissa sovelluksissa tulee siis suorittaa lisäanalyysjä.

3.2.4 Kirjallisuutta

- N.J. Teh et al. "Embedding of Electronics within Thermoplastics Polymers by Injection Moulding. IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium", s. 10–18, 2000.
- M. Koponen, T. Alajoki, T. Kosonen, J. Petäjä, M. Heikkinen, T. Vuorinen & J.-T. Mäkinen, "Adhesion of Flexible Printed Circuit Substrate to Overmoulded Polymer and Characterization of Overmoulded Electronic Components", IMAPS Nordic Annual Conference, Helsingör, Denmark, s. 207–212, 2008.
- T. Alajoki, M. Koponen, E. Juntunen, J. Petäjä, M. Heikkinen, J. Ollila, A. Sitomaniemi, T. Kosonen, J. Aikio & J.-T. Mäkinen, "In-mould integration of electronics into mechanics and reliability of over moulded electronic and optoelectronic components", 2009 European Microelectronics and Packaging Conference (EMPC), 2009.

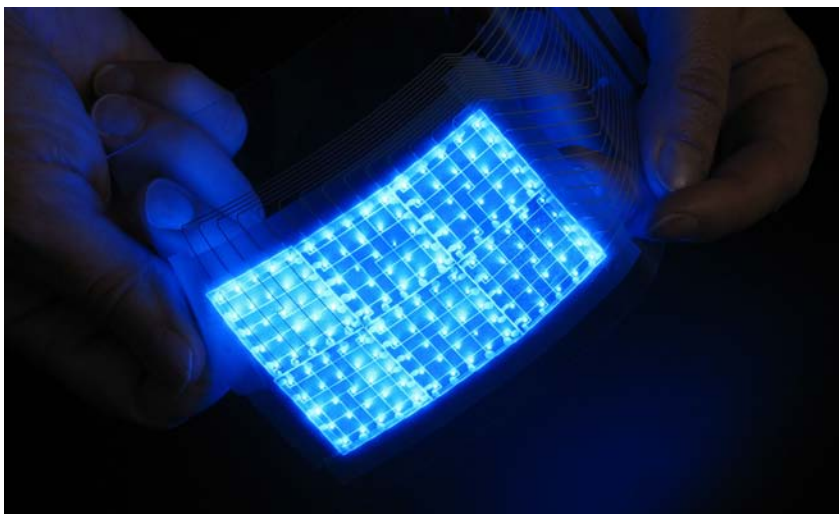
4. Valmistetut teknologiademonstraattorit

Tässä kappaleessa esitellään muovi-integroinnin alalla valmistettuja teknologiademonstraattoreita, jotka on toteutettu VTT:n eri tutkimusprojekteissa usean vuoden aikana. Tarkoituksena on kertoa teknologian nykytilasta. Esillä olevat demonstraattorit painottuvat vahvasti optisiin sovelluksiin, mikä johtuu siitä, että aktiivisesti hybridisysteemien parissa toiminut VTT:n yksikkö on tehnyt pitkään erityisesti optoelektronisten moduuleiden pakkaustekniikkaan liittyvää tutkimusta. Käytetyt valmistusteknologiat eivät kuitenkaan rajoita sovelluksia pelkästään optoelektroniikkaan, vaan ne käyvät myös muunlaisen elektroniikan integrointiin.

4.1 Laminoidut LED-elementit

Tekesin ja VTT:n rahoittamassa *Proof-of-Concept* (POC) FILAS-projektissa vuosina 2009–2010 arvioitiin monikerrospolymeerisubstraatteihin haudattujen epäorgaanisiin puolijohdesiruihin perustuvan valaisuelementin kaupallistamisen mahdollisuuksia. Projektissa demonstraattorina valmistettu valaisuelementti koostui kolmesta silkipainolla kuvioidusta kalvosta, jotka liitettiin yhteen lämpölaminoimalla. Rakenteilla tuotetut värit olivat sininen, vihreä ja valkoinen. Valikoisen valon tuotto saatiin aikaan sinisistä LED-siruista koostuvan rakenteen päälle lämpölaminoinnilla kiinnitetyllä fosforipintaisella kalvolla (Kuva 18). Hankkeen aikana löydettiin yksi kaupallinen toimija, Articulated Technologies, joka pystyy tuottamaan vastaavanlaisia rakenteita, joten maailmanlaajuisesti ainutlaatuisesta valmistusteknologiasta ei ole kyse. VTT:n kehittämä valmistusprosessi mahdollistaa kuitenkin paljaiden sirujen käytön sekä kokonaisintegroidun ohuen ja taipuisan valaisurakenteen, joka on laajasti räätälöitävissä.

4. Valmistetut teknologiademonstraattorit



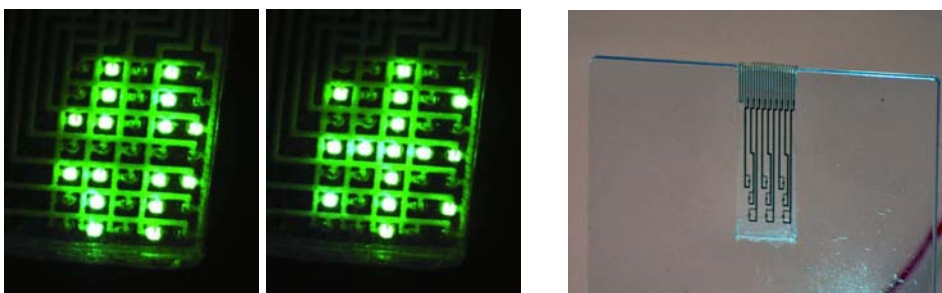
Kuva 18. Valkoista valoa tuottava joustava valaisuelementti.

Toinen laminoimalla valmistettu demonstraattorirakenne oli LED-matriisi, jossa kalvojen väliin sijoitettiin yhteensä 35 kappaletta vihreää valoa tuottavia puolijohdesiruja. Matriisin kukin siru voidaan sytyttää ja sammuttaa erikseen, jolloin sitä voidaan käyttää yksinkertaisena näyttönä (Kuva 19a ja Kuva 19b). Vain 0,3 mm paksu rakenne on myös taipuisa, ja se voidaan valaa edelleen muovirakenteen sisälle (Kuva 19c).

a)

b)

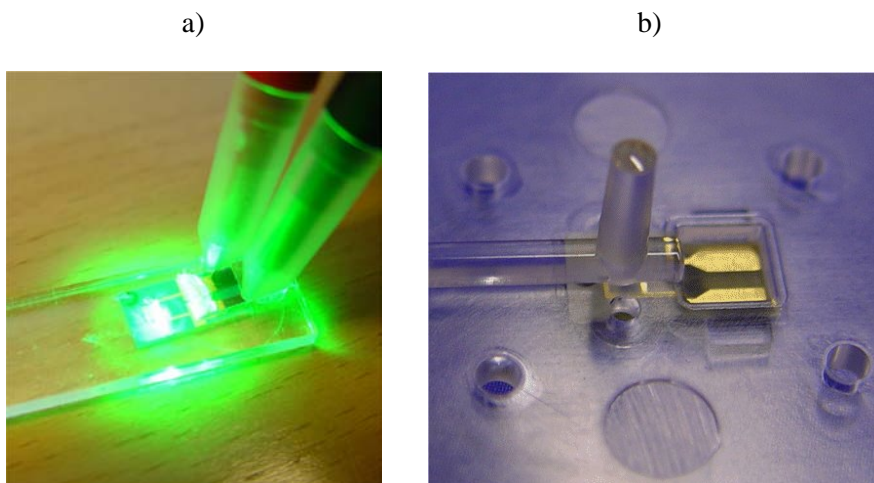
c)



Kuva 19. Vihreitä LED-siruja sisältävä laminoitu näyttömatriisi kahdessa erilaisessa tilassa a) ja b). c) Laminoitu LED-matriisi valettuna muovilevyn sisälle.

4.2 Integroitu optiikka

Vuosina 2005 ja 2006 toteutetussa AKTIVA-projektissa tehtiin useita demonstraattoreita, joilla testattiin ruiskuvalutekniikan soveltuvuutta jäykän piirilevyn päälle kiinnitettyjen LED ja VCSEL (laser) -komponenttien yli valettujen optiikkarakenteiden valmistukseen. Kuva 20a esittää testirakenteen, jossa muovilevyn sisälle on valettu paljaita puolijohdesiruja. Siruja testattiin sekä perinteisellä piirilevyalustalla (FR4) että keraamisubstraatilla (LTCC) [Keränen 2007]. Kuva 20b esittää toista testirakennetta, jossa laser-komponentin päälle valettiin muovinen linssi. Sen tehtävänä oli kollimoida lähteen keila yhdensuuntaiseksi säteeksi [Keränen 2007].



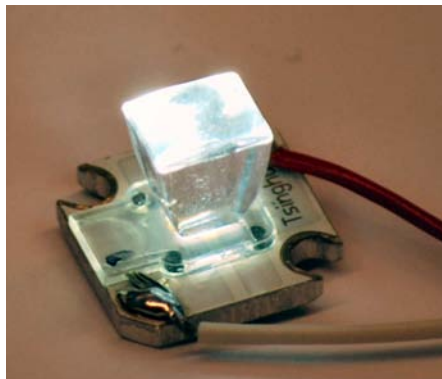
Kuva 20. Muovin sisälle valetut a) LED- ja b) VCSEL-komponentit.

Monimutkaisempia optisia rakenteita kokeiltiin valamalla alumina-alustalla olevan valkoista valoa tuottavan LEDin päälle erityinen heijastinrakenne (Kuva 21). Rakenteen ansiosta valaisukuvio on sivusuhteeltaan noin 3:4 suorakaide, jota voitaisiin käyttää esimerkiksi hyvin pienikokoisen kuvaprojektorin valomoottorina tai digitaalikameran salamana.

Toinen monimutkaisempi demonstraattori oli matkapuhelinkameran lisälaitteeksi suunniteltu mikroskooppilinssi (Kuva 22). Linssi sisältää sekä kuvantavan että valaisuun tarkoitetun rakenteen, ja se on valettu suoraan FR4-piirilevyn päälle sekä siitä läpi. Piirilevylle kiinnitetyillä LED-siruilla ja valetulla optisella rakenteella saadaan aikaan hyvin kompaktisti toteutettu moduuli, joka toimii

4. Valmistetut teknologiademonstraattorit

yhdessä kameran sisältävän matkapuhelimen kanssa taskussa kannettavana tallentavana mikroskooppina [Mäkinen 2007].

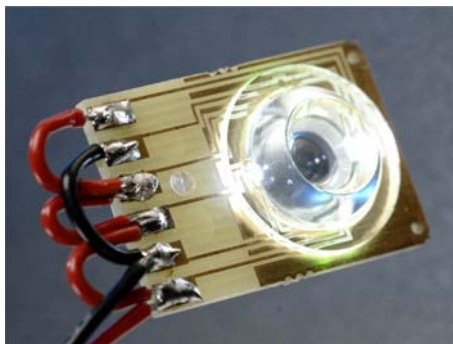


Kuva 21. Alustan ja valkoisen LED-lähteen päälle valettu optinen rakenne.

a)



b)

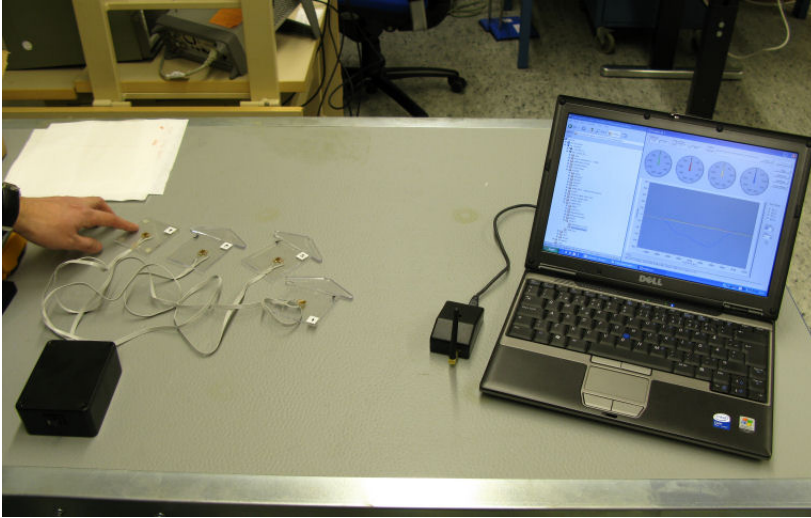


Kuva 22. Mikroskooppiläilaitteen linssi a) valun jälkeen ja b) LEDit päällä.

4.3 Integroitu venymäliuska

Kuva 23 esittää integroidun sensoritoiminnon havainnollistamista varten valmistettua systeemiä. Demonstraatiosysteemi sisältää sarjan muovilevyjen sisälle valettuja venymäliuskoja, jotka on kytketty lukuelektroniikkaan. Lukulaite on puolestaan kytketty langattoman RF-linkin kautta tietokoneeseen. Tietokoneessa oleva ohjelma tulkitsee venymäliuskan antaman sähköisen signaalin perusteella, kuinka paljon muovilevy taipuu, kun sitä painetaan sormella tai kun sen päälle

lastataan punnuksia. Systemissä taipuman määrä kerrotaan viisarinäyttöjen avulla tietokoneen ruudulla, mutta siitä olisi mahdollista muokata myös kokonaisuus, joka mittaa ja kertoo suoraan levyn päälle lastatun massan painon.



Kuva 23. Sarja muovilevyjen sisään valettuja venymäliuskoja ja langattoman radiolinkin avulla toteutettu demonstraattorisysteemi.

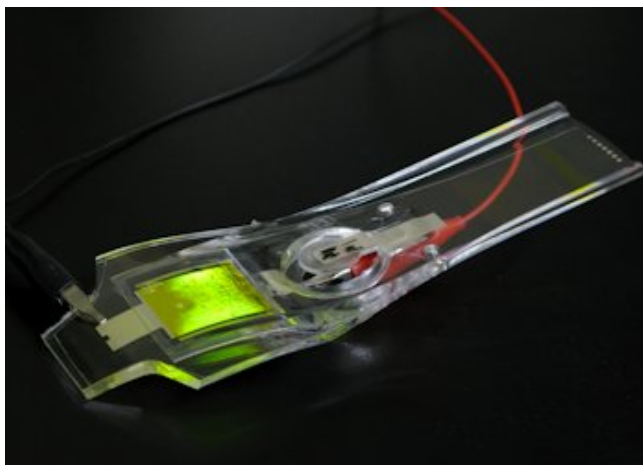
4.4 Muovin sisälle upotettu OLED

OLEDit ovat hyvin mielenkiintoisia, valoa tuottavia elementtejä, jotka ovat vähitellen yleistymässä eri näyttö- ja valaisusovelluksissa. Näissä komponenteissa valoa synnytetään tavallisissa LEDeissä käytettyjen epäorgaanisten puolijohdemateriaalien sijaan orgaanisilla materiaaleilla, minkä vuoksi niiden valmistusprosessi on erilainen. Koska OLEDejä voidaan tehdä myös painotekniikalla rullalta rullalle -menetelmällä, elementtien hinnan uskotaan putoavan merkittävästi valmistusprosessien kypsyessä. Tällä hetkellä suurin este joustavien näyttöjen tuotteistamiselle on valmistettujen rakenteiden elinikä. Markkinoilla olevat OLED-tuotteet on paremman kestävyuden vuoksi laminoitu lasilevyjen sisälle, mikä tekee niistä jäykkiä ja tasomaisia. Lisäksi niitä valmistetaan höyrystämällä, mikä on selkeästi kalliimpi tekniikka kuin painaminen.

Kuva 24 esittää muovilevyn sisälle valettua OLED-elementtiä, jolla testattiin, kuinka hyvin valaiseva materiaali kestää ruiskuvaluprosessia. Tuloksena nähtiin, että rakenne pystyi edelleen tuottamaan hyvin valoa. Myös sen elinikä kasvoi

4. Valmistetut teknologiademonstraattorit

merkittävästi, kun ilman hapelle ja kosteudelle herkkä orgaaninen materiaali saatiin suojattua paksun muovikerroksen sisälle. Kuvan elementtiä myös taivutettiin hieman ruiskuvalumuotissa. Tämä osoitti, että esimerkiksi kaarevan näytön valmistaminen ylivalutekniikalla on mahdollista. Kokonaisuutena pelkällä muovirakenteella suojatut OLEDit eivät kuitenkaan ole vielä kypsiä kestokulutustuotteisiin niiden lyhyen elinajan vuoksi.

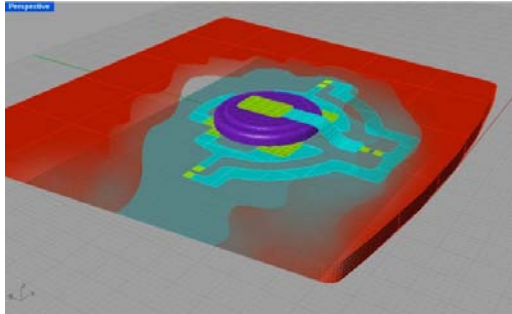


Kuva 24. Muovirakenteen sisälle valettu painettu OLED-elementti.

4.5 Valaistu jäänraaputin

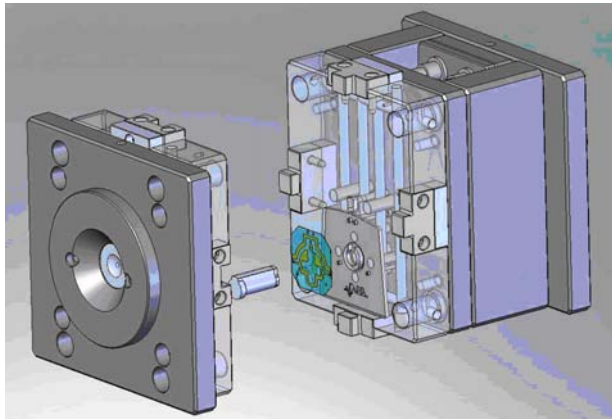
Valaistu jäänraaputin demonstroi VTT:n kehittämää kalvojen ylivaluun perustuvaa muovi-integrointitekniikkaa, jossa pintaliitos-LEDit on upotettu muovin sisään. Pääasiallisen tarkoituksensa eli auton ikkunoiden jäänpoiston lisäksi nokkela laitedemonstraattori tuottaa LED-valaisun. Vaikka kappale näyttää yksinkertaiselta ja helpolta valmistaa, muutamat yksityiskohdat tekevät siitä haastavan. Erikoisvalmisteinen pistin leikkaa kalvoinsertin siten, että muotin sulkeutuessa ruiskuvalun aikana syntyy mekaaninen ja sähköinen rakenne integroidulle patterikotelolle ja päälle/pois-kytkimelle ilman jälkiprosessointia. Kuva 25 esittää valaistun jäänraaputtimen konseptin. Painokytkimen muodostamiseksi suunniteltu kalvoleikkaus on esitelty tarkemmin tämän raportin muotoilua käsittelevässä luvussa (Kuva 53).

4. Valmistetut teknologiademonstraattorit



Kuva 25. Konseptikuva valaistusta jäänraaputtimesta.

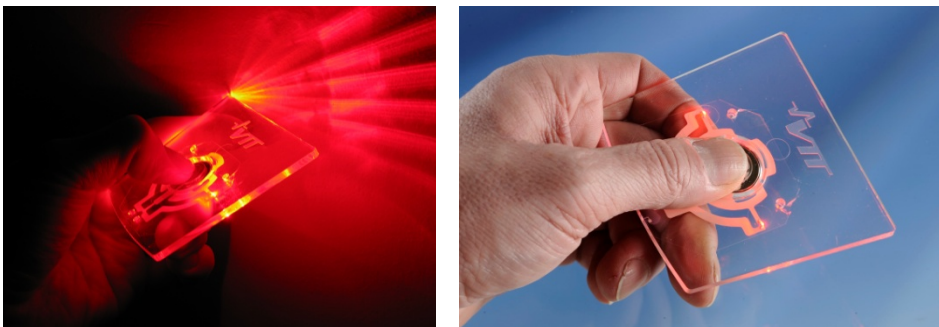
Kuva 26 esittää demonstraattorin valmistuksessa käytetyn muotin mekaniikka-suunnitelmaa. Älykkään tuotesuunnittelun ansiosta pariston paikallaan pitävä uloke sekä patterikotelon reunat voidaan valmistaa ilman keernaa. Paikallaan pysyvässä muottipuoliskossa on vain pieni syvennys ja pistin. Syvennyksessä olevat tapit tulevat kalvoinsertissä oleviin läpireikiin ja pitävät kalvoinsertin paikallaan pysyvää muottipuolisko vasten. Pistin ohjautuu tarkasti liikkuvan muottipuoliskon sisällä ja leikkaa kalvon. Samaan aikaan kalvoon leikkautunut uloke painautuu liikkuvaa muottipuolisko vasten ja toimii täten lopulta sähköisenä kontaktipintana nappipariston yläpuolisko varten. Tämä uloke toimii LEDien päälle/pois-kytkimenä: LEDit syttyvät, kun käyttäjä painaa ulokkeen kiinni paristoon ja sulkee täten virtapiirin.



Kuva 26. Räjätyskuva ruiskuvalumuotista. Kalvoinsertti ja pistin näkyvät keskellä.

4. Valmistetut teknologiademonstraattorit

VTT toteutti 76 kappaleen prototyypisarjan jäänraaputtimesta (Kuva 27). Ruis-kuvalun jälkeen toimintakuntoisena säilyi 65 kappaletta, joten prosessin saannoksi saatiin 85,5 %.



Kuva 27. Valaistu jäänraaputin.

4.6 Optinen kosketuspaneeli

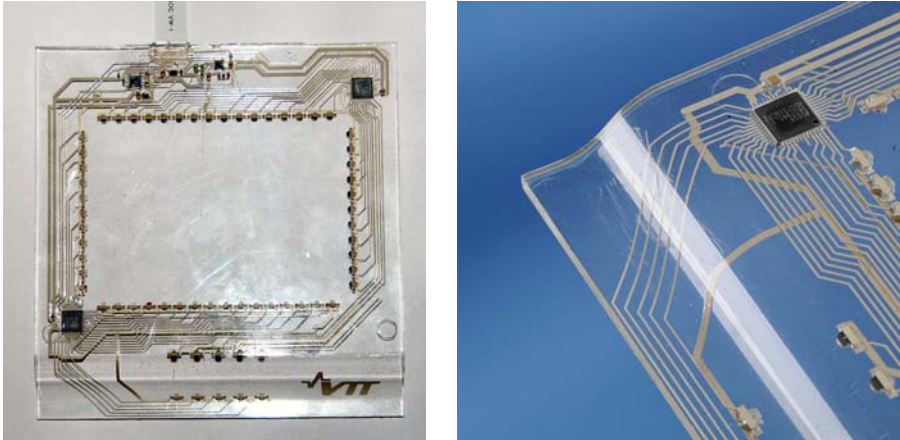
Optinen kosketuspaneeli on edellistä demonstraattoria monimutkaisempi ja lähempänä realistista tuotetta oleva esimerkki kalvon ylivalun käytöstä. Paneelin toimintaperiaatteena (Kuva 28) on kokonaisheijastuksen avulla muovilevyn sisällä kulkevan valon vaimennus. Muovi-ikkunan kahdella sivulla on rivi infrapunavaloa lähettäviä LEDejä ja kahdella vastakkaisella sivulla rivit optisia detektorikomponentteja. Kun levyn pintaa kosketetaan sormella, osa valojohteen sisällä kulkevasta valosta kytkeytyy ulos rakenteesta sormeen ja LEDeistä detektorille kulkeutuvassa valosignaalisissa nähdään vaimentuma. Kosketuksen paikka pinnalla voidaan päätellä eri detektoreille tulevien signaalien eroista.



Kuva 28. Optisen kosketuspaneelin toimintaperiaate.

Integroidun kosketuspaneelin etuna ovat rakenteen robustisuus sekä sen viemä pieni tila. Muovilevyn sisälle valetut komponentit ovat hyvin suojassa lialta ja kosteudelta. Levyllä voidaan myös suoraan korvata LCD-näytön päällä yleisesti käytetty muovinen suojaikkuna ilman, että rakenteen paksuus kasvaa, ja näin

passiivisesta näytöstä voidaan tehdä aktiivinen kosketusnäyttö. Paneelia voidaan tarvittaessa myös muotoilla seuraamaan tuotteen pintaa, jolloin sitä voidaan käyttää esimerkiksi kodinkoneen kaarevaan muovikuoreen integroidussa käyttöliittymässä.



Kuva 29. a) Valettu kosketusnäyttödemonstraattori kokonaisuudessaan ja b) lähikuva demonstraattorin nurkasta, jossa näkyy levyn muotoiltu reuna.

Kuva 29 esittää ruiskuvaletun demonstraattorin toisen kehitysversion. Valmistuksessa LEDit ja detektorit kiinnitettiin ensin painetulle kalvolle yhdessä muiden elektroniikkakomponenttien kanssa, minkä jälkeen sen päälle valettiin läpinäkyvä polykarbonaattilevy. Demonstraatiokappaleessa on tasaisen alueen lisäksi muotoiltu reuna-alue, joka sisältää yhden erillisen rivin LEDejä ja detektoreita. Tätä kohtaa voidaan käyttää yksinkertaisempänä liukukytkimenä, jolla pystytään säätämään esimerkiksi näytön kirkkautta tai äänen voimakkuutta.

Kosketuspaneelin kaupallisia mahdollisuuksia kartoitettiin vuosina 2009 ja 2010 toteutetussa MOFO-projektissa. Laitteeseen liittyvälle valmistusteknologi-alle ollaan hakemassa myös patenttia [Aikio 2010].

4.7 Kirjallisuutta

- K. Keränen, M. Silvennoinen, A. Lehto, J. Ollila, T. Salmi, J.-T. Mäkinen, A. Ojapalo, M. Schorpp, P. Hoskio & P. Karioja, "Short and long term reliability of in-mould sealed bare and glob-top shielded LED devices", Proceedings of 16th European Microelectronics and Packaging Conference (EMPC), Oulu, Finland, June 17–20, s. 280–284, 2007.
- J.-T. Mäkinen, K. Keränen, J. Hakkarainen, M. Silvennoinen, T. Salmi, S. Syrjänen, A. Ojapalo, M. Schorpp, P. Hoskio & P. Karioja, "Inmould integration of a microscope add-on system to a 1.3 Mpix camera phone", Proceedings of SPIE, Vol. 6585, 2007.
- K. Keränen, T. Saastamoinen, J.T. Mäkinen, M. Silvennoinen, I. Mustonen, P. Vahimaa, T. Jääskeläinen, A. Ojapalo, M. Schorpp, P. Hoskio & P. Karioja, "Injection moulding integration of a red VCSEL illuminator module for a hologram reader sensor", Proceedings of SPIE, Vol. 6585, 2007.
- J. Aikio & A. Keränen, "Arrangement for a touchscreen and related method of manufacture", PCT-hakemus WO 2010/046539, julkaistu 29.4.2010.

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

5.1 SWOT-analyysi

Taulukko 3 kertoo tämänhetkisen näkemyksen muovi-integroinnin tilasta Suomessa. Tämä ns. SWOT analyysi pyrkii kartoittamaan aiheeseen liittyvät vahvuudet, heikkoudet, tulevaisuuden mahdollisuudet sekä jatkokehitykseen liittyvät uhat. Analyysi on hyvin pelkistetty tapa hahmottaa kokonaisuutta isossa mittakaavassa, ja sisältöihin voidaan myös esittää useita erilaisia näkemyksiä. Seuraavissa alaluvuissa tarkennetaan sanallisesti nelikentässä esitettyjä aiheita.

Taulukko 3. SWOT-analyysi muovi-integroinnin teknologian tilasta Suomessa.

<p>Vahvuudet</p> <p>Suomesta löytyy paljon korkeatasoista moniteknologista osaamista.</p> <p>Työkulttuuri suosii yhteistyötä ja tiedon jakamista.</p>	<p>Heikkoudet</p> <p>Tuotteiden luotettavuus ja riittävä saanto tuotannossa on todistamatta.</p> <p>Hybridisysteemien suunnittelusäännöt eivät ole vielä valmiita.</p>
<p>Mahdollisuudet</p> <p>Painetun elektroniikan ja hybridi-integroinnin tutkimus on vahvaa.</p> <p>Mahdollistaa murroksen elektroniikkalaitteiden valmistuksessa.</p>	<p>Uhat</p> <p>Elektroniikkateollisuutta on siirtynyt paljon Aasiaan.</p> <p>Vaatii painetun elektroniikan kehityksen kypsäksi teknologiaksi.</p>

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

5.1.1 Vahvuudet ja heikkoudet

Suomesta löytyy runsaasti korkeatasoista moniteknologista osaamista, jota tarvitaan muovi-integroinnin eri osa-alueiden yhteensovittamisessa. Elektroniikka-suunnittelun lisäksi kolme muuta merkittävintä tulevaisuuden hybridisysteemien suunnittelussa ja valmistuksessa tarvittavaa osaamisen aluetta ovat painotekniikka, ruiskuvalutekniikka sekä teollinen muotoilu.

Hybridisysteemien suunnittelussa ja valmistuksessa tarvitaan aiempaa enemmän yhteistyötä eri osaamisalueiden välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että painotekniset rajoitukset pitää pystyä huomioimaan piirilevy-suunnittelussa ja muotoilijan pitää pystyä hahmottamaan tuotteen kuoren piirteiden lisäksi elektroniikkakomponenttien ja joustavan piirilevyn integroinnista tulevia suunnittelusääntöjä. Tämä vaatimus voidaan nähdä sekä negatiivisena että positiivisena asiana. Tiiviin yhteistyön tarve eri alueen asiantuntijoiden välillä kasvattaa suunnitteluvaiheen kompleksisuutta ja luo omat haasteensa sekä laite- että henkilöstöressurssien kehittämiseksi. Toisaalta edellytys monitekniseen osaamiseen pakottaa globaalit yritykset etsimään tuotteidensa kehitykselle toimintaympäristön, jossa tarvittavaa asiantuntemusta on saatavilla. Juuri tässä vaatimuksessa piilee myös Suomen mahdollisuus. Meillä löytyy paljon korkeasti koulutettuja ja oikean taustan omaavia henkilöitä, jotka pystyvät hyödyntämään teknologian tarjoamia etuja. Lisäksi Suomessa vallitsee hyvin tasa-arvoinen työskulttuuri, joka kannustaa ihmisiä yhteistyöhön ja tiedon jakamiseen. Avoin työskulttuurin merkitys korostuu moniteknisten integroitujen tuotteiden suunnittelussa, jossa rakenteiden ja valmistusprosessien optimointia pitää pystyä tekemään yhtäaikaaisesti. Ilman saumatonta yhteistyötä suunnittelutyö ajautuu helposti osaoptimointiin, mikä heikentää huomattavasti integroinnista saatavia etuja.

Integroitujen tuoterakenteiden valmistuksessa suureksi haasteeksi nousee helposti tuotantoprosessin saanto. Saanto on tunnusluku, joka kuvaa, kuinka suuri osa prosessin tuloksena olevista tuotteista täyttää niille asetetut vaatimukset. Vaatimustason alittavia tuotteita ei voi myydä, mutta niiden valmistamisesta kertyy kustannuksia. Koska kokonaisen tuotteen valmistuskustannukset riippuvat kaikkien tuotantoprosessin eri vaiheiden yhteiskustannuksista, tuotannon suunnittelussa pyritään hakemaan optimi eri tuotantovaiheiden välille. Tämä tarkoittaa myös saantoon liittyvän riskin minimoimista erottamalla eri valmistusvaiheet toisistaan. Integroitujen rakenteiden kohdalla ongelmana on se, että hylättyjen tuotteiden toimivia osia ei välttämättä pystytä käyttämään uudelleen

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

kierrättämällä ne takaisin valmistuslinjan alkupäähän. Runsaasti kalliita elektroniikkakomponentteja sisältävän piirilevyn valaminen muovin sisälle aiheuttaa suuria paineita valuprosessin saannolle, koska pienikin valuvaiheessa tapahtuva poikkeama tarkoittaa koko alikokoonpanon ja sen valmistukseen käytettyjen komponenttien ja materiaalien hukkaamista. Painettu elektroniikka helpottaa tätä tilannetta alentamalla ylivalettavan elektroniikkakokoonpanon kustannuksia. Hyvin halvan elektroniikkaosan tuhoutuminen mahdollisen valuvirheen seurauksena ei nosta tuotteen kokonaiskustannuksia liiallisesti, ja paine epärealistisen suurta saantoa kohtaan helpottaa. IML-tekniikan yleisyys osoittaa myös sen, että kalvotekniikan ja ruiskuvalun yhdistäminen on mahdollista riittävän hyvällä saannolla. Integroinnin tuoman lisäarvon pitää vain olla riittävän suuri perustelemaan tuotannon kehittämiseen tarvittavat lisäpanostukset.

Hybriditekniikan yhtenä suurena heikkoutena on tällä hetkellä sen suhteellinen kypsyttömyys. Sekä painettu elektroniikka että kalvojen päällevalutekniikka ovat vielä pitkälti tutkimusympäristöissä tapahtuvaa toimintaa. Suunnittelusäännöt eivät ole vielä ehtineet kehittymään kokonaisuudessaan sille tasolle, että niiden avulla voitaisiin suunnitella monimutkaisia elektroniikkalaitteita luotettavasti massatuotantoa varten. Näiden suunnittelusääntöjen hahmottamiseksi tarvitaan vielä paljon lisää tutkimustyötä. VTT pyrkii omalta osaltaan vastaamaan tähän haasteeseen kehittämällä tutkimusresurssejaan laboratoriomaisesta toiminnasta lähemmäksi tuotantoympäristöä. Oulussa käynnissä oleva Printo-Cent-kokonaisuus on tällä hetkellä luomassa pilottitehdasympäristöä painetun elektroniikan tutkimukseen. Tehtaaseen on myös suunnitteilla elektroniikan komponenttien latomakoneen sekä ruiskuvalukoneen sisältävä jälkikäsitteilylinja (Kuva 11), jonka avulla painettujen hybridisysteemien valmistusta voitaisiin lähteä kokeilemaan piensarjatuotantona. Tätä raporttia kirjoitettaessa suunnitelman toteutumisesta ei ole vielä olemassa varmaa tietoa. Linja olisi kuitenkin teknologian parissa tehtävän tutkimuksen oleellinen osa, jolla voi olla ratkaiseva merkitys kokonaisuuden kaupallistamisessa.

5.1.2 Mahdollisuudet ja uhat

Esteettinen vaikutelma on yksi merkittävimmistä tekijöistä, joka erottaa kaksi samankaltaisilla teknisillä ominaisuuksilla kilpailevaa tuotetta toisistaan. Muotoilulla pystytään vaikuttamaan suuresti paitsi tuotteen ulkonäköön, myös sen käytettävyyteen. Hybriditekniikan yhtenä suurena lupauksena on vapauttaa elektroniikkatuotteiden muotoilu jäykän piirilevyn rajoitteista. Tämän mahdolli-

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

suuden täysimääräinen hyödyntäminen vaatii teknologian määrittämien suunnittelusääntöjen lisäksi syvää ymmärrystä muotoilun mahdollisuuksista tuotesuunnittelussa. Yhdistämällä teknologiaosaamista käyttöergonomian tuntemukseen voidaan saada aikaan aivan uudenlaisia tuotteita, jotka mukautuvat paremmin käyttötilanteeseen tai käyttäjään. Tämä sama kehityssuunta on ollut nähtävissä Suomessa muun muassa uuden Aalto yliopiston perustamisen myötä. Hybriditekniologia on varsin mainio esimerkki kokonaisuudesta, jonka kaikki hyödyt saadaan esille vain yhdistämällä perinteinen kova insinööritiede pehmeämpään ihmislähtöiseen lähestymistapaan tuotesuunnittelussa.

Elektroniikkateollisuuden joukkopako Aasiaan on suuri uhka Suomessa tapahtuvalle teknologiakehitykselle ja sen mukana tuleville uusille työpaikoille. Tuotannon siirryttyä halvemman työvoiman perässä itään myös tuotantoon liittyvä osaaminen alkaa hiljalleen rapistua. Integroitujen systeemien suunnittelussa valmistustekniikan ominaispiirteiden huomioiminen on erityisen tärkeää. Jos elektroniikan valmistukseen ja ruiskuvaluun liittyvä osaaminen heikentyy Suomessa liikaa, muovi-integroinnin suuret mahdollisuudet voivat jäädä käyttämättä. Kokenutta työvoimaa on tällä hetkellä hyvin saatavilla, mutta tulevaisuudessa tilanne voi olla heikompi, mikäli nykyistä kehitystä ei saada pysäytettyä.

Tässä raportissa kuvailtu teknologia voi saada aikaan todellisen murroksen elektroniikkalaitteiden suunnittelussa ja valmistuksessa. Integrointi voi alentaa elektroniikkatuotteiden valmistuskustannuksia huomattavasti. Painetun elektroniikan avulla sähköisten komponenttien hinta tulee painumaan alas, ja kun piirilevy asemoidaan tuotteeseen ruiskuvalun aikana, myös kokoonpanovaihe voidaan jättää kokonaan pois. Ruiskuvalu on tarkkuustyöstöä vaativa mekaaninen kokonaisuus, jota voidaan tarvittaessa käyttää myös tarkkojen kohdistusten tekemiseen. Näin ruiskuvalun suurin etu, prosessin yksivaiheisuus, tulee hyötykäyttöön myös elektroniikkalaitteiden valmistuksessa.

Teknologiamurroksissa on saavutettavien etujen lisäksi aina myös omat ongelmansa, jotka liittyvät nykyisten ja uusien yritysten sijoittumiseen muuttuvissa liiketoimintaketjuissa. Kun elektroniikka integroidaan muoviiin ja kokonaisen tuotteen valmistus voidaan tehdä esimerkiksi perinteisesti ruiskuvaluun keskittyneellä tehtaalla, nousee suureksi kysymykseksi eri toimijoiden roolit muuttuneessa ympäristössä. Perinteisiä muoviesineitä valmistaneet yritykset voivat laajentaa valikoimaansa sellaisiin tuotteisiin, joihin integroitu elektroniikka tuo selkeää lisäarvoa. Myös nykyiset kulutuselektroniikkalaitteiden valmistajat voivat teettää laitteidensa osakokoonpanoja alihankintana muovi-integrointiin erikoistuneilla toimijoilla. Tämän kehityksen haasteena on yritysten kyky ottaa

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

haltuunsa uusia teknologiakokonaisuuksia. Hybriditeknologia voi saada aikaan uudelleenjärjestäytymistä perinteisissä logistiikkaketjuissa, mikä voi myös luoda uusia tilaisuuksia aktiivisesti paikkaansa hakeville yrityksille.

Suomessa on perinteikkään paperiteollisuuden ansiosta vahvaa osaamista painotekniikan alalla, ja 2000-luvulla tätä ammattitaitoa on siirretty myös elektroniikan valmistuksen kehittämiseen. VTT:ssä painettu elektroniikka muodostaa tänä päivänä tärkeän keihäänkärkiteknologian, jonka tutkimukseen panostetaan runsaasti. Ouluun rakennettu ja yhä kehittyvä painokonekanta tarjoaa maailmanmittakaavassa poikkeuksellisen hyvän toimintaympäristön tutkimustyölle, ja osaaminen erityisesti rullalta rullalle -prosessitekniikassa on hyvin korkeatasoista. Laajan ja aktiivisen tutkimustoiminnan vuoksi on hyvin todennäköistä, että painetun elektroniikan alalle syntyy lähivuosina useita uusia yrityksiä, jotka pyrkivät kaupallistamaan kehitettyä teknologiaa. Tämä on painettujen hybridisysteemien kannalta suuri mahdollisuus mutta myös uhka, mikäli kaupallistaminen ei etene riittävän nopeasti. Toisaalta hybriditeknologia myös tukee ja nopeuttaa painetun elektroniikan kaupallistamista, koska sen avulla voidaan valmistaa jo nyt toimivia elektronisia moduuleita yhdistämällä painettuihin kokonaisuuksiin perinteisiä elektroniikkakomponentteja.

5.2 Hybriditeknologian soveltuvuus kriteerit tuotteille

Hybriditeknologiaa ei ole mielekästä käyttää kaikkien elektroniikkatuotteiden valmistukseen. Monitekniisyys ja valmistusteknologioiden integroiminen kasvattavat tuotekehitysvaiheen kompleksisuutta, ja teknologialla saavutettavan lisäarvon täytyy ylittää tuon monimutkaistumisen aiheuttama haitta. Lisäksi esitetyt valmistusmenetelmät soveltuvat parhaiten massavalmistukseen, joten myös tuotteen odotettu myyntivolyymi täytyy ottaa huomioon. Elektroniikkalaitteita valmistetaan nykyisin hyvin kustannustehokkaasti, ja muovi-integroinnilla valmistettujen laitteiden tai moduulien pitää pystyä kilpailemaan myös valmistuskustannuksissa, mikäli tuotteella on jo olemassa perinteisellä tekniikalla tuotettu kilpakumppani. Yhtenä mahdollisuutena on kuitenkin kasvattaa olemassa olevien yksinkertaisten muovituotteiden arvoa lisäämällä niihin elektroniikkaa, jolloin tuotteen myyntihinta voidaan määritellä ehkä jopa ilman suoraan kilpailevaa verrokkia. Seuraavassa on listattu joukko määritteitä, joiden avulla pystytään tunnistamaan muovi-integroinnille soveliaita tuotteita.

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

3D-muotoilu

Vapaampi muotoilu on ehkä suurin lisäarvo, jota muovi-integroinnilla voidaan saavuttaa. Hybriditeknologiaan kuuluva joustavan kalvon käyttö mahdollistaa elektroniikan taivuttamisen tuotteiksi, joita perinteisillä tekniikoilla ei pystytä joko tuottamaan lainkaan tai niiden valmistaminen vaatisi niin paljon esimerkiksi käsityötä, että tuotanto ei olisi riittävän kilpailukykyistä. Saumattomalla muotoilulla pystytään myös tekemään laadukkaan ja modernin näköisiä tuotteita, jotka erottuvat helposti kilpailijoistaan. Lisäksi vapaalla muotoilulla voidaan nostaa tuotteen käytettävyys aivan uudelle tasolle.

Kompaktius

Umpeen valetussa kappaleessa ei ole ylimääräistä ilmaa, joka kasvattaa turhaan tuotteen mittasuhteita. Koska kappaleessa ei ole kuoria, siinä ei myöskään tarvita kuorien kiinnittämisessä pakollisia liitosrakenteita ja osia, kuten ruuveja ja ruuvitorneja. Ylimääräisten rakenteiden karsimisella voidaan myös pudottaa tuotteen painoa.

Ympäristösietoisuus

Muovin sisälle valettu elektroniikka kestää hyvin käsittelyä ja kosteutta. Lisäksi umpeen valamalla voidaan tehdä saumattomia tuotteita, jotka eivät kerää likaa ja jotka on helppo puhdistaa. Tarvittaessa laite voidaan vaikka upottaa kokonaan desinfiointiliuokseen tai pestä astianpesukoneessa. Muovin kosteussietoisuus ei ole kuitenkaan rajaton, joten integroitua laitetta ei voi todennäköisesti sijoittaa pysyvästi märkään ympäristöön. Sopivilla materiaalivalinnoilla se kuitenkin saattaa kestää esimerkiksi nieltynä matkan ihmisen suoliston läpi.

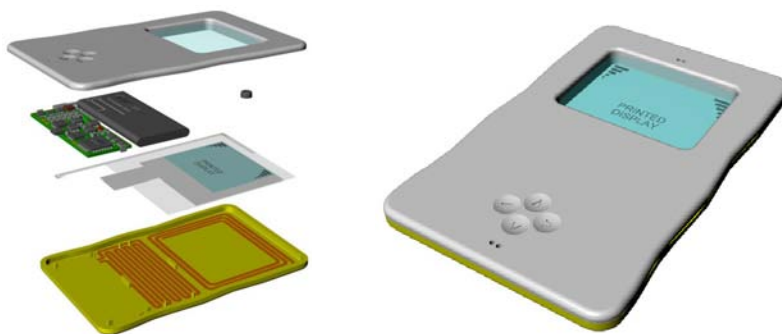
Hinta ja tuotantovolyymi

Sekä ruiskuvalu- että painoteknologia soveltuvat parhaiten suurten tai hyvin suurten valmistussarjojen tuotteille. Muovi on materiaalina suhteellisen edullista, mutta tuotannon aloittamiseen liittyvät kustannukset ovat usein korkeat. Tilanne on tuttu ruiskuvalutekniikasta, jossa tuotannon aloittamiseen tarvitaan aina helposti kymmeniä tuhansia euroja maksava muotti, jonka hankintakustannukset pitää pystyä kuolettamaan riittävän suurella tuotevolyymillä. Kymmenien tai satojen kappaleiden myyntimäärillä valtaosa tuotteen valmistuskustannuksista muodostuisi muotin hinnasta, ja tällöin tuotteelle olisi helppo löytää vaihtoehtoisia, edullisempia valmistustapoja. Kymmenien tai satojen tuhansien kappaleiden sarjoissa valmistusprosessin ja materiaalin kustannukset alkavat dominoida kap-

palekohtaisia valmistuskustannuksia. Integroinnin edut korostuvat vasta suurissa sarjoissa, joissa tuotteen hintaa voidaan painaa alas kohti raakamateriaalin hankintakustannuksia.

5.3 Hybriditekniikan mahdolliset sovellusalueet

Yksi selkeä sovellusalue, jossa integrointitekniikasta voi olla paljon hyötyä, on kulutuselektroniikka. Matkapuhelimen kaltaiset mukana kannettavat laitteet sopivat hyvin em. soveltuvuus-kriteereihin. Pieni koko, keveys, robustisuus ja muotoiltavuus ovat kaikki tavoiteltavia piirteitä. Hybriditekniikka ei kuitenkaan ole vielä kypsä kokonaisten monimutkaisten laitesysteemien valmistukseen. Tästä huolimatta tietyt yksinkertaisemmat moduulit, kuten esimerkiksi kosketusnäytöt tai painetut näyttöpaneelit, voivat olla toteutettavissa jo nykypäivän tekniikalla (Kuva 30).



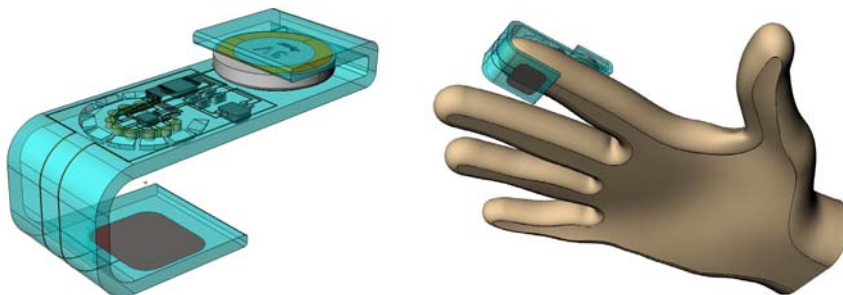
Kuva 30. Hybriditekniikalla valmistetun kannettavan laitteen tuotekonsepti.

Kulutuselektroniikkalaitteiden hintakilpailu on usein hyvin ankaraa, ja siksi uuden tekniikan käyttöönotossa tulevia korkeampia aloituskustannuksia voi olla vaikea perustella ilman suurta lisäarvoa. Toisaalta hybriditekniikan kaksi kulmakiveä, painotekniikka ja ruiskuvalu, ovat molemmat menetelmiä, joiden avulla tuotteen tai moduulin hinta voidaan painaa todella alhaiseksi valmistustekniikan kehittyessä.

Kodinkoneet ovat toinen selkeä hybriditekniikan sovellusalue. Ne täyttävät hyvin kriteerin riittävän suurista valmistussarjoista, ja muun muassa kosteuden sieto on alueella selkeä etu. Vaikka esimerkiksi pesukonetta ei tarvitse suunnitella mahdollisimman pieneksi, sen kaltaiset tuotteet voivat hyötyä paljon muotoiltavuudesta. Kodinkoneissa on nähtävissä selkeä suuntaus kohti kaarevalinjaisia

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

muovikuorisia tuotteita, joita ei ole tarkoituskaan piilottaa näkyvistä. Muovi-integroinnin avulla esimerkiksi laitteen isokokoinen käyttöliittymäpaneeli voitaisiin sovittaa paremmin tuotteen muotoihin, tai tiskikoneen sisälle voitaisiin suunnitella uusi pesutilaan sijoitettava sensorimoduuli.



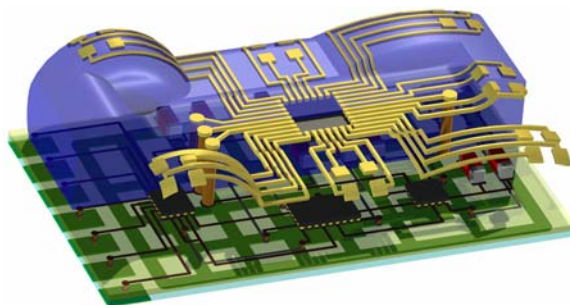
Kuva 31. Sormeen liitettävän diagnostiikkalaitteen tuotekonsepti.

Kolmas mahdollinen sovelluskohde ovat lääketieteen diagnostiikkalaitteet (Kuva 31). Tämä tuotealue hyötyy erityisesti umpeen valettujen laitteiden tai niiden osien puhdistettavuudesta. Lisäksi monimutkaista kemialla käyttävät tuotteet voivat olla fyysisesti suhteellisen yksinkertaisia, jolloin valmistusmenetelmien soveltuminen massatuotantoon pääsee hyvin esille, ja hinta voidaan saada painettua jopa kertakäyttöisyyden tasolle. Uudentyyppinen kotitestaustuote voisi sisältää yksinkertaisen valaisu- ja mittauselektroniikan, jonka avulla määritellään esimerkiksi raskauden toteamisen lisäksi sen kesto nykyistä tarkemman mittausperiaatteen avulla. Terveydenhoidon alalla tuotteet eivät myöskään kilpaile välttämättä niin paljon hinnalla painopisteen ollessa lähinnä luotettavuudessa ja toimintavarmuudessa, mikä on selkeä etu teknologian käyttöönottoaiheessa.

Autoteollisuus on todennäköisesti yksi hybriditeknologian ensimmäisistä käyttäjistä. Ajoneuvoissa on jo pitkään hyödynnetty MID-komponentteja, koska niiden avulla voidaan päästä eroon osasta auton painoa ja valmistuskustannuksia kasvattavia johdotuksia. Erilaisten auton sisä- ja ulkotilaa tarkkailevien elektronisten sensoreiden määrän lisääntyessä tarve integroiduille moduuleille (Kuva 32) on kasvamassa. Myös valaistusjärjestelmät ovat vaihtumassa nopeasti energiaa säästäviin LED-pohjaisiin moduuleihin, ja integrointitekniikan avulla näiden pienten elektroniikkaosien sulauttaminen auton rakenteisiin on helpompaa kuin perinteisellä tekniikalla. Myös robustisuuteen on aina kiinnitetty suurta huomiota autoteollisuudessa, koska tuotteiden elinikä on pitkä ja luotettavuuden

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

täytyy olla hyvin korkealla tasolla. Suuri osa auton toimilaitteista on nykyisin toteutettu erilaisina kokonaan vaihdettavina moduuleina. Umpeen valaminen ei siis välttämättä haittaa lainkaan huoltotoimenpiteitä, vaan ne saattavat itse asiassa jopa helpottaa, kun erilaiset liitántärajapinnat selkeytyvät.



Kuva 32. Konseptikuva integroitua elektroniikkaa sisältävästä moduulista.

LEDit ovat tällä hetkellä nousemassa hyvin voimakkaasti esiin erilaisissa valaisusovelluksissa dekoratiivisista koristeiluista katuvalaistukseen. Energiaa säästävät puolijohdekomponentit valtaavat markkinoita perinteisiltä hehkulamputta, joiden käyttöä rajoitetaan tulevaisuudessa yhä voimakkaammin kansainvälisillä määräyksillä. LEDit ovat pienikokoisia ja suhteellisen yksinkertaisia elektroniikkakomponentteja, jotka sopivat hyvin yhteen integrointiteknologian kanssa. Tästä osoituksena ovat dokumentin luvussa 4 näytetyt esimerkit. Yleisvalaistuksessa pienen koon, suuren valotehon ja näistä seuraavan suuren pintakirkkauden vuoksi LEDit vaativat usein seurakseen optiikkaa, joka levittää valon häikäisemättömäksi valaisukeilaksi. Hybriditekniikoiden avulla valaisumoduuleihin pystytään yhdistämään sähköisten ja mekaanisten piirteiden lisäksi helposti myös optisia piirteitä. Optiikan vaatimat tarkat kohdistukset voidaan hoitaa integroiduissa moduuleissa suoraan muotissa. Yleisvalaisussa esiin nousevaa tehokkaimpien LEDien lämmöntuotto-ongelmaa voidaan helpottaa käyttämällä useampia pienempitehoisia siruja kiinnitettynä suuremmalle pinta-alalle. Laajojen pinta-alojen täyttäminen elektroniikan johdotuksilla on toteutettavissa mielekkäästi ja kustannustehokkaasti painotekniikalla. Umpeen valetut LED-moduulit puolestaan soveltuvat robustisuutensa ansiosta hyvin myös ulkokäyttöön.

Eräs erittäin mielenkiintoinen alue hybriditekniikoille on teknologian mahdollistamat uudet tuotteet. Johdanto-osassa esitelty älylusikka (Kuva 1) on esimerkki esineestä, jossa ei ole totuttu näkemään elektroniikkaa lainkaan. Integrointitek-

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

niikoilla elektroniikkaa ja sen mukanaan tuomaa ”älyä” voidaan sulauttaa arkipäivän tuotteisiin ilman, että puututaan niiden normaaliin käyttötapaan. Elektroniikan tuoma lisäkustannus voi olla varsin pieni, kun painettu elektroniikka on kehittynyt tasolle, jossa suurin osa tarvittavista komponenteista pystytään valmistamaan rullalta rullalle. Elektroniikan hinnan laskiessa kertakäyttöhyödykkeiden tasolle hybriditeknologiaa on mahdollista levittää aivan uusiin muovituotteisiin. Tämän saavuttaminen vaatii vielä runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä, mutta ensimmäiset sovellukset ovat jo nyt nähtävillä.

5.4 Suomalaisen yritysten kiinnostuksen kohteet

Integroititeknologioista on järjestetty kaksi kaikille avointa seminaaria aiemmin mainitun PROFIT-projektin puitteissa. Ensimmäinen tilaisuus pidettiin 9.2.2010 Espoossa, ja se sisälsi puheenvuoroja VTT:stä, Lapin yliopistosta, Lahden muotoiluinstituutista sekä Taideteollisesta korkeakoulusta, joiden lisäksi Elcoflexin edustaja käytti yrityksen puheenvuoron. Tilaisuuteen osallistui 15 yritystä, kaikkiaan noin 30 yritysedustajaa, 7 eri tiedotusvälineiden ja oppilaitosten edustajaa sekä 11 VTT:n edustajaa. Pohjoissuomalaisille yrityksille tarkoitettu vastaava seminaari järjestettiin puolestaan 7.5.2010 Oulussa, ja siihen osallistui kaikkiaan noin 20 henkilöä. Näiden tilaisuuksien lisäksi VTT:n aiheen parissa työskentelevät tutkijat ovat tehneet runsaasti vierailuja useisiin suomalaisiin yrityksiin. Kokonaisuutena teknologiaa on tähän mennessä esitelty yhteensä lähes sadalle eri aloja edustavalle pienelle, keskisuurelle ja suurelle yrityksille. Kussakin yhteydenotossa pyrittiin teknologian esittelemisen lisäksi keräämään palautetta yritysten tutkimuksellisista tarpeista sekä näkemyksiä teknologian kaupallistamisen mahdollisuuksista.

Yritysten kanssa käytyjen keskusteluiden tuloksena on tunnistettu neljä sovel-lusalueita, joissa hybridivalmistusteknologialla voidaan saavuttaa merkittävää etua. Kyseisillä sovel-lusalueilla on käynnistetty VTT:ssä erilaisia aktiviteetteja, joista osa jalostuu jatkossa tutkimusprojekteiksi ja ensimmäisiksi yritysdemonstraattoreiksi. Yritysdemonstraattoreista tullaan toivottavasti kehittämään jatkossa myös uusia tuotteita. Tunnistetut sovel-lusalueet ovat

- näyttöjen taustavalaisu
- yleis- ja koristevalaisu (LED-pohjaiset tehosteet ja houkuttimet)
- käyttöliittymät (mm. kapasitiiviset näppäimet)
- painon mittaaminen (rakenteeseen integroitu venymäliuska).

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

Taulukko 4 kokoaa yhteen yritysten kiinnostuksen prosentuaalisen jakautumisen eri sovelluksiin. Siinä on myös esitetty arvio siitä, minkä sovellusalueen parissa VTT on prosentuaalisesti lähimpänä toimeksiantoja ja minkä sovellusalueen parissa tarvitaan eniten panostusta tutkimustoimintaan. Taulukosta voidaan nähdä, että eniten tutkimuspanostusta vaativa sovellus on LED-yleisvalaisu, johon satsataan tällä hetkellä maailmanlaajuisesti hyvin paljon. Tarkemmin määrittelemättömiä kohtia ovat LED-valaisu, joka jakautuu useaan erilaiseen osaluueeseen, sekä LED-valaisuun perustuva anturointi. Lähimmäksi toimeksiantoprojekteja mielletään näytön taustavalaisuratkaisut sekä LED-pohjaiset houkuttimet tai koristeet. Lähellä toimeksiantoprojekteja ovat myös käyttöliittymäratkaisut sekä venymäliuskaan perustuva painon mittausta. Venymäliuskaa voidaan käyttää myös käyttöliittymäsovelluksissa, joista kiinnostuneita yrityksiä löytyy todennäköisesti useampia.

Taulukko 4. Yritysten kiinnostusten prosentuaalinen jakautuminen eri sovelluksiin ja eri sovellusten arvioitu kypsyyssaste T&K-toiminnassa.

Sovellus	Kiinnostuneiden osuus kaikista	Lähellä toimeksiantohankkeita	Tutkimuspanostusta vaativia
LED-yleisvalaisu	(11/41) 27 %	(2/10) 20 %	(9/10) 90 %
LED-valaisu	(9/41) 22 %	(1/9) 11 %	(8/9) 89 %
LED-valaisu / -sensori	(6/41) 15 %	(1/6) 17 %	(5/6) 83 %
LED-houkutin / -koriste	(5/41) 12 %	(3/5) 60 %	(2/5) 40 %
Näytön taustavalaisu	(5/41) 12 %	(4/5) 80 %	(1/5) 20 %
Käyttöliittymä	(4/41) 10 %	(3/4) 75 %	(1/4) 25 %
Painon mittausta / venymäliuska	(1/41) 2 %	(1/1) 100 %	(0/0) 0 %
Sovellus ei tiedossa	(51/92) 55 %	-	-

5.5 Hybriditeknologian käyttö valaisusovelluksissa

Tällä hetkellä valaisuteknologia nähdään yhtenä dynaamisimmin kehittyvänä alueena koko elektroniikkamarkkinoilla. [Frost & Sullivan 2009]. Valaisumarkkinat jakautuvat seuraaviin pääkategorioihin:

- Yleisvalaistus: Euroopan yleisvalaistusmarkkinan arvioidaan olevan arvoltaan noin 15,45 miljardia dollaria vuonna 2009 ja sen arvioidaan kasvavan 17,6 miljardiin dollariin vuoteen 2016 mennessä [Frost & Sullivan 2009]. Yleisvalaistus jakautuu sisävalaistukseen 8,79 miljardia dollaria, ulkovalaistukseen 3,91 miljardia dollaria sekä koristeelliseen valaistukseen 2,75 miljardia dollaria. Vuonna 2009 LED-komponenteilla toteutettujen ratkaisujen markkinaosuus on noin 5 %.
- Näytöt: LED-teknologian käyttö näyttöjen kokonaismarkkinassa maailmassa vuonna 2008 oli noin 350 miljoonaa dollaria markkinaosuuden kasvaessa voimakkaasti johtuen LED-pohjaisten LCD-näyttöjen taustavaloelementtien yleistymisestä [Frost & Sullivan 2009]
- Autojen valaisuratkaisut: Autojen LED-valaisu arvioitiin noin 640,5 miljoonaksi dollariksi vuonna 2008 ja sen on arvioitu kasvavan 1 129,3 miljoonaa dollariin vuoteen 2015 mennessä (ulkoinen 21,3 %, sisävalot 78,7 % [Frost & Sullivan 2009]).

Houkuttelevin potentiaalinen markkina-alue lyhyellä aikavälillä on koristeellinen valaisu (decorative lighting), jonka markkinakoko oli noin 140 miljoonaa dollaria vuonna 2009. Muovi-integrointi teknologioiden etujen ja haasteiden näkökulmasta tällä markkina-alueella toiminnalliset ja luotettavuusvaatimukset eivät ole niin suuret kuin esimerkiksi autojen valaistuksessa. Tarvittavat valotehot ovat pienempiä kuin yleisvalaistuksessa, jolloin lämmönhallintaproblematiikka on pienemmässä roolissa. Tärkeitä vaatimuksia tällä markkina-alueella ovat muotoiltavuus ja integroitavuus, pieni tehonkulutus sekä kustannustehokkuus. Markkina-alueen pirstaleisuus ja mahdollisten tuotteiden moninaisuus antaa mahdollisuuksia uudentyypisille tuotteille sekä toimijoille tulla markkinoille. Mahdollisia tuotteita voisivat olla sovellukset, joissa valon avulla käyttäjä houkuttelee tai indikoidaan tai joka on käyttäjän silmään kiinnostava, houkutteleva ja miellyttävä. Valaisuelementtien vaatimukset ja koot voivat tällä markkina-alueella vaihdella toisistaan paljonkin. Ratkaisujen räätälöinti voi olla yksi liiketoimintamalli ja valaisuelementit voisivat olla suoraan tuoterakentee-

5. Elektroniikan muovi-integroinnin kaupallistamisen mahdollisuudet

seen tai tuotepakkaukseen integroituja. Tällä markkina-alueella potentiaalisia asiakkaita ovat kannettavien laitteiden kuorivalmistajat, ranteessa pidettävien laitteiden valmistajat ja tuotepakkausvalmistajat.

Näyttöjen taustavalojen markkina on kooltaan ja kasvunopeudeltaan erittäin houkutteleva. Markkinoiden tärkeimpiä vaatimuksia ovat pieni tehonkulutus, taustavalon tasaisuus ja kustannustehokkuus. Kustannuspaineet tällä markkina-alueella ovat erittäin suuret: tuotantovolyymit pitäisi pystyä nostamaan hyvin nopeasti miljooniin ja markkinoille tuotavan teknologian tulee olla riittävän kypsä nopeaan markkinoille sisääntuloon. Huomioonotettavia kaupallisia ja tuotantollisia asioita ovat alhainen yksikköhinta, suuret volyymit, suuri tuotantokapasiteetin ja investointien tarve (potentiaalisen myynnin per investoitu euro on oltava riittävän suuri). Kilpailu on äärimmäisen kovaa ja tärkeimmät kohdeasiakkaat ovat aasialaisia. Potentiaalisia asiakkaita ovat suuret näyttövalmistajat. Toinen, teknologian puolesta lähellä oleva, houkutteleva sovellusalue on myös karkean resoluution pistematriisinäytöt.

Autojen valaisumarkkinat ovat houkuttelevia pitkällä aikavälillä. Sovellusten vaatimukset ovat toiminnallisuuden, luotettavuuden ja hintakilpailukyvyyn kannalta niin korkeita, että teknologia vaatii vielä lisäkehitystä. VTT jatkaa tätä kehitystyötä käynnissä olevassa EU:n PRIAM-puiteohjelmaprojektissa yhdessä FIATin ja näyttövalmistaja SOLARin kanssa.

Yleisesti kuvaten markkinoilla kaivataan valaisuratkaisuja, jotka ovat ohuita ja joustavia ja tuottavat tasaista valkoista valoa, kuluttavat vähän tehoa ja joita voidaan valmistaa suuria tuotantomääriä, mutta joita on helppo varioida ja jotka ovat kustannustehokkaita sekä luotettavia.

6. Patenttikartoitus

6.1 Lähtökohta

Esillä olevan patenttitietokantatutkimuksen tavoitteena oli havainnollistaa erityisesti seuraavien, kasvavan kiinnostuksen kohteena olevien teknologisten ratkaisujen patentoinnissa esiintyviä piirteitä ja trendejä eri näkökulmista:

1. painettava elektroniikka (esim. muistesuihku-, tampo-, flekso-, silkki-, offset- ja syväpaino) ja ruiskuvalutekniikka
2. paljaiden puolijohdekomponenttien hautaaminen ja ruiskuvalutekniikka
3. elektroniikan hautaaminen laminaattirakenteisiin.

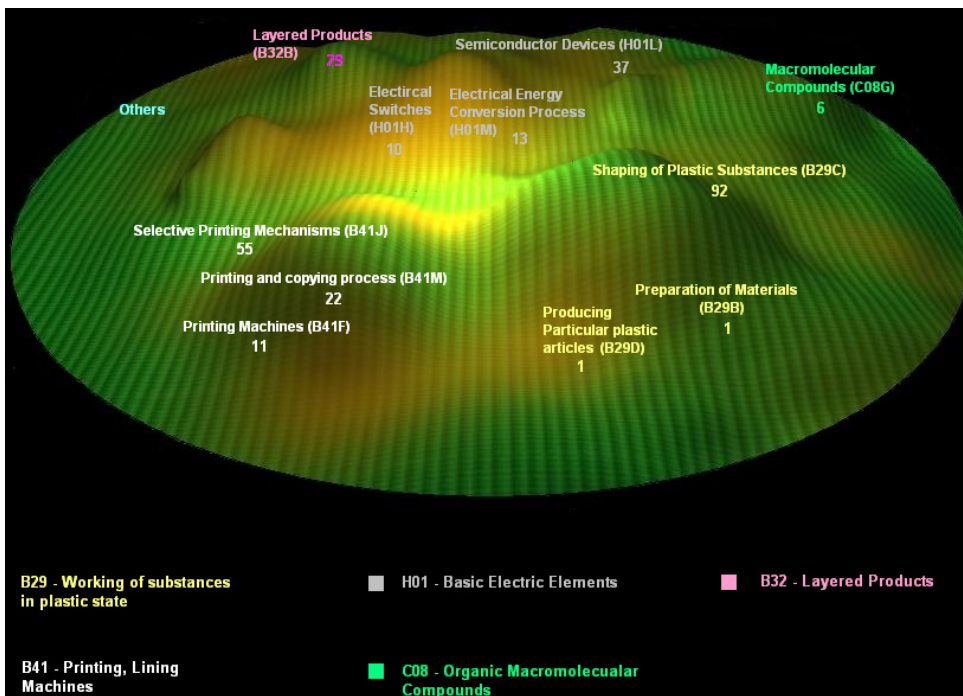
Edellä mainittujen kolmen pääasiallisen tutkimuskohteen lisäksi tarkasteltiin kohteen 1 osalta erikseen vielä niitä ratkaisuja, joissa mainittiin rullalta rullalle -tekniikka tai vastaava katkeamattoman valmistusprosessin mahdollistava tekniikka sekä kohteiden 2 ja 3 osalta niitä ratkaisuja, joissa mainittiin optiset tai valoon liittyvät sovellukset.

Tietokantatutkimus suoritettiin patentti(hakemus)julkaisuhakuna (vrt. patenttiperhehaku) pääasiallisesti Thomson Reuters -konsernin tarjoamaa MicroPatent™ -tietokantapalvelua hyödyntämällä. Edellä esiteltyjä ratkaisuja sisältäviä patenttijulkaisuja haettiin erityisesti luvussa 6.8 kuvattuja hakuheitoja käyttämällä.

6.2 Yleiskatsaus

Seuraavassa tietokantahakujen tuloksia esitellään tarkemmin hakukohde kerrallaan niin hakijakohtaisesta, ajallisesta, maantieteellisestä kuin patenttiluokkaperusteisestakin näkökulmasta. Tämän lisäksi nostetaan esiin kustakin tulosjoukosta muutama huomionarvoinen patentti tai patenttihakemus tarkoitukseen soveltuviksi katsottujen yleisten valintakriteerien perusteella.

Aluksi esitellään kuitenkin Kuva 33, joka sisältää hakukohteen 1 tulosjoukosta patenttiluokitusjärjestelmän avulla automaattisesti generoidun esimerkinomaisen maisemaesityksen, ns. *landscaping*- tai *terrain*-esityksen.



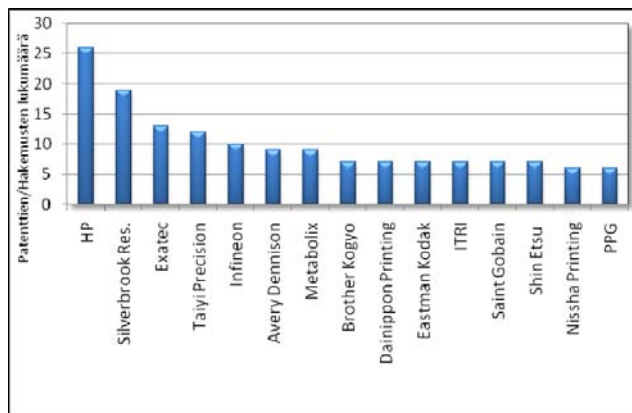
Kuva 33. Hakukohteen 1 tulosjoukosta laadittu IPC-patenttiluokkapohjainen maisemaesitys.

Kuvassa on erityisesti havainnollistettu esillä olevan tutkimuksen kannalta asiaan-kuuluvimmiksi katsottujen IPC-patenttiluokkien B29, B32, B41, C08 ja H01 tulosjoukkoja ryhmäkohtaista resoluutiota hyödyntäen. Yksittäisen patenttiluokan ryhmään kuuluvien julkaisujen lukumäärä indikoidaan kuvassa numerolla. Kustakin julkaisusta on tarkasteltu vain ensisijaista patenttiluokkaa kuvion laatimisessa. Myös varjostusten ja ääriviivojen avulla havainnollistetut pinnanmuodot heijastavat julkaisujen lukumäärää.

Tulosjoukkojen välinen fyysinen etäisyys kuvassa peilaa ryhmien läheisyyttä myös patenttiluokituksen suhteen. Esimerkiksi graafisessa esityksessä lähekkäiset ryhmät B41J, B41M ja B41F sisältyvät samaan IPC-luokkaan B41 ja samaan generisempään lohkokon B.

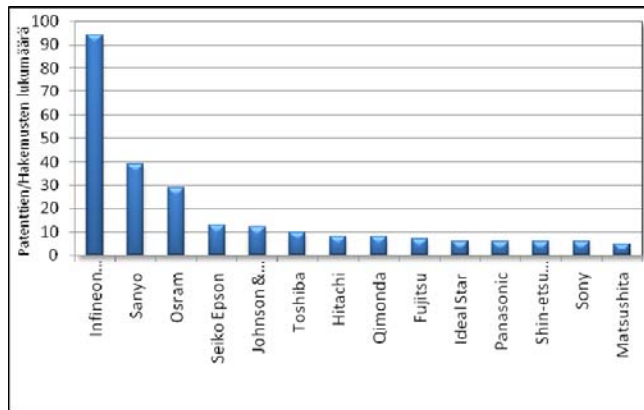
6.3 Patentinhaltijat ja -hakijat

Hakukohteen 1 tulosjoukko käsittää yhteensä 531 patenti- tai patenttihakemusjulkaisua, jotka kuuluvat 329 eri perheeseen. Hakukohteen 2 tulosjoukko käsittää 395 julkaisua ja vastaavasti 209 perhettä. Hakukohteen 3 tulosjoukko käsittää 405 julkaisua ja 164 perhettä. Valtaosaan tulosjoukkojen perheistä kuuluu ainakin yksi myönnetty patenti.



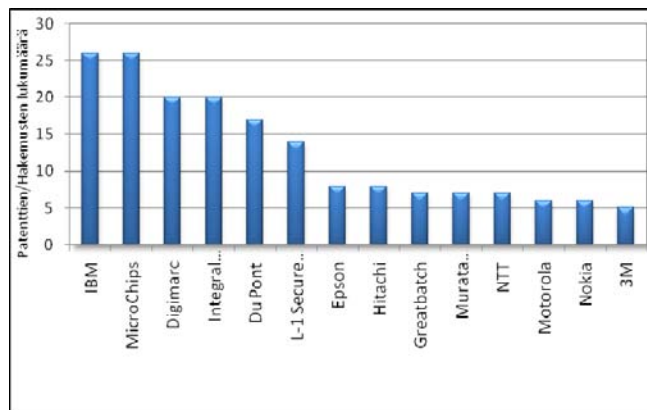
Kuva 34. Aktiiviset toimijat: painettava elektroniikka ja ruiskuvalu.

Kuva 34 esittelee hakukohteen 1 tulosjoukon aktiivisimmat patenttoijat. Listassa ensimmäisenä olevan monialajätin, HP:n (Hewlett-Packard), tiedetään panostavan muun muassa paino- tai tulostustekniikkaan, joka käsittää myös painettavan elektroniikan. Tulosjoukon kärkipäätä edustavista muista toimijoista voitaneen erikseen mainita Silverbrook Research (australialainen mm. elektroniikkaan, piirisuunnitteluun, fluidiikkaan, optiikkaan, MEMS-järjestelmiin ja paino- ja tulostustekniikkaan erikoistunut T&K-yritys), lasitukseen erikoistunut Exatec, painotekniikkaan erikoistunut Taiyi Precision Tech, elektroniikka- ja tietoliikenneyritys Infineon Technologies ja tuotepakkauksiin, etiketteihin sekä RFID-tunnistukseen panostava Avery Dennison. Tulosjoukkoon sisältyneistä listan ulkopuolisista yrityksistä voitaneen lisäksi mainita suomalaiset yritykset Nokia, Polar Electro, Oy Modines Ab ja Oy ICS Intelligent Control Systems Oy.



Kuva 35. Aktiiviset toimijat: puolijohdekomponentit ja ruiskuvalu.

Kuva 35 esittelee vastaavat tulokset hakukohteen 2 osalta. Hakukohteen 1 tuloksissa esiintynyt Infineon Technologies on tällä kertaa listan ensimmäisenä. Muut toimijat ovat lähinnä japanilaisia elektroniikka-alan yrityksiä; tunnetumpien japanilaisten suuryritysten välistä voidaan poimia esille erityisesti nanoteknologiaan ja aurinkokennoihin erikoistunut Ideal Star. Muita listalle mahtuneita yrityksiä ovat muun muassa saksalainen muisti- ja puolijohdeteknologiaan erikoistunut Qimonda AG sekä lääkkeiden ja lääketieteellisten laitteiden yhdysvaltalainen valmistaja Johnson & Johnson.



Kuva 36. Aktiiviset toimijat: laminaattirakenteisiin haudattu elektroniikka.

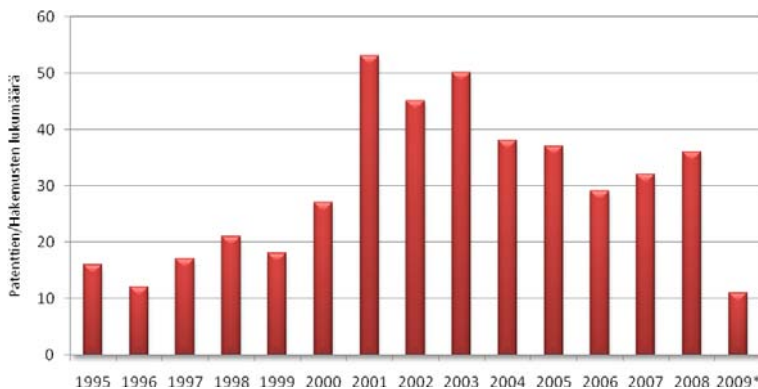
6. Patenttikartoitus

Kuva 36 sisältää aktiivisimmat patentinhakijat hakukohteen 3 tulosjoukkoa koskien. IBM:n takana listalla ovat muun muassa kehonsisäisiin biosensoreihin, lääkeannostelijoihin, mikrosäiliöihin (*microreservoir*) ja langattomaan tiedonsiirtoon panostava MicroChips Inc, johtaviin muoveihin (Electriplast™) ja näihin liittyviin antenni- ja valaistusteknologioihin erikoistunut Integral Technologies Inc. sekä tunnistusteknologiaan ja biometriikkaan keskittyvä L-1 Identity Solutions, joka toimii kiinteässä yhteistyössä myös listatun Digimarc-yhtiön kanssa. Lisäksi Nokia esiintyy tämän hakukohteen aktiivipatenttoijien listalla.

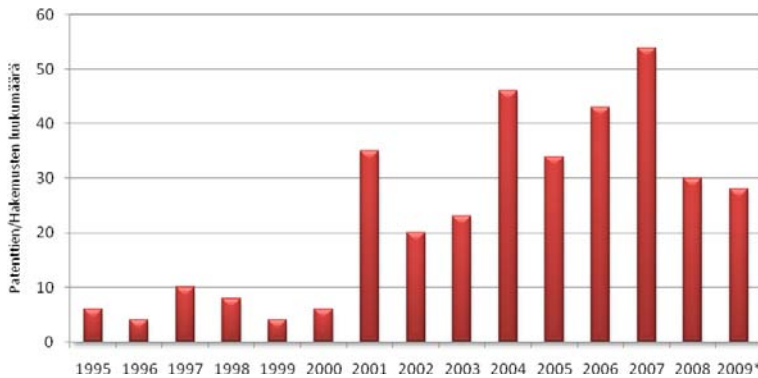
6.4 Aikaulottuvuus

Hakukohteiden 1–3 tulosjoukkojen hakemispäivät (*application date*) on esitetty vuosikohtaisesti seuraavassa kolmessa kuvassa (Kuva 37, Kuva 38 ja Kuva 39) vuodesta 1995 vuoteen 2009. Kaikista kuvaajista on nähtävissä oleellisesti yhtäläinen suuntaus: hakemusmäärät ovat selvästi kasvaneet 2000-luvun taitteessa ja sittemmin tasaantuneet tai kääntyneet jopa lievään laskuun mahdollisesti heikentyneen taloustilanteen johdosta vuosina 2006–2009. Kuvaajissa vuoden 2009 lukemat eivät ole lopullisia, sillä osa hakemuksista oli vielä tätä tekstiä kirjoitettaessa salaisia.

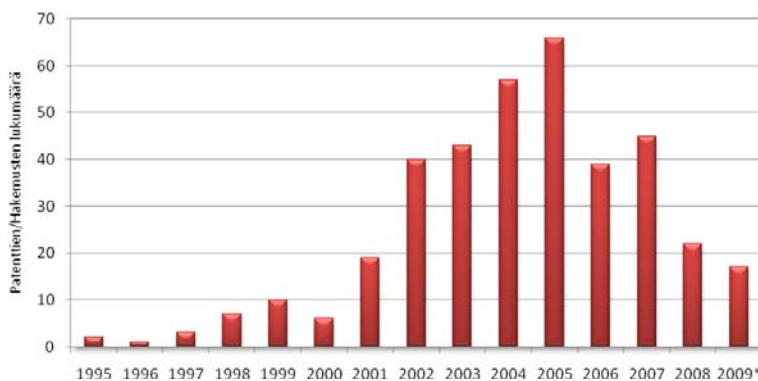
Hakukohteen 1 tulosjoukkoon sisältyy yhteensä 15 julkaisua, jotka mainitsevat myös rullalta rullalle -menetelmät. Hakukohteiden 2 ja 3 tulosjoukkoihin sisältyy vastaavasti 128 ja 74 optisia ratkaisuja mainitsevaa julkaisua.



Kuva 37. Hakemusten jättäminen: painettava elektroniikka ja ruiskuvalu.



Kuva 38. Hakemusten jättäminen: puolijohdekomponentit ja ruiskuvalu.

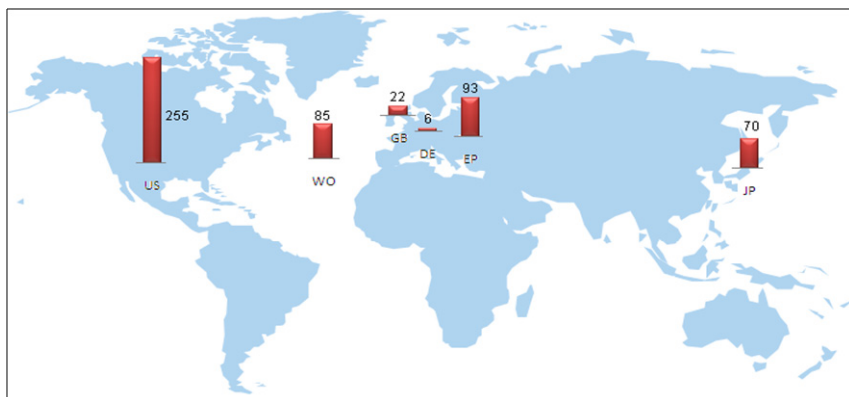


Kuva 39. Hakemusten jättäminen: laminaattirakenteisiin haudattu elektroniikka.

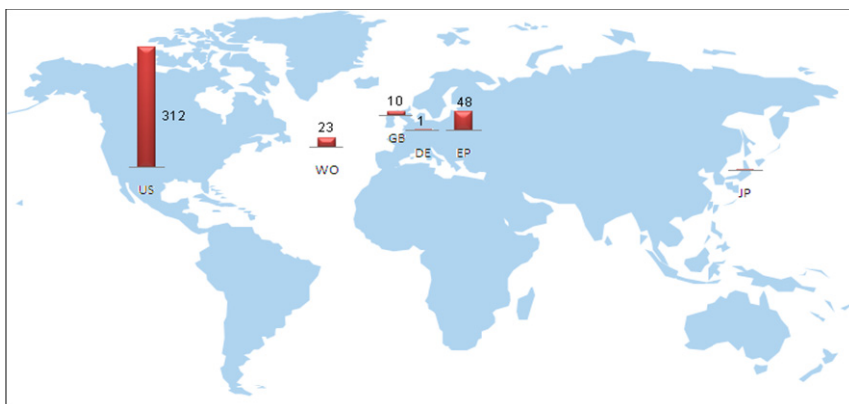
6.5 Maantieteellinen näkökulma

Hakukohteiden 1–3 tulosjoukkojen maantieteellinen jakauma (termi WO indikoi kansainvälisen PCT-hakemuksen julkaisua) on vastaavasti esitetty seuraavassa kolmessa kuvassa (Kuva 40, Kuva 41 ja Kuva 42). Yhdysvallat näyttää olevan kaikissa tulosjoukoissa ylivoimaisesti suosituin yksittäinen patentointifoorumi Euroopan ja Japanin seuraten perässä. (Huom. Japanilaisten julkaisujen osuutta tulosjoukoissa näyttää pienentävän erityisesti hakukohteiden 2 ja 3 tapauksessa keinotekoisesti käytettyjen hakutermien englanninkielisyys.)

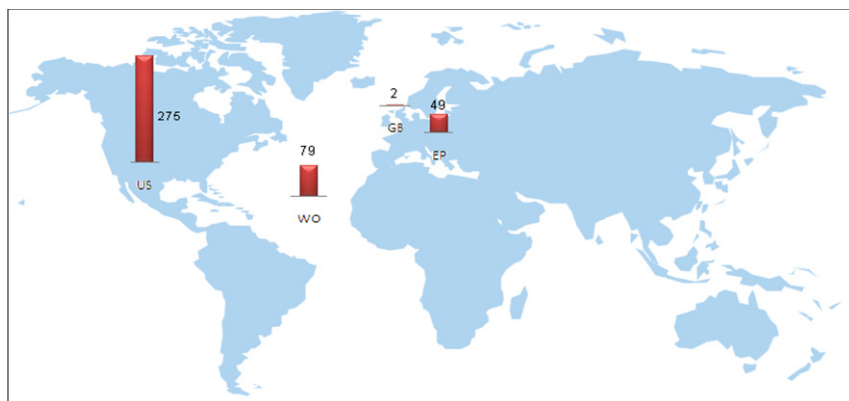
6. Patenttikartoitus



Kuva 40. Maantieteellinen suoja: painettava elektronikka ja ruiskuvalu.



Kuva 41. Maantieteellinen suoja: puolijohdekomponentit ja ruiskuvalu.

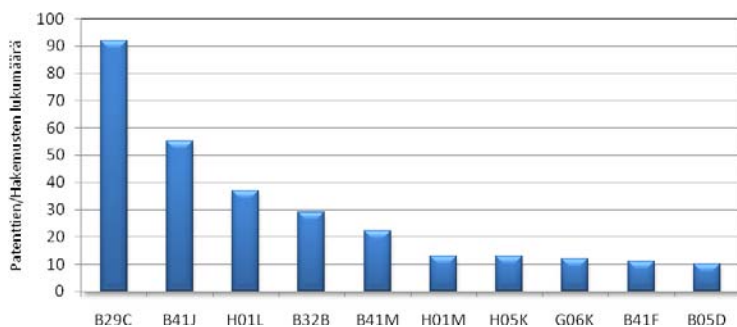


Kuva 42. Maantieteellinen suoja: laminaattirakenteisiin haudattu elektronikka.

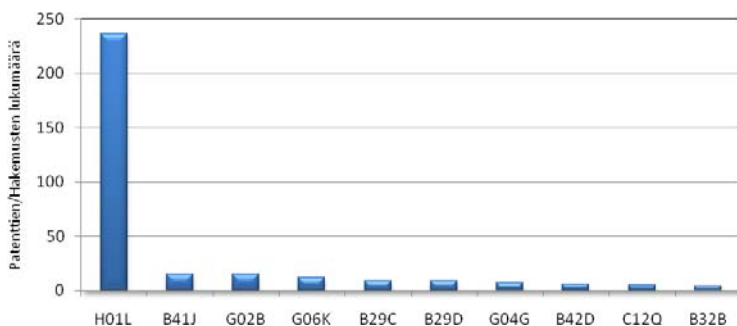
6.6 IPC-luokat

Hakukohteiden 1–3 tulosjoukkojen patenttiluokkakohtainen (IPC, *International Patent Classification*) jakauma esitetään seuraavassa kolmen kuvan joukossa (Kuva 43, Kuva 44 ja Kuva 45). Kustakin julkaisusta on kuvan määrittämiseen huomioitu vain ensisijainen patenttiluokka. Suosituimmat IPC-luokat tuloksissa ovat

- B29 (*working of plastics; working of substances in a plastic state in general*)
- B41 (*printing; lining machines; typewriters; stamps*)
- H01(L) (*basic electric elements (semiconductor devices)*)
- H05(K) (*electric techniques not otherwise provided for (printed circuits; casings or constructional details of electric apparatus)*).

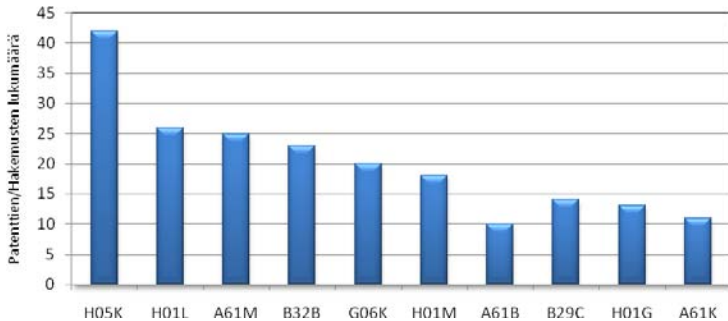


Kuva 43. Patenttiluokat: painettava elektroniikka ja ruiskuvalu.



Kuva 44. Patenttiluokat: puolijohdekomponentit ja ruiskuvalu.

6. Patenttikartoitus



Kuva 45. Patenttiluokat: laminaattirakenteisiin haudattu elektroniikka.

6.7 Huomionarvoisia patenteja ja patenttihakemuksia

Kunkin hakukohteen (1–3) tulosjoukosta pyrittiin suuntaa-antavasti poimimaan oleellisia hakutuloksia (julkaisuja) pisteyttämällä hakutuloksia karakterisoi- vat, merkitseviksi katsotut piirteet, kuten *backward*-viittausten määrä (kääntäen verrannollinen julkaisun tärkeyteen), *forward*-viittausten määrä, US/EP/JP-perheenjäsenien olemassaolo (0–3, arvo 3 mikäli ainakin yksi jäsen kutakin maata tai aluetta koskien) sekä IPC-luokkien lukumäärä. Lisäksi hakutuloksia seulottiin järjestämällä tulokset tärkeysjärjestykseen. Hakukohteiden 1–3 kymmenen tällä tavoin tärkeimmäksi kutsuttavissa olevaa hakutulosta on listattu seuraavaan kolmeen taulukkoon. Yhdestä patenttiperheestä on listaan valittu yleisen edusta- vuuden takaamiseksi maksimissaan vain yksi jäsen. Taustavärjätyt rivit indikoi- vat lisähakuehdon (kohde 1: rullalta rullalle -teknologia, kohteet 2 ja 3: optiset ratkaisut) täyttymistä ko. julkaisun kohdalla. Kunkin listatun julkaisun patenti- perheeseen kuuluu ainakin yksi myönnetty patenti.

Taulukko 5. TOP-10: painettava elektroniikka ja ruiskuvalu.

Sijoitus	Julkaisunumero	Backward- viitteitä	Forward- viitteitä	US/EP/JP -jäsenet	IPC-luokkia	Haltija/Hakija
1	WO1997009842A2	7	266	3	21	Verity Group Plc
2	WO1999004368A1	6	197	3	25	Silverbrook Res.
3	US5519332A	6	198	3	13	Micron Technology
4	US6335104B1	1	53	2	8	Tessera IP
5	US6017118A	21	66	3	1	HP
6	US5158912A	11	49	2	4	HP
7	US6010210A	12	52	3	1	HP
8	WO1991001621A2	2	27	3	16	Hyperion Catalysis
9	EP561051B1	6	33	3	4	HP
10	US4917927A	3	29	2	5	Sakaiya Meihan KK

Hakukohteen 1 osalta 3 ensimmäistä jäsentä ovat ylitse muiden myöhempien viittauksien (*forward citations*) suuren lukumäärän näkökulmasta; toisaalta ko. julkaisuissa ei viitata erityisen moneen aikaisempaan julkaisuun (*backward citations*), mikä saattaa kokonaisuutena indikoida julkaisun tärkeyttä (uraauurtavuutta) omassa teknologiasektorissaan. Mainittujen kolmen julkaisun perheissä on ainakin yksi, IPR-sektorilla tyypillisesti riittävän maantieteellisen suojan kannalta kriittiseksi katsottu US-, EP- sekä JP -jäsen. Ko. julkaisut voivat lisäksi olla sisällöltään kattavia vastaavien patenttiluokitusten suurehkon määrän perusteella.

Taulukko 6. TOP-10: puolijohdekomponentit ja ruiskuvalu.

Sijoitus	Julkaisunumero	Backward- viitteitä	Forward- viitteitä	US/EP/JP -jäsenet	IPC-luokkia	Haltija/Hakija
1	US5726535A	8	123	1	3	Technical Consumer
2	US5937320A	6	99	1	1	IBM
3	US5644177A	10	63	1	6	U.S. Navy
4	US5272374A	9	64	2	3	Mitsubishi
5	US6274890B1	25	64	3	1	Toshiba
6	US4975814A	17	49	3	6	Telefunken Electronic
7	US6072234A	7	41	1	2	Aprolase Dev.
8	US20030044118A1	0	30	1	4	Phosistor Tech.
9	US5437736A	15	40	2	6	Davstar Technologies
10	US5332892A	14	40	3	3	Symbol Technologies

6. Patenttikartoitus

Taulukko 7. TOP-10: laminaattirakenteisiin haudatut komponentit

Sijoitus	Julkaisunumero	Backward- viitteitä	Forward- viitteitä	US/EP/JP -jäsenet	IPC-luokkia	Haltija/Hakija
1	US5153820A	1	86	3	5	Telectronics
2	US6249076B1	10	91	1	2	MIT
3	US5149919A	12	65	3	4	IBM
4	US5587253A	5	43	3	5	Bell (Telcordia)
5	US4803147A	11	34	3	6	Hoechst Celanese (Sanofi-Aventis)
6	US6246010B1	15	29	3	12	3M
7	US20040106953A1	0	22	2	3	MicroChips
8	US20040217472A1	0	13	3	8	Integral Technologies
9	US20030234286A1	0	10	3	8	Digimarc
10	US20040213437A1	0	18	1	1	Digimarc/L-1

Hakukohteiden 2–3 tuloksista puuttuvat samalla tavalla poikkeuksellisen silmiinpistävät julkaisut ja patenttiperheet. Monet taulukoissa esiintyvät haltijat tai hakijat ovat edustettuina myös edellä esitetyissä hakijalistaissa, erottuvimpana esimerkkinä hakukohteen 1 yhteydessä HP.

Hakutulosten tilannetta tarkasteltiin myös käynnissä olevien tai jo päättäneiden (EP-)väitetapausten osalta. Hakukohteen 1 hakutuloksista löytyi kymmenen merkintää väitekasittelystä (EP1730500B1, EP126856B1, EP978220B1, EP682321B1, EP1567314B1, EP72949B1, EP126856B1, EP925183B1, EP72949B1 ja EP1089876B1), kun taas kohteiden 2 ja 3 osalta tietokantaan päätyneitä merkintöjä oli vain yksi (EP898681B1).

6.8 Listaukset käytetyistä hakuehdoista

Taulukko 8. Hakukohde 1: painettava elektroniikka ja ruiskuvalu.

Hakujonot	Sisältö	Osumia	Perheitä
((print*2 adj electronic*1) or ((rotogravure or gravure or inkjet or tampo or flexo or flexograph*2 or screen or (offset adj lithograph*1)) adj print*3))) and (injection adj2 (mould*3 or mold*3))	Title, Abstract, or Claims	531	329
Rullalta rullalle -ratkaisujen löytämiseksi ko. tulosjoukossa ajettiin myös seuraava haku: (roll adj3 roll) or (web adj2 (process*3 or imprint*3)) or (reel adj3 reel) or R2R or (electronic*2 near3 roll near3 foil*1) or ((nano*5 or electronic*) adj2 pa	Full Text	15	

Taulukko 9. Hakukohde 2: paljaiden puolijohdekomponenttien hautaaminen ja ruiskuvalu.

Hakujonot	Sisältö	Osumia	Perheitä
((embed*3 or imbed*3 or planted or implant*3 or engraft*3 or infix*3) near4 (semiconduct*3 or (semi adj2 conduct*3))) and (injection adj2 (mould*3 or mold*3))	Full Text	395	209
Optisten ratkaisujen löytämiseksi ko. tulosjoukossa ajettiin myös seuraava haku: optic*2 or LED or (light adj emitting adj diode*1) or (photonic*2) or (light*3) or (laser*1 adj2 light)	Claim, Title or Abstract	128	

Taulukko 10. Hakukohde 3: laminaattirakenteet ja haudattu elektroniikka.

Hakujonot	Sisältö	Osumia	Perheitä
((embed*3 or imbed*3 or planted or implant*3 or engraft*3 or infix*3) same electronic*2) and (lamine adj structure*1) *HUOM*	Full Text	405	164
Optisten ratkaisujen löytämiseksi ko. tulosjoukossa ajettiin myös seuraava haku: optic*2 or LED or (light adj emitting adj diode*1) or (photonic*2) or (light*3) or (laser*1 adj2 light)	Claims, Title or Abstract	74	

HUOM Hakukohteen 3 tulosjoukosta on manuaalisesti poistettu Venetec-korporaation julkaisut (79 kpl, 15 perheitä), jotka sattumalta sisältävät käytetyt hakutermit, mutta eivät silti olennaisesti liity tarkasteltavaan aihealueeseen. (Venetec-patentit liittyvät lääketieteellisten instrumenttien kiinnitysjärjestelyihin, mutta eivät elektronisten elementtien hautaamiseen laminaattirakenteisiin; Venetec-patentit ovat pääosin lääketiedettä, erityisesti kirurgiaa, koskevassa IPC-luokassa A61M.)

Haut suoritettiin lähtökohtaisesti ilman patenttiluokkarajoituksia, jotta myös luokkainformaatiosta saataisiin kattava kuva. Tämä tosin väkisinikin tapahtuu osittain hakutulosten osumatarkkuuden kustannuksella. Luokkarajoitusten puuttumisen takia hakutulosten relevanssia verifioitiin käsin. Myös haltija/hakija-tietoa korjattiin käsin.

6.9 Yhteenveto

Tietokantahakujen tulosjoukkojen analyysin pohjalta voitaneen todeta hakukohteen 1 (painettava elektroniikka/ruiskuvalu) kontekstissa erityisesti paino- ja/tai tulostustekniikkaan erikoistuneiden yritysten kunnostautuneen aktiivisina patenttoijina, hyvänä esimerkkinä yhdysvaltalainen HP. Hakukohteen 2 (puolijohdekomponenttien hautaaminen/ruiskuvalu) osalta erityisesti japanilaiset suuryritykset kuten Sanyo ja Toshiba ovat vallanneet aktiivipatentoijien listan useimmat sijat saksalaisen kärkinimen Infineon Technologies jälkeen. Hakukohteen 3 (haudattu elektroniikka / laminaattirakenteet) vastaavan tulosryhmän voidaan

6. Patenttikartoitus

sanoa olevan haltija/hakija-pohjaltaan monipuolisimman; mukana on useiden eri sektorien yrityksiä niin Yhdysvalloista, Euroopasta kuin Japanistakin, jaetulla kärkisijalla yhdysvaltalaiset IBM ja MicroChips Inc.

Kunkin hakukohteen tulosjoukon julkaisujen hakemispäivien jakauma todistaa patentointiaktiivisuuden jyrkästä noususta 2000-luvun taitteessa; sittemmin patentointiaktiivisuus on hieman hiipunut.

Tulosjoukkojen julkaisujen maantieteellinen jakauma korostaa varsinkin Yhdysvaltojen roolia Euroopan ja Japanin ohella; Yhdysvallat lienee paitsi suuri, yhtenäinen markkina-alue, myös houkutteleva patentointifoorumi teollisoikeuksien hyvien valvontamahdollisuuksien ja niiden korkean yleisen arvostuksen ansiosta. Toisaalta myös esimerkiksi Kiina on monissa tulosjulkaisujen patentti-perheissä nousevasti edustettuna.

Patenttiluokkakohtaisesta tarkastelusta nousivat odotetusti esiin mm. IPC-luokat B29 (*working of plastics*), B41 (*printing*) ja H01(L) (*electric elements (semiconductor devices)*).

Lisäksi tulosjoukkojen pohjalta laadittiin valittujen kriteerien kuten *forward*-viittausten määrän perusteella Top 10 -lista kullekin hakukohteelle; määrä näyttää tässä tapauksessa ainakin osittain korreloivan laadun, tai ”tärkeyden”, kanssa, sillä monet sektorinsa aktiivisimmat patenttoijat ovat saaneet julkaisujaan myös vastaavalle Top 10 -listalle.

7. Muovi-integrointi tuotesuunnittelun prosessissa

7.1 Tuotekehitysprosessi

Muovi-integraatiotuotteiden suunnittelu toteutetaan tuotekehitysprosessissa. Osatoimintoja siinä ovat esimerkiksi teollinen muotoilu, elektroniikkasuunnittelu ja mekaniikkasuunnittelu, jotka soveltavat omaa osaamistaan rinnakkaisina prosesseina. Tuotekehitysohjelmia edeltävässä hankesuunnittelussa selvitetään liiketoiminnan uusia mahdollisuuksia. Yhteiskunnan muutokset, tulevaisuuden uhat ja teknologian mahdollisuudet sekä markkinoiden odotukset ja trendit pyritään tunnistamaan ja ennakoimaan määrittäessä suuntaa uusille tuotteille ja kehitysohjelmille. Toistaiseksi elektroniikan muovi-integraatio on lähinnä tulevaisuuden tekninen mahdollisuus.

Varsinainen tuotekehitysohjelma voidaan jakaa vaiheisiin, jotka ovat konseptisuunnittelu, systeemitason suunnittelu, yksityiskohtainen suunnittelu ja tuotannon käynnistys. Konseptisuunnittelussa määritellään tuotteen ominaisuudet luomalla ja testaamalla rinnakkaisia alustavia suunnitelmia. Teollisen muotoilun painopiste on tuotekehitysohjelman konseptisuunnitteluvaiheessa mietittäessä laitteen toimintaa ja käytön logiikkaa sekä tuotteen ulkonäköä ja rakennetta. Yksityiskohtainen suunnittelu on konseptia toteuttava työvaihe, jossa ratkaistaan yksityiskohdat ja sovitetaan kokonaisuuden osat yhteen. Työ on pääosin insinöörisuunnittelua. Tuotannon käynnistysvaiheessa tehdään tuotantotyökalut ja -linjat sekä aloitetaan valmistus. Muovi-integraatio sijoittuu systeemi- ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun.

7.2 Muotoiluprosessi

Teollisessa muotoilussa määritetään tuotteen ominaisuudet, jotka toteutetaan laitteen mekaniikan, muotoilun, ohjelmoinnin ja elektroniikan avulla. Muotoilu-prosessi voidaan jakaa tiedon hankinta-, ideointi- ja toteutustyövaiheisiin. Toisaalta muotoiluprosessia kuvataan sykliseksi toiminnaksi, jossa haetaan ongelmanratkaisuun tietoa ja jatketaan sitten luovaa suunnittelua ja toisaalta tuotetaan uutta täydentävää tietoa.

Teollinen muotoilu on kokonaisvaltaista tuotteen ulkonäön, käytön ja valmistuksen suunnittelua. Riippuen suunniteltavasta tuotteesta, organisaation traditiosta ja työtä tekevistä muotoilijasta painotukset ovat erilaisia.

Tuotteen käyttäjälähtöisessä suunnittelussa pyritään ymmärtämään kuluttajien arvot, tarpeet ja toiveet. Näiden ymmärtäminen auttaa suunnittelemaan tuotteen toiminnalliset ominaisuudet ja tuotteen välittämän viestin eli mielikuvan tuotteesta.

Käyttäjäkokemuksen suunnittelussa lähtökohtana on laaja tuotenäkemyk, johon sisältyvät fyysinen laite ja sen vaikutus käyttäjänsä elämään, tuotteeseen liittyvät palvelut sekä käytön aikaiset sosiaaliset tilanteet. Käyttäjäkokemuksen suunnittelu toimii määrittäjänä muulle tuotetta toteutettavalle suunnittelulle.

7.3 Teollisen muotoilijoilla erilaisia rooleja ja toimintatapoja

Muotoilijan rooli on kehittynyt laitteen ulkonäköä luonnostelevasta suunnittelutekniikkaa avustavasta taiteilijasta monipuoliseksi tuotekehityksen ammattikseen. Osa muotoilijoista toimii esimerkiksi käyttöliittymäsuunnittelijoina osan toimissa muotoilun johtotehtävissä muun muassa design managereina.

Teknologia- ja lähtöinen suunnittelutapa hyödyntää teknisiä innovaatioita uusien tuotteiden luomisessa eli vastaa kysymykseen siitä, mitä teknologialla voi tehdä. Uusi teknologia antaa mahdollisuuden toteuttaa uudenlaisia muotoja ja toimintoja ja siten luo tilaisuuden kilpailuedun syntymiselle. Samalla se sisältää myös epäonnistumisen riskin, mikäli käyttäjät eivät tunnista tai hyväksy uutta ajatusta. Näin on käynyt esimerkiksi Fiskarsin innovatiivisten puutarhatyökalujen markkinoinnissa. Pitkävärtistä oksaleikkuria ei aluksi ymmärretty tikkaiden ja tavalisten oksasaksien turvallisemmaksi korvaajaksi.

Taiteilijamuotoilija luottaa intuitioon ja pyrkii omista lähtökohdistaan luomaan uutta. Usein taiteilijamuotoilijat toimivat taidekäsityön, taideteollisen

muotoilun ja huonekalusuunnittelun aloilla. Taideteollisen muotoilun voima on ennen kaikkea kulttuurisella ja emotionaalisella alueella.

7.4 Elektroniikkasuunnittelu

Muotoiluprosessi ja elektroniikkasuunnittelu ovat pääosin rinnakkaisia toimintoja; tosin muotoilu painottuu hieman prosessin aiempaan vaiheeseen kuin elektroniikka. Elektroniikkasuunnitteluprosessi saa syötteekseen tuotteen speksin, jonka mukaan laitteen sähköinen suunnittelu tehdään. Speksin pohjalta suunnitellaan piirikaavio, jossa määritellään laitteen sähköiset komponentit ja johtimien vedot. Layout-suunnitelmassa eli leiskassa piirikaavio muutetaan piirikortin ja muun elektroniikan suunnitelmaksi. Rinnan elektroniikan suunnittelun kanssa suunnitellaan laitteen ohjelmaa, ja ohjelmallista toimintaa voidaan testata simulaatio-ohjelmien avulla ennen kuin elektroniikka on valmis. Tämän jälkeen piirikortti valmistetaan ja protokappaleet laitteesta kootaan ja testataan.

7.5 Muovi-integraatio

Elektroniikan muovi-integraatiolla tarkoitetaan mekaanisten tai optisten komponenttien valmistusta esimerkiksi ruiskuvalulla, niin että piirikortti komponentteineen sijoitetaan insertiksi (tai outsertiksi) muottiin. Erityisesti käytettäessä joustavalle piirikortille painettua elektroniikkaa suuren sarjan tuotannossa yksittäisen tuotteen hinta voi jäädä hyvin alhaiseksi.

Elektroniikan muovi-integraation ansiosta kotelointia piirikortille ei tarvita. Tämän takia tuotteessa on vähemmän osia ja liitoksia. Suuren sarjan tuotteissa liitokset ovat vaativa suunnitteluosuus, joka edellyttää paljon työtä ja myös laitteen kokoonpanossa erillisiä työvaiheita. Uuden menetelmän avulla voidaan suunnitella yksinkertaisia muoviosia, joiden valmistaminen onnistuu pelkistetyllä, edullisella muotilla. Muoviosan ainevahvuuden sisään rakennetun elektroniikan avulla myös erittäin ohuet tuotteet ovat mahdollisia. Tuotteen paksuuden määrittävät muotoilulliset sekä lujuus- ja valmistustekniset vaatimukset.

Perinteisen elektroniikan suojaaminen kosteudelta ja lialta esimerkiksi urheiluja sukelluselektroniikassa on ollut vaikeaa ja kallista. Kokonaan ruiskuvalutun muovikappaleen sisään sijoitettu elektroniikka on sen sijaan halpa ja vesitiivis. Menetelmällä voidaan tehdä tuotteita vesileikkeihin tai elektroniikkaa, jota voi pukea ja pestä kirjopyykissä. Muovi-integraatio tarjoaa mahdollisuuden valmistaa sileitä ja saumattomia tuotteita, joilla voidaan saavuttaa sairaaloiden ja

7. Muovi-integrointi tuotesuunnittelun prosessissa

leikkaussalien korkeat hygieniavaatimukset. Näin on mahdollista valmistaa elektroniikkaa sisältäviä helposti puhdistettavia, jopa autoklaavattavia laitteita.

Muovi-integraatiota soveltavien laitteiden valmistuksessa työvaiheiden järjestys muuttuu. Muoviosia ei viedäkään elektroniikan kokoamispaikalle vaan elektroniikka kuljetetaan ruiskuvalutehtaaseen. Virtaviivainen tuotanto on ajateltava uudelleen.

Tuotteen grafiikka on mahdollista painaa joustavalle piirikortille, jolloin säädetään grafiikan painatus omana työvaiheena. Koska integroidulla elektroniikalla piirikortin painaminen tehdään ennen ruiskuvalua, tuotteen valmistaminen usealla tuotemerkillä ja identifioiminen juuri ennen toimitusta ei onnistu ilman erillistä grafiikan lisäystä.

Käytettäessä painettua OLED-näyttöä voidaan tuotteen identifointi tiettyyn brandiin tehdä juuri ennen toimitusta syyttämällä näytölle haluttu grafiikka. Myös erikieliset käyttöohjeet ja tuoteidentifikaatio voidaan sisällyttää tuotteen omaan muistiin ja tuoda näytössä näkyville. Virtalähteenä voidaan käyttää painettua valokennoa tai induktiolla ladattavaa akkua, jolloin laitteet voivat olla täysin suljettuja.

Joustavan piirilevykalvon asettaminen muottiin edellyttää laajamittaisessa tuotannossa automaatioita. Se aiheuttaa rajoitteita muottiin ja vaikeuttaa muottisuunnittelua. Muiden suunnittelijoiden tulee tällöin ymmärtää kappaleen muotojen mahdolliset rajoitukset.

7.6 Vaikutus yhteistyöhön

Muotoilun näkökulmasta yhteistyö elektroniikkasuunnittelijan kanssa siirtyy hieman aiemmaksi ja tiiviimmäksi. Elektroniikkasuunnittelijan kannalta ero tuntunee enemmän. Johdotusta korvaava piirikortin kolmiulotteinen rakenne ja muoto suunnitellaan rinnan tuotteen muodon kanssa. Toisaalta nykyisinkin mietitään, mihin elektroniikka ja mahdolliset erilliset piirikortit sijoitetaan ja miten johdotus toteutetaan. Sama asia pitää tehdä myös joustavien muovi-integroitujen piirikorttien kanssa.

Rakennesuunnittelu yksinkertaistuu, kun tuotteessa on vähemmän osia. Samalla osien välisten liitosten määrä pienenee. Liitosten suunnittelu on vaativaa ja aikaa vievää työtä. Esimerkiksi piirikortin kiinnitys ei hybriditeknologian myötä enää edellytä erillisiä kiinnikkeitä ja ulkoisten vääntöjen ja puristuksen huomioimista. Osien määrän vähenemisen ansiosta suunnitteluaikat tulevat lyhentymään.

Joustavan piirikortin sijoittaminen ja käsittely ruiskuvalukoneella tulee rajaamaan voimakkaasti käytettävissä olevia tuotemuotoja ja rakenteita. Piirikalvo on pidettävä paikoillaan muotissa. Ruiskuvalettavan aineen virtaus ja korkea paine pyrkivät siirtämään piirikorttia. Tämä todennäköisesti vaikeuttaa muottisuunnittelua. Sijoitettaessa kalvo tuotteen ulkopintaan voidaan mahdollisesti hyödyntää olemassa olevaa *in-mould labeling* tai *in-mould decorating* -kalvojen-käsittelyteknologiaa.

Valmistusprosessien muutokset aiheuttavat myös logistiikkamuutoksia, kun elektroniikan ja muoviosien kokoonpano tapahtuu ruiskuvalussa.

Seuraavassa luetellaan muovi-integraation vaikutukset:

Edut

- ei erillistä kotelointia piirikortille
- vähemmän osia ja liitoksia
- erittäin ohuet tuotteet mahdollisia
- vähemmän erillisiä työvaiheita
- pelkistetty edullinen muotti
- rakennesuunnittelun yksinkertaistuminen
- lyhyemmät mekaniikan suunnitteluajat
- suojaus kosteudelta ja lialta
- sileät saumattomat tuotteet
- autoklaavattavissa
- grafiikka painettavissa elektroniikan painon yhteydessä
- pienempi ympäristökuormitus tuotteen valmistusvaiheessa.

Haasteet

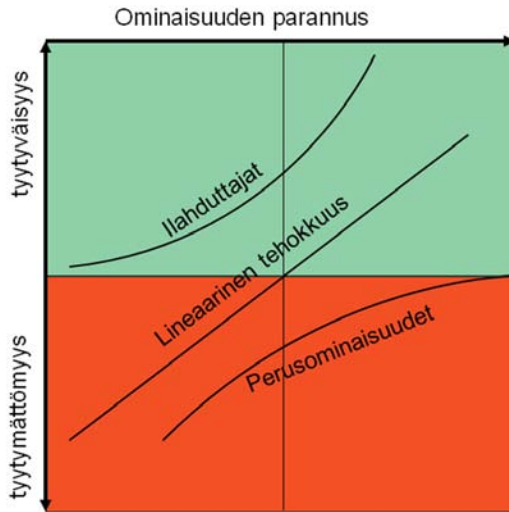
- logistiikkamuutokset
- tuotteen kokoonpanojärjestyksen muuttuminen
- vaativampi muottisuunnittelu
- piirikortin asettaminen muottiin
- piirikortin asettelun vuoksi rajalliset muodot
- tuotteen purkamisen vaikeus.

7.7 Ympäristökysymykset

Tuotteiden ympäristökuorma pienenee, koska vähemmällä materiaalilla voidaan valmistaa keveämpiä komponentteja. Erityisesti liikkuvien laitteiden, kuten ajoneuvojen tai lentokoneiden, kevennys pienentää polttoainekulutusta ja kokonaisympäristökuormaa. Painettu elektroniikka voi todennäköisesti perustua orgaaniseen kemiaan ja lisääviin menetelmiin, jolloin jalometallien ja myrkyllisten aineiden määrä tuotantoprosesseissa vähenee. Toisaalta halpa elektroniikka on mahdollista sijoittaa tuotteisiin, joissa aiemmin ei ollut lainkaan elektroniikkaa. Raskasmetalleja sisältävä muovi-integroitu elektroniikka lienee kuitenkin ongelmajätettä.

7.8 Asiakastyytyväisyys

Integroitu elektroniikka antaa mahdollisuuden uusiin, hämmästyttäviin laitteisiin. Kanon tuotetyytyväisyyttä käsittelevän mallin mukaan tuotteeseen liittyvät toiveet ja tarpeet voidaan jakaa kolmeen luokkaan (Kuva 46). *Välttämättömät tuoteominaisuudet* tarvitaan, jotta tuote toimisi odotusten mukaan. Esimerkiksi ruuvinvääntimen on oltava sähköturvallinen. Tuoteominaisuuksien parantaminen yli toimivan tason ei juuri lisää asiakastyytyväisyyttä, mutta puutteet ärsyttävät pahasti. Toinen tuoteominaisuuksien laji on luonteeltaan ”*mitä enemmän, sen parempi*”: ominaisuuden parantuminen lisää lineaarisesti tyytyväisyyttä. Tällainen ominaisuus on esimerkiksi akkuporakoneessa koko työaikaan tarvittavan virran lataaminen yhdellä latauksella. *Ilahduttajat* ovat puolestaan tuoteominaisuuksia, joita ei ole osattu odottaa mutta jotka lisäävät tuotteen hyödyllisyyttä uudella, yllättävällä tavalla. Nämä ominaisuudet saavat käyttäjän usein ihastumaan tuotteeseen ja ostamaan sen, vaikka siinä olisi oleellisiakin puutteita. Kaksiainekuvalulla tehty pehmeä ja kitkaa parantava otepinta oli ensin kalliiden käsityökoneiden, esimerkiksi ruuvinvääntimien, ilahduttava erikoisominaisuus, joka on nyt muuntumassa perusominaisuudeksi. Uutena herkkuna on porauskohdan valaiseva LED-lamppu, joka sekin muuttuneen ennen pitkää perusominaisuudeksi. Muovi-integraatiotekniikan avulla on mahdollista tuottaa uusia mullistavia tuoteominaisuuksia ja luoda ilahduttavia tuotteita.



Kuva 46. Kanon tuoteominaisuusluokittelu.

7.9 Tuoteideoita

Muovi-integraatiomenetelmän etujen konkretisoimiseksi esitetään seuraavaksi joukko alustavia tuotekonsepteja:

- Hätäpoistumistie voidaan merkitä yhdellä ruiskuvalokappaleella, jossa on piirikortille painettu grafiikka. Aurinkopaneeli ja kondensaattori tuottavat virtaa LEDeille. Laite lataa itseään valoisassa, ja pimeässä valot syttyvät. Laite ei tarvitse huoltoa, ja se koostuu yhdestä osasta.
- Lääke, elintarvikepakkaus, kypsytettävä viini tai jokin muu tuote, jonka säilyvyys on riippuvainen säilytysolosuhteista, voitaisiin pakata kääreesseen. Kääre mittaa ympäristön lämpötilaa tai muuta suuretta ja määrittää sen mukaan jäljellä olevan käyttöiän pituuden.
- Auton lisäjarruvalo tai takavalot voidaan tehdä integroidun elektroniikan ja LEDien avulla yhdeksi muovikappaleeksi. Kirkas muovi korvaa umpiön, ja heijastava pinta höyrytetään kappaleen takapintaan. Tällöin osien ja työvaiheiden määrä vähenee ja auto kevenee. Ideaa voi soveltaa myös muihin valaisimiin.
- Uistin, jossa pietso-sähköinen elementti tuottaa sähköä ja saa LEDin vilkkumaan virtauksen taivuttaessa sitä.

7. Muovi-integrointi tuotesuunnittelun prosessissa

- Lääkkeen läpipainopakkauksen pintaan integroitu elektroniikka laskee aikaa esimerkiksi antibioottien annostelussa. OLED-näytön avulla kalenteri kertoo lääkkeen oikean nauttimisajan. Laskenta käynnistyy ensimmäisen tabletin otosta, ja laite varoittaa liian pitkästä tauosta, joka voi vaarantaa lääkkeen tehon.
- Ihon alainen lääkepumppu, joka on ohjelmoitavissa RFID:n avulla ulkoa. Kipulääkkeen annostelussa potilas voisi vapauttaa annoksen painamalla kaukosäätimen nappia. Vaihtoehtoisesti laitteen anturointi tunnistaa lääkityksen tarpeen ja reagoi siihen.

7.10 Mahdollisia tutkimusprojekteja

Menetelmän nopeaa käyttöönottoa tukemaan ja hankittavia kokemuksia levittämään olisi tarpeellista käynnistää suomalaisen teollisuuden keskuuteen esimerkiksi Tekes-rahoitteisia soveltavan tutkimuksen ja tuotekehityksen hankkeita.

Muovi-integraatioteknologian soveltaminen tuotteisiin yleisesti. Projektin tavoite on ruiskuvaluun integroidun elektroniikan tuotekehityksen uudenlaisten toimintatapojen ideoiminen, kokeileminen käytännössä ja dokumentoiminen. Projektiin voisi osallistua brandinhaltijoita, elektroniikkaa ja muoviosia valmistavia yrityksiä sekä suunnitteluyrityksiä. Muotoilualan tutkijoiden rooli olisi yhdessä projektiin osallistuvien tahojen ja työntutkijoiden kanssa ideoida suunnittelumenetelmiä ja dokumentoida caset. VTT toimii menetelmää ja teknologiaa edelleen kehittävänä asiantuntijana.

Muovi-integraation soveltaminen älyvaatteeseen. Projekti yhdistää urheilu-, työ- tai moottoripyöräasuja ja päälle puettavaan elektroniikkaa. Projektiin osallistuisi urheiluvaatevalmistajia, elektroniikkavalmistajia, VTT sekä Aalto-yliopisto (vaatetussuunnittelu, teollinen muotoilu, elektroniikkalaboratorio su-lautetut järjestelmät).

Meditec. Lääketieteellisen tekniikan sovelluksia kartoittava projekti.

Muovi-integraation ympäristövaikutukset. Elektroniikan muovi-integraation ympäristövaikutuksia tutkivassa projektissa pyritään kartoittamaan menetelmän vaikutukset elektroniikkatuotteen elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin. Aalto-yliopiston sivuainekokonaisuus *Creative sustainability* voisi osallistua hankkeeseen.

Ajoneuvoteollisuus. Ajoneuvoja tai niiden komponentteja valmistavan teollisuuden projekti.

7.11 Yhteenveto

Elektroniikan muovi-integraation soveltamisen alkuvaiheessa suunnittelijoiden välisen yhteistyön tarve korostuu, kun eriytyneet tuotekehitysprosessin osat lähenevät toisiaan. Tuotekehitysprojektin vaiheistus pitää sopeuttaa uuteen tekniikkaan. Menetelmän käyttöönottoa hidastanee se, että alkuun tarjolla on vain vähän valmistajia. Optimaalisen tuotekehitysprosessin hahmottamiseksi ja tiedon levittämiseksi tarvitaan lisätutkimusta ja Tekes-rahoitteisia yritysprojekteja.

7.12 Kirjallisuutta

- Materials and the environment: eco-informed material choice, Ashby, Michael F. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009.
- Luentoaineisto syksy 2009, Jussi Mikkonen, TaiK.
- Product Design and Development, Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2003.
- Redefining industrial design: changes in the design practice in Finland, Anna Valtonen. Helsinki: University of Art and Design Helsinki, 2007.
- How designers think: the design process demystified, Bryan Lawson. Oxford: Architectural Press, 2006.
- Tuotekonseptointi, toimittaneet Turkka Keinonen ja Vesa Jääskö. Teknologiateollisuus ry, 2004.

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

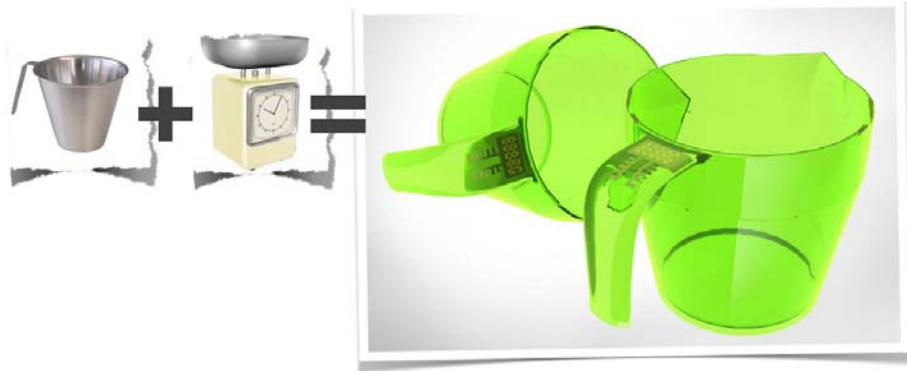
Kun jäykkä piirilevy ei enää rajoita elektroniikkalaitteiden muotoa, niistä voidaan suunnitella aivan eri tavalla käyttökohteeseensa sopivia ergonomisia ja tyylikkäitä tuotteita. Tämän seikan havainnollistamiseksi VTT käynnisti PROFIT-projektissa yhteistyön kolmen merkittävän Suomessa toimivan teollista suunnittelua opettavan tahon kanssa. Taideteollisen korkeakoulun, Lapin yliopiston ja Lahden muotoiluinstituutin yhteistä Muoke-muovituotteiden suunnittelukurssia suunnattiin kohti integrointiteknologiaa. Kyseisen aineopintoihin kuuluvan kurssin lisäksi Lapin yliopiston kanssa tehtiin yhteistyötä muovituotteiden suunnitteluun keskittyvän syventävän kurssin sisällä. Tässä kappaleessa käydään ensin läpi hybridi-integroinnin etuja ja rajoituksia muotoilun näkökulmasta, minkä jälkeen esitellään yhteistyön hedelmiä kertomalla tarkemmin kuvien ja selostusten avulla syntyneistä tuotekonsepteista.

8.1 Hybridi-integroinnin edut ja rajoitukset

Yksi painettujen hybridisysteemien suurimmista eduista on uudenlaisten tuotteiden mahdollistaminen. Hyvin halpaa elektroniikkaa voidaan tulevaisuudessa viedä kulutushyödykkeisiin, joissa sitä ei ole totuttu näkemään lainkaan. Esimerkiksi arkipäiväinen mitta-astia voi muuttua leipomista helpottavaksi tuotteeksi, kun siihen yhdistetään keittiövaa'an toiminnallisuutta (Kuva 47). Muoviastian kahvaan upotettu venymäliuska mittaa kahvan taipumaa, ja läpinäkyvän materiaalin sisältä erottuva OLED-näyttö kertoo, kuinka paljon kannun sisältö painaa. Kalvolle painettu elektroniikka saa virtansa samassa prosessissa valmistetusta valokennosta, joka kerää systeemille energiaa ympäristön valosta. Keittiötuotteen voi pestä tiskikoneessa yhdessä kodin muiden muoviastioiden kanssa, sillä elektroniikka on hyvin suojassa muovin sisällä. Näin astian käytettävyyys ei

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

heikkene, kun siihen integroidaan elektroniikkaa, vaan elektroniikka palvelee käyttäjänsä lähes huomaamattomasti, ympäristöön sulautuen.



Kuva 47. Arkipäiväisten esineiden käytettävyyttä voidaan parantaa integroinnin avulla.

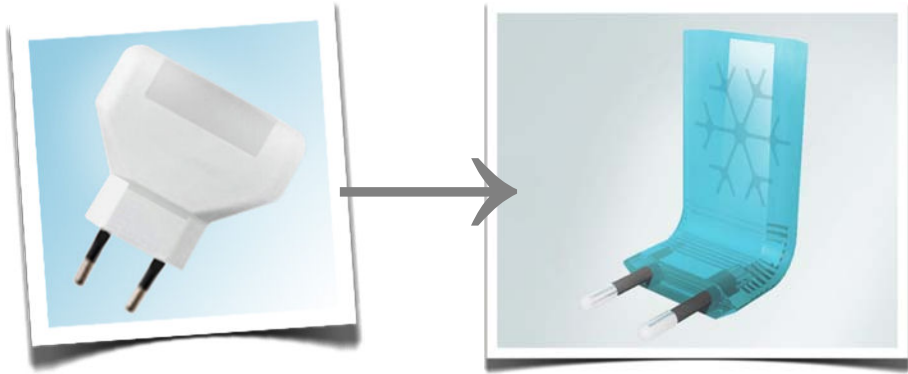
Kuva 48 ja Kuva 49 esittelevät nykyisiä tuotteita, jotka on päivitetty uudelleenlaisiksi integroidun elektroniikan avulla. Esimerkiksi uistimeen voitaisiin liittää LED-valoja kalojen (tai paremminkin ostajien) houkuttelemiseksi. Elektroniikka saisi virtansa uistimen liikkeestä sen viipottaessa veden alla siiman vetämänä.



Kuva 48. Elektroniikkatuotteesta voidaan tehdä helposti vedenpitävä.

Yölampusta puolestaan voitaisiin tehdä esteettisesti kiehtova tuote käyttämällä hyväksi painotekniikkaa, jolla valo hehkuva alue on mahdollista muotoilla hyvin graafiseksi elementiksi (Kuva 49). Kun elektroniikkapiirien suunnittelussa käytetään apuna teollista muotoilijaa, tuloksena on virtapiirejä, jotka voi jättää rohkeasti näkyviin. Tuotteen rakenne on lisäksi aikaisempaa yksinkertaisempi visuaalisen ilmeen syntyessä vähemmällä piirteillä.

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa



Kuva 49. Nykyisiä tuotteita voidaan päivittää uusiksi, mielenkiintoisiksi esineiksi.

Painotekniikkaa voidaan jatkossa hyödyntää enemmän tuotteiden visuaalisen ilmeen luomisessa. Kun elektroniikkaa valmistetaan samalla tuotantomenetelmällä kuin perinteisiä painotuotteita, yhdessä prosessivaiheessa tuotettuun kalvoon voidaan helposti yhdistää sekä toiminnallisuutta että visuaalisia elementtejä. Virtapiirejä ei siis tarvitse jättää näkyviin, vaan ne voidaan peittää painomusteella sopivan grafiikan taakse. Kuva 50 esittää tuotevision työkalusta, jonka varten on tehty kätevä vääntömomentin kertova näyttö. Kalvonäytön vaatima muu elektroniikka on piilotettu painetun logon taakse.



Kuva 50. Muotoilussa voidaan hyödyntää painettua grafiikkaa.

Kalvon käyttö aiheuttaa muotoilulle myös omat rajoituksensa, jotka pitää pystyä jatkossa kokoamaan suunnittelusäännöiksi. Esimerkiksi kalvon joustolle on olemassa rajat erityisesti silloin, kun kalvo sisältää elektroniikkapiirejä tai näkyviin

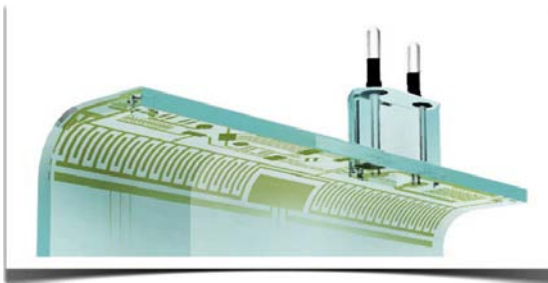
8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

tulevia graafisia piirteitä. Tuotteen muotoilussa on tällöin hyvä pitäytyä pinnoissa, jotka kaareutuvat vain yhteen suuntaan kerrallaan (Kuva 51). Jo yhdessäkin suunnassa kaareutuvalla pinnalla voidaan silti tehdä mielenkiintoisia muotoja (Kuva 52a). Tätä rajoitusta voidaan lisäksi kiertää esimerkiksi leikkaamalla kalvo säteittäisesti (Kuva 52b), jolloin se saadaan taipumaan paremmin kaksoiskaarevan piirteen mukaisesti.



Kuva 51. Kalvo on muotoiltu siten, että kaareutumista on vain yhteen suuntaan kerrallaan.

a)



b)



Kuva 52. a) Yhden suunnan kaarevuudella voidaan jo tehdä mielenkiintoisia rakenteita ja b) tarvittaessa kahteen suuntaan kaartuva pinta saadaan aikaan leikkaamalla kalvoa.

Teknologia mahdollistaa myös ”origamielelektronikan” käytön. Termillä tarkoitetaan mahdollisuutta taitella joustavan kalvon osia irti tasopinnasta, jolloin sitä voidaan käyttää myös sähkömekaanisten rakenteiden luomiseen. Kuva 53 antaa

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

tästä yhden esimerkin. Kuvassa on yksityiskohta dokumentissa aiemmin esitetyn valaistun jääraaputtimen piirilevykalvosta. Virtapiiri on suunniteltu siten, että sen keskeltä voidaan leikata irti uloke, joka muodostaa toisen kontaktipinnan virtalähteenä toimivaan nappiparistoon. Toteutetussa jääraaputtimessa kalvon leikkaus, taittaminen ja muotoon jäykistäminen tapahtuivat kaikki ruiskuvalu-muotin sisällä. Lopputuloksena saatiin mahdollisimman yksinkertainen ja toimiva rakenteeseen integroitu painokytkin. Vastaavalla idealla muovituotteisiin voidaan tehdä hyvin erilaisia integroituja kytkimiä tai liittimiä.



Kuva 53. Origamielektroniikka mahdollistaa monimutkaisten rakenteiden luomisen yksinkertaisella valmistustekniikalla.

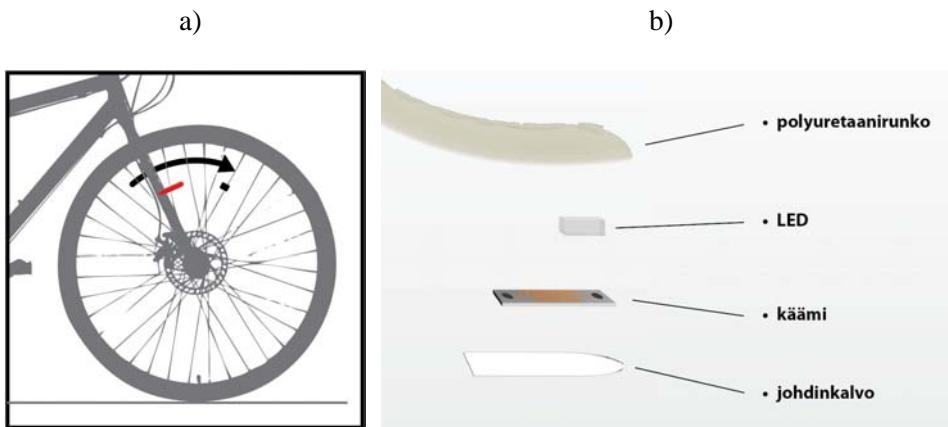
8.2 Muotoiluyhteistyö

Käytännössä yhteistyö toteutettiin siten, että VTT toimitti em. Muoke-kurssin ohjaajille ja opiskelijoille tiiviin tietopaketin teknologiasta, minkä lisäksi aihetta esiteltiin luentomaisesti yhteisessä tietoverkon välityksellä pidetyssä kurssin aloitustilaisuudessa. Opiskelijoilla oli mahdollisuus esittää kysymyksiä VTT:n asiantuntijoille sekä luennon aikana että sähköpostitse. Muoke-kurssin tuloksena opiskelijaryhmät tekivät oppilastöinä yhteensä 23 erilaista tuotekonseptia, joita havainnollistettiin kurssin lopussa pidetyssä esittelytilaisuudessa presentaatioiden, fyysisten tuotemallien sekä postereiden avulla. Tuotemalleista ja postereista koottiin kiertävä näyttely, joka oli esillä kussakin oppilaitoksessa yhden kuukauden ajan, minkä lisäksi se saatiin mukaan VTT:n järjestämään yritysseminaaritilaisuuteen Espooseen helmikuussa 2010. Lapin yliopiston syventävässä kurssissa työtä jatkettiin pienemmän opiskelijaryhmän kanssa, ja tuloksena syntyi jälleen

joukko uusia tuoteideoita. Muoke-kurssin lopputöiden osalta järjestettiin myös pienimuotoinen kilpailu, jossa viisi parasta konseptia palkittiin rahapalkinnoin. Seuraavissa kappaleissa esitellään palkitut työt sekä syventävän kurssin aikana syntyneitä konsepteja.

8.3 Konsepti 1: polkupyörän huomiovalo

Tämä tuotekonsepti voitti ensimmäisen palkinnon Muoke-kurssilla järjestetyssä kilpailussa. Tekijöinä olivat Timo Yliluoma (TaiK) ja Ilmari Mansikkamäki (TaiK). Mato-humiovalo on edullinen, kaikille hämärässä liikkuville pyöräilijöille tarkoitettu lisävaruste. Valo sekä aktivoituu että sammuu itsestään. Laitteessa ei ole paristoa, eikä se vaadi ylläpitoa. Vedenpitävä tuote koostuu kolmesta osasta: valosta, kiinnityskuminauhasta ja pinnamagneetista. Kuva 54 esittelee tuotteen a) toimintaperiaatteen ja b) rakenteen. Valo saa virtansa magneettiseen induktioon perustuvasta ilmiöstä, ja pyörän etuhaarukkaan kiinnitettävän laitteen kärjessä on rakenteen sisään integroidut LED ja käämi. Polkupyörän pintaan kiinnitetään vastakappaleeksi magneetti, joka saa käämin tuottamaan virtaa. Valo välähtää aina, kun magneetti ohittaa käämin.

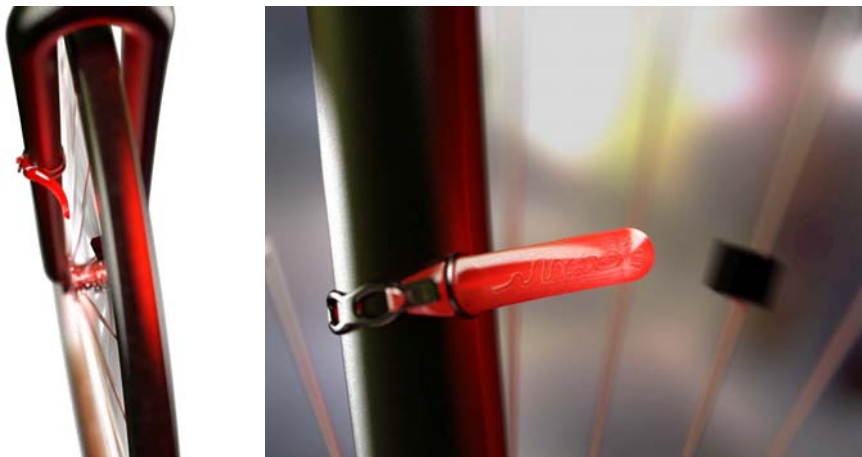


Kuva 54. Tuotekonseptin a) toimintaperiaate ja b) rakenne.

Kuva 55 esittää huomiovalon kaksi tuotemallinnusta. Kaarevalla profiililla on pyritty saamaan aikaan paras mahdollinen näkyvyys sekä sivuille että eteen. Sulavalla muodolla saavutetaan myös hyvä valon johtavuus rakenteen sisällä. Punaista väriä käytetään hyvän erottuvuuden takaamiseksi. Valmistusprosessi on huomioitu tuotteen suunnittelussa, ja lähtökohtana on ollut työvaiheiden mini-

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

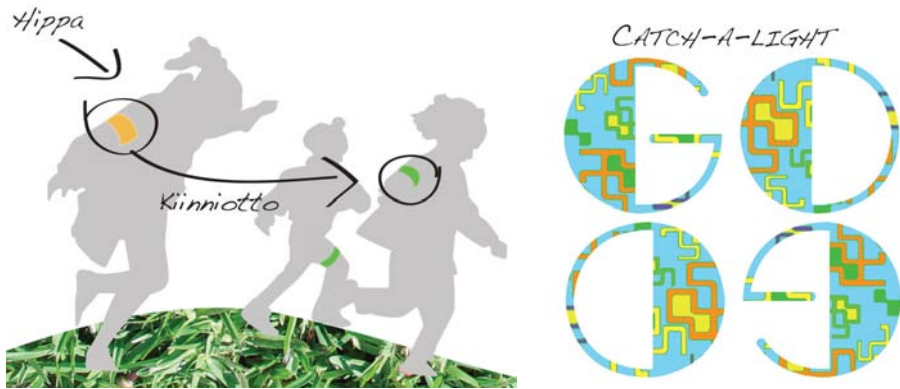
mointi. Valitulla menetelmällä saadaan täysin vesitiivis rakenne suoraan ruiskuvaluprosessilla ilman kokoonpanoa. Myös tuotegrafiikka ja valo aittava pintarakenne tulevat suoraan muotista.



Kuva 55. Kaksi muodon esiin tuovaa mallinnuskuvaa tuotteesta.

8.4 Konsepti 2: valoleikki

Tämä tuotekonsepti voitti toisen palkinnon Muoke-kurssin kilpailussa. Tekijöinä olivat Pinja Heininen (TaiK), Lukas Medeisis (TaiK) ja Elina Seppälä (TKK). *Catch-a-light GOGO* on valaiseva ulkopeliranneke lapsille (Kuva 56). Ranneke on suunniteltu edistämään 6–15-vuotiaiden koululaisten liikkumista uudella, jännittävällä tavalla. Perusajatuksena on se, että yksinkertaisella väriä vaihtavalla rannekkeella tai käsivarsinauhalla voidaan indikoida leikki- tai pelitilanteessa eri puolella olevat pelaajat tai vaikka hippaleikissä kiinni ottava henkilö. Väri vaihtuu automaattisesti joko kosketuksesta tai toisen laitteen tullessa riittävän lähelle. Tuotteen käyttäjäkuntaa voidaan laajentaa myös muun muassa urheiluseuroihin tai roolipelaajiin. Laite koostuu OLED-valosta ja ulkoilukankaasta tehdystä rannekkeesta tai käsivarsinauhasta (Kuva 57). Kiinnitys käy helposti kaiken kokoisille käsille kuminauhakiristyksen ansiosta. Valaisevan pinnan joustavuutta tarvitaan, kun GOGO halutaan kiinnittää vaatteeseen tai käsivarteen.



Kuva 56. Tuotekonseptin a) perusidea ja b) logo.

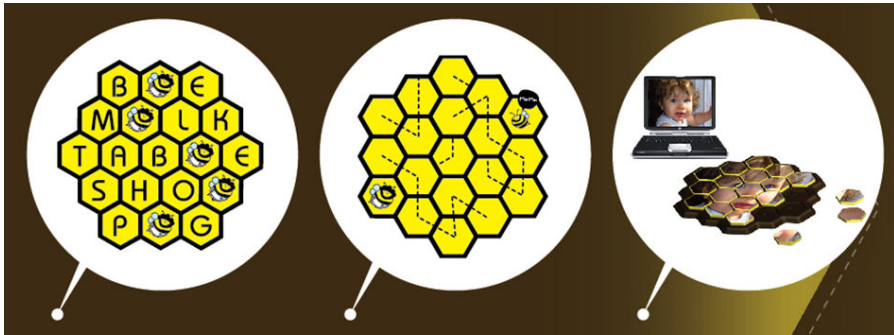


Kuva 57. Tuotteen a) rakenne ja b) mallinnuskuvat.

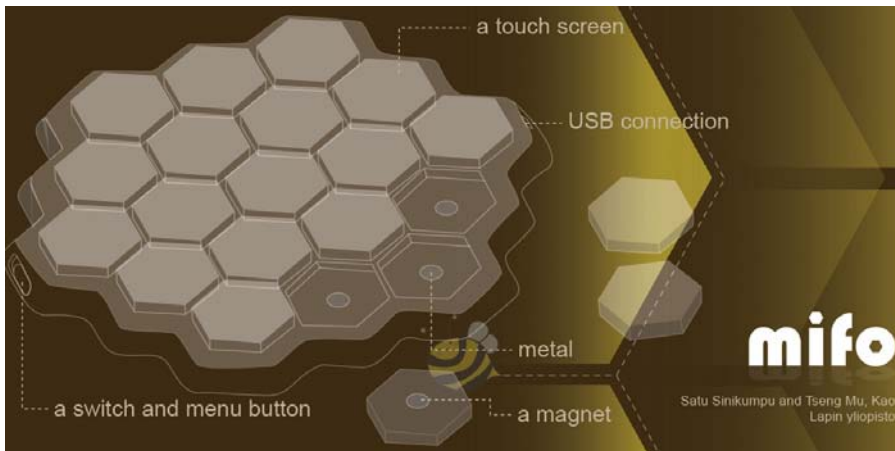
8.5 Konsepti 3: interaktiivinen opetuspelejä

Tämä tuotekonsepti tuli jaetulle kolmannelle sijalle Muoke-kurssin kilpailussa. Tekijöinä olivat Satu Sinikumpu (LaY) ja Tseng Mu Kao (LaY). Mifo on interaktiivinen opetuspelejä, jonka jokaisessa palassa on sähköisesti päivitettävä kosketusnäyttö. Elektronisen näytön ansiosta käyttäjä voi muokata peliä haluamallaan tavalla tai ohjelmoida sen aina uudelleen, kun tiettyyn pelitoimintoon kyllästytään. Pelin osat ovat kuitenkin fyysisiä kosketeltavia kappaleita eivätkä pelkää tietokoneen ruudulla toimivia virtuaaliesineitä. Pelilaudan osat voidaan ladata ja päivittää esimerkiksi erillisen alustan kautta. Umpeenvaletun rakenteensa ansiosta kappaleet ovat robusteja ja kestävät hyvin lasten leikit. Modulaarisuus puolestaan mahdollistaa saman muotin käyttämisen pelin eri osasten valmistuksessa. Kuva 58 esittelee pelin toimintaperiaatteen ja Kuva 59 sen rakenteen.

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa



Kuva 58. Interaktiivinen palapeli voidaan päivittää sähköisesti.



Kuva 59. Jokaisessa identtisessä palassa on kosketusnäyttö.

8.6 Konsepti 4: sanelumuistio

Tämä tuotekonsepti tuli jaetulle kolmannelle sijalle Muoke-kurssin kilpailussa. Tekijöinä olivat Lotta Julkunen (LM) ja Anna Savolainen (LM). Kaiku on ran- teessa pidettävä, käyttäjän omalla äänellä muistutukset tallentava sanelumuistio (Kuva 60), jonka voi ajastaa hälyttämään haluttuna ajankohtana. Laite on help- pokäyttöinen, heti saatavilla ja valmis nauhoittamaan muutamassa sekunnissa. Viestin voi sanella muistiin ja kuunnella tai kirjata ylös myöhemmin paremmalla ajalla. Kaiku hälyttää ajastetusta muistutuksesta merkkiäänellä ja värinäähälytyk- sellä. Tuotteen käyttö ei vaadi kirjoittamista tai näppäimistön käyttöä, mikä on

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

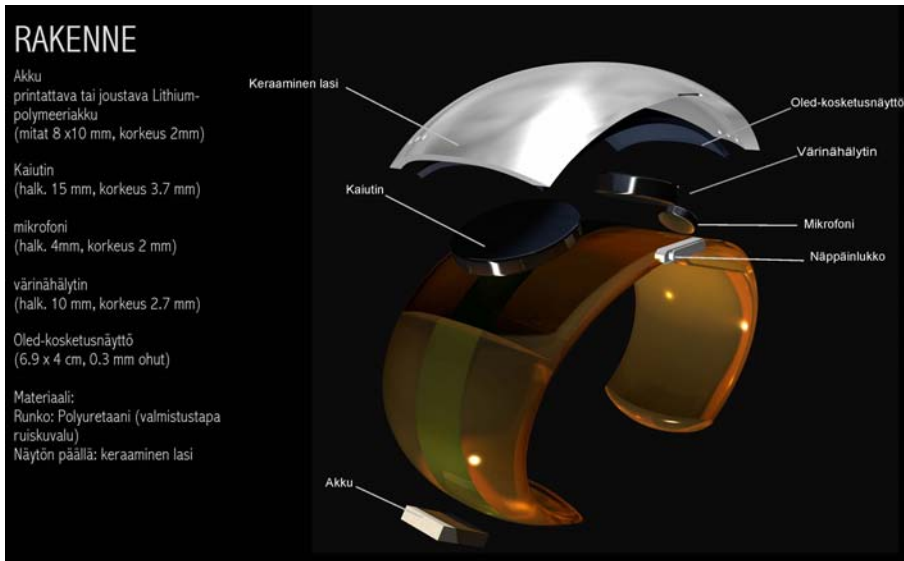
eduksi henkilöille, joilla on kirjoitusvaikeuksia tai joille tekstin kirjoittaminen kännykän näppäimistöllä on hidasta. Ranneke sopii erityisen hyvin iäkkäille ihmisille, joilla on muistihäiriöitä tai lievää dementiaa. Toisena käyttäjäryhmänä voivat olla henkilöt, jotka tarvitsevat työssään nopeasti tallentavan muistin apuvälineen. Ranteeseen sopivan korumaisen muotoilun ansiosta laite kulkee helposti mukana kaikissa tilaisuuksissa.



Kuva 60. Sanelumuistion a) tuotemallinnus ja b) käyttöliittymäesimerkki.

Muistiossa on painettu joustava litiumpolymeeriakku, kaiutin, mikrofoni, värinähälytyn ja kaareva OLED-kosketusnäyttö. Runkomateriaalina toimii polyuretaani, ja näytön päälle voidaan asettaa kestävyuden lisäämiseksi keraamista lasia. Kuva 61 näyttää tuotteen rakenteen.

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

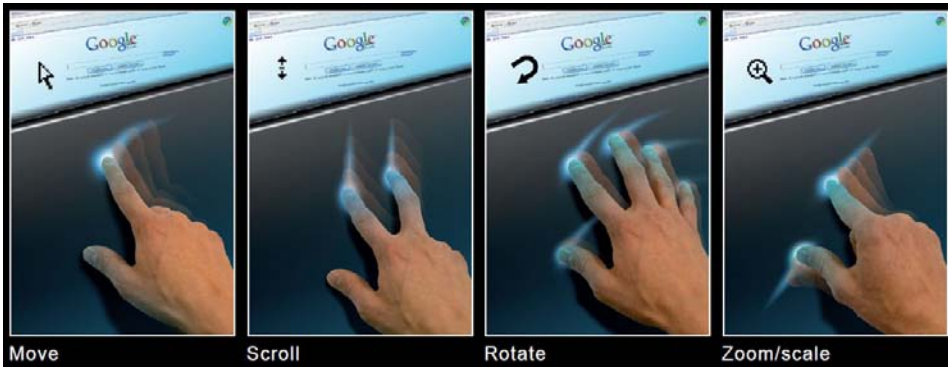


Kuva 61. Ranteeseen asetettavan korumaisen tuotteen rakenne.

8.7 Konsepti 5: joustava ohjainalusta

Tämä tuotekonsepti tuli jaetulle kolmannelle sijalle Muoke-kurssin kilpailussa. Tekijöinä olivat Juha Halme (LM) ja Antti Eskeli (LM). Flexible Touchpad (FT) toimii joko sormien (Kuva 62) tai elottoman esineen, kuten kynän, kosketuksella. Tarkoituksena on korvata hiiri sekä osa näppäimistöä pienikokoisemmalla, mukana kannettavalla taipuisalla alustalla. FT:tä voidaan taipuisuutensa ansiosta käyttää vaihtelevilla pinnoilla. Tavoitteena on saada Touchpad niin ohueksi tuotteeksi, että sen voi kätevästi sujauttaa kannettavan tietokoneen väliin tai integroida vaikka suoraan miniläppärin suojaussiin. Ajatuksena on kehittää langattomasti toimiva tuote, joka on mahdollista yhdistää myös tietokoneen USB-porttiin, mikäli latausmahdollisuutta ei ole saatavilla. Kuva 63a näyttää yhden tuotemallinnuksen ja Kuva 63b alustan rakenteen.

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa



Kuva 62. FT:n käyttö tapahtuu esimerkiksi erilaisilla sormien liikkeillä.



Kuva 63. Joustava rakenne mahdollistaa ohjainalustan taivuttamisen.

8.8 Lisäkonseptit

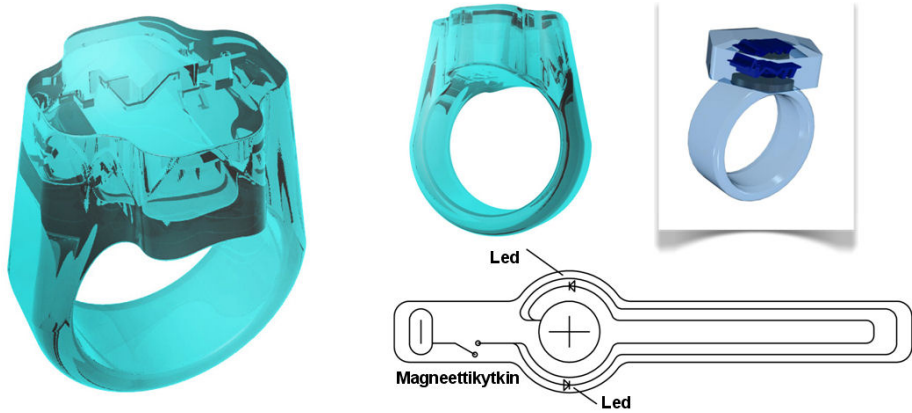
Seuraavat tuotekonseptit ovat syntyneet Lapin yliopiston kanssa toteutetun syventävän kurssin tuloksena. Osa ideoista on myös toteutettu mallinnuskappaleiksi silikonimuottivaluilla. Tuotekonseptit esitetään tässä vain kuvien ja lyhyiden kuvatekstien avulla.

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa

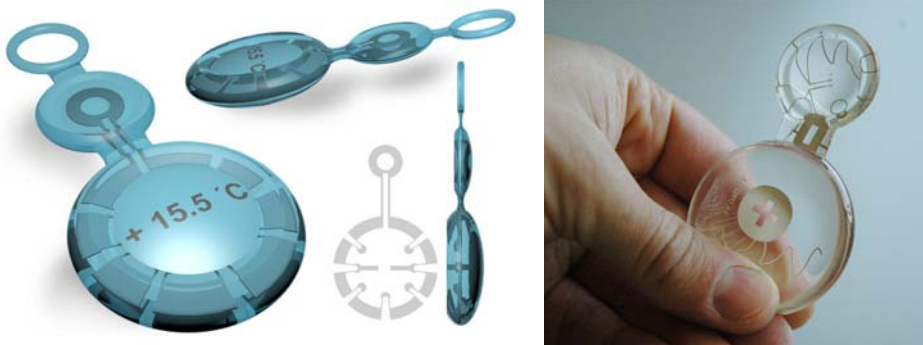


Kuva 64. Hanna Ahvensalmen kukkamittari kertoo, koska kasvi pitää kastella.

8. Muovi-integroinnin mahdollisuudet muotoilussa



Kuva 65. Riku Närhen elektroninen sormus hehkuu sisäistä LED-valoa.



Kuva 66. Joel Lehtikankaan lämpömittari kertoo, kuinka kylmää vesi on.

9. Yhteenveto

VTT:ssä on tehty runsaasti elektroniikan muovipohjaisiin integrointiteknologioihin liittyvää tutkimusta. Kehitettyjen valmistusteknologioiden tavoitteena on sulauttaa elektroniikka osaksi muovisia rakenteita, jolloin koko tuote voidaan muotoilla vapaammin ilman jäykkää tasomaista piirilevyä. Tämän edun lisäksi uusilla integroivilla valmistusmenetelmillä voidaan muun muassa parantaa tuotteiden kestävyyttä, yksinkertaistaa rakenteita ja pidemmällä tähtäimellä myös laskea tuotantokustannuksia. Elektroniikan integroiminen muovituotteisiin ei ole uusi keksintö, mutta VTT:n tutkimuksessa vahvaa uutuusarvoa on löydetty lähestymällä aihetta painetun elektroniikan suunnasta. Painettujen hybridisysteemien kehitystyö on keskittynyt kahteen pääasialliseen valmistusprosessiin: elektroniikkakalvojen laminointiin ja ylivaluun. Laminoinnissa perusajatuksena on kiinnittää yhteen kaksi tai useampi painettu piirilevykalvo, jolloin niiden väliin voidaan sijoittaa pieniä pii-pohjaisia elektroniikkakomponentteja. Ylivaluprosessissa puolestaan ideana on ensin kiinnittää elektroniikkakomponentit painetulle piirilevykalvolle ja sitten ruiskuvalaa tämän päälle haluttu rakenteen 3D-muoto.

Painetuille hybridisysteemeille voidaan jo nyt nähdä runsaasti erilaisia sovelluksia autoteollisuudesta kulutuselektroniikkaan, joissa integroinnin tuoma lisäarvo on merkittävä. Tästä kertovat myös suomalaisten yritysten suuri kiinnostus teknologioita kohtaan sekä raportissa esitetystä patenttikartoituksesta ilmi käyvä kansainvälisten suuryritysten aktiivisuus alueella. Kokonaisuutena VTT:n teknologiaa on tähän mennessä esitelty yhteensä lähes sadalle eri alan yritykselle seminaaritilaisuuksissa ja yritysvierailujen avulla. Käytyjen keskusteluiden tuloksena on tunnistettu neljä selkeää sovellusaluetta, joissa teknologia voi yritysten mielestä tuoda merkittävää etua nykyiseen tuotevalikoimaan: näyttöjen taustavalaistus, yleis- ja koristevalaistus, käyttöliittymät sekä anturointi. Taideteollisen korkeakoulun, Lapin yliopiston ja Lahden muotoiluinstituutin kanssa yhteistyönä kehitellyt uudet tuotekonseptit osoittavat, että mahdollisten muovi-integrointia

käyttävien tuotealueiden määrä ja kirjo ovat hyvin laajoja. Hybriditeknologian mahdollisuuksien täysimääräinen hyödyntäminen vaatii siis teknologian määrittämien suunnittelusääntöjen lisäksi syvää ymmärrystä muotoilun mahdollisuuksista tuotesuunnittelussa.

Tuotteiden muotoilu kohti parempaa intuitiivista käytettävyyttä on yksi merkittävä tekijä, jolla suomalaiset yritykset voivat erottua kovassa kansainvälisessä kilpailussa. Painetun elektroniikan lupaama yhdistelmä edullisesta valmistuksesta ja elektroniikan muotoiltavuudesta tarjoaa erinomaisen tilaisuuden aivan uudenlaisten kuluttajia ilahduttavien tuotteiden kehittämiseen. Hybridisysteemien suunnittelussa ja valmistuksessa tarvitaan kuitenkin aiempaa enemmän yhteistyötä eri osaamisalueiden välillä. Tämä vaatimus voidaan nähdä sekä negatiivisena että positiivisena asiana. Tiiviin yhteistyön tarve eri alueen asiantuntijoiden kesken kasvattaa suunnitteluvaiheen kompleksisuutta ja tuo omat haasteensa sekä laite- että henkilöstöresurssien kehittämiseen. Toisaalta pyrkimys monitekniseen osaamiseen pakottaa globaalit yritykset etsimään tuotteidensa kehitykselle toimintaympäristön, jossa tarvittavaa asiantuntemusta on saatavilla. Juuri tässä vaatimuksessa piilee myös Suomen mahdollisuus. Meiltä löytyy paljon korkeasti koulutettuja ja oikean taustan omaavia henkilöitä, jotka pystyvät hyödyntämään teknologian tarjoamia etuja.

Sekä painettu elektroniikka että kalvojen päällevalutekniikka ovat vielä pitkälti tutkimusympäristöissä tapahtuvaa toimintaa. Painettujen hybridisysteemien alueella tarvitaan jatkossa runsaasti erilaisia tutkimushankkeita, joiden avulla teknologiat pystytään jalostamaan kypsiksi, tuotteiden valmistuksessa suoraan hyödynnettäviksi, tuotantoprosesseiksi. Kehitettäviä seikkoja ovat muun muassa integroitujen tuotteiden suunnittelusäännöt sekä tuotannossa vastaan tulevat prosessin luotettavuus ja saanto. Koska kysymyksessä on laaja-alaisesti sovellettavissa oleva valmistusteknologiakokonaisuus, niin näitä asioita pitää tutkia myös erilaisilla sovellusalueilla kohdistettuna erilaiset tuotespesifikaatiot omaaviin tuotteisiin. Lisäksi suurta huomiota vaativat myös koko valmistusprosessiketjun tasapainottamiseen ja kustannustehokkuuteen liittyvät tekijät, joita voidaan hahmottaa jatkossa järjestelmällisen prosessisuunnittelun ja kustannusmallien avulla. Näin suuren kokonaisuuden ylös nostaminen vaatii panostusta sekä yritysten että yhteiskunnan taholta. VTT tulee omalta osaltaan jatkamaan tätä kehitystyötä sekä kansallisissa että kansainvälisissä hankkeissaan.



Tekijä(t) Jukka-Tapani Mäkinen (toim.)		
Nimeke Painetut hybridisysteemit Teknologian tila ja kaupallistamisen mahdollisuudet Suomessa		
Tiivistelmä Tämä raportti on osa vuosina 2009 ja 2010 Tekesin ja VTT:n rahoituksella toteutettua PROFIT-projektia, jonka tavoitteena oli kartoittaa muovi-integroinnin alalla kehitettyjen valmistusteknologioiden kaupallistamisen mahdollisuuksia Suomessa. Dokumentin tarkoituksena on esitellä lähinnä VTT:ssä Oulussa painettuja hybridisysteemejä koskevan tutkimuksen sisältöä ja tuloksia sekä välittää mahdollisimman monipuolinen kuva tutkimusalan tilanteesta niin teknologisesta kuin kaupallisesta näkökulmasta. Painetuilla hybridisysteemeillä tarkoitetaan komponentteja ja systeemejä, joissa yhdistetään painettuja toiminnallisuksia perinteisiin elektroniikkakomponentteihin ja alikokoonpanoihin. Kokonaisuuden etuna on 3D-muovattavuus ja mahdollisuus integroida elektroniikkaa suoraan tuotteiden muovirakenteisiin. Muoviin valetut moduulit ja laitteet ovat lisäksi kompakteja ja hyvin robusteja. Nämä edut mahdollistavat elektroniikan hyödyntämisen uudella tavalla monilla sovellusalueilla autoista terveydenhuollon diagnostiikkalaitteisiin ja viihde-elektroniikkaan.		
ISBN 978-951-38-7645-6 (nid.) 978-951-38-7646-3 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 37821
Julkaisu-aika Syyskuu 2010	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 95 s.
Projektin nimi PROFIT		Toimeksiantaja(t) Tekes, VTT
Avainsanat Printed hybrid systems, plastic integration, electronics manufacturing technologies		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374



Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2547
VTT-TIED-2547

Author(s) Jukka-Tapani Mäkinen (ed.)		
Title Printed hybrid systems State of technology and opportunities for commercialization in Finland		
Abstract This report is a part of Tekes and VTT funded research project PROFIT, which was carried out during the years 2009 and 2010. The goal of the project was to survey the business potential of plastic integration technologies in Finland. Many discussions and seminars were arranged during the project and around one hundred companies were contacted. In addition to disseminating the current knowledge, information was gathered on the research needs of companies in this particular field. The purpose of this document is to present the results of the research work conducted mainly at VTT in Oulu, and to convey a diverse picture on the state of the printed hybrid systems both from the technological and commercial points of view. In addition, strong emphasis is put on the possibilities that the technology offers in product design.		
ISBN 978-951-38-7645-6 (soft back ed.) 978-951-38-7646-3 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 37821
Date September 2010	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 95 p.
Name of project PROFIT		Commissioned by Tekes, VTT
Keywords Printed hybrid systems, plastic integration, electronics manufacturing technologies		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Tämä raportti on osa vuosina 2009 ja 2010 Tekesin ja VTT:n rahoituksella toteutettua PROFIT-projektia, jonka tavoitteena oli kartoittaa muovi-integroinnin alalla kehitettyjen valmistusteknologioiden kaupallistamisen mahdollisuuksia Suomessa. Projektin puitteissa käytiin runsaasti keskusteluja ja järjestettiin seminaaritilaisuuksia, joiden myötä saatiin kontakti yhteensä lähes sataan eri yritykseen. Tiedonlevityksen lisäksi kerättiin tietoa yritysten tutkimuksellisista tarpeista. Raportin tarkoituksena on esitellä lähinnä VTT:ssä Oulussa painettujen hybridisysteemiä koskevan tutkimuksen sisältöä ja tuloksia. Raportissa halutaan välittää mahdollisimman monipuolinen kuva tutkimusalueen tilanteesta niin teknologisesta kuin kaupallisesta näkökulmasta. Lisäksi siinä painotetaan vahvasti uuden teknologian mahdollisuuksia tuotemuotoilussa.