

Anna Kekkonen

# Muovi-painoväriyhdistelmien vaikutus älykortin kestävyyteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

21.4.2015

Tekijä Otsikko	Anna Kekkonen Muovi-painoväriyhdistelmien vaikutus älykortin kestävyys
Sivumäärä Aika	31 sivua + 6 liitettä 21.4.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	Projektipäällikkö Taru Syrjänen Yliopettaja Kai Laitinen
<p>Insinööriyössä tutkittiin erilaisten muoviraaka-aineiden vaikutusta älykortin kestävyys. Tutkittava kortti varioitiin kuudella eri rakennevaihtoehdolla sekä kymmenellä silkkipainoväriellä. Tavoitteena oli löytää sopiva yhdistelmä kestävään älykorttiratkaisuun.</p> <p>Työ eteni kolmessa vaiheessa sulkien toimimattomat yhdistelmät pois jatkotesteistä. Testisuunnitelmaan kuuluvat testit ovat irtivetolujuustesti, DIN-taivutustesti, dynaaminen taivutustesti, vanhennustesti ja UV-rasitustesti. Testit suoritettiin aina niille korteille, jotka läpäisivät edellisen testivaiheen. Ensin tutkittiin pelkkiä rakenteita, minkä jälkeen lisättiin silkkipainoväri. Irtivetolujuustesti karsi variaatioita jatkotesteistä huomattavasti eniten. Jatkotesteihin päätyivät vain ne variaatiot, jotka saivat hyväksytyt tulokset kaikista testeistä.</p> <p>Jatkotesteissä saatujen tulosten perusteella lähetettiin kaksi väriyhdistelmää samalla rakenteella eteenpäin tuotetesteihin. Kaksi variaatiota on ideaalinen lopputulos, sillä kustannukset tuotetesteissä eivät nouse liian suuriksi, mutta yhden värin toimimattomuuteen on varauduttu.</p>	
Avainsanat	älykortti, tuotekehitys, muovit

Author(s) Title	Anna Kekkonen Effect of the combination of plastic materials and silk screen printing inks on the durability of a smart card
Number of Pages Date	31 pages + 6 appendices 2 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Taru Syrjänen, Project Manager Kai Laitinen, Principal Lecturer
<p>In this thesis it was studied how the durability of a smart card can be affected by different plastic materials. The card was varied by using six structure options and ten silk screen printing inks. The goal was to find a suitable combination for a new smart card type.</p> <p>Study proceeded in three steps disqualifying combinations that did not work. The testing plan included peeling test, DIN-bending test, dynamic bending test, ageing test and UV stress test. Tests were only done for those cards which gave good results in the previous test. First, only structures were tested, and after that, all silk screen prints were added. The peeling test eliminated most of the variations of all tests. Only those variations that passed all the tests were picked up for follow-up tests.</p> <p>On the basis of the results from follow-up tests, two inks with the same structure were sent to product testing. Two variations are the ideal result because the cost of production test will not rise too high but the risk of one ink to fail is taken care of.</p>	
Keywords	Smart card, product development, plastics

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Muovi raaka-aineena korttiteollisuudessa	2
3	Silkkipainovärjäys	7
4	Älykortin valmistusvaiheet	9
4.1	Painaminen	9
4.2	Kokoaminen	10
4.3	Laminointi	10
4.4	Viimeistely	11
5	Älykorttien testausmenetelmät	12
5.1	Irtivetolujuus	12
5.2	Taivutustestit	14
5.2.1	DIN- taivutustesti	14
5.2.2	Dynaaminen taivutustesti	15
5.3	Vanhennustesti	16
5.4	UV-rasitustesti	16
5.5	Opasiteetti ja densiteetti	17
6	Tutkittavat laminaattiyhdistelmät	17
7	Painamattomien rakenteiden irtiveto- ja DIN-taivutuslujuus	19
8	Painettujen rakenteiden testaus	21
8.1	Visuaalinen tarkastelu	21
8.2	irtivetolujuustesti	23
8.3	Vanhennustesti	25
8.4	UV-rasitustesti	26
8.5	DIN-taivutustesti	26
9	Painettujen rakenteiden jatkotestaus	27
10	Virhearviointi	29
11	Johtopäätökset	29

Liite 1: Rakenteiden irtivetolujuusarvot

Liite 2: Visuaalisen tarkastelun tulokset

Liite 3: Irtivetolujuuskokeen tulokset

Liite 4: Vanhennustestin tulokset

Liite 5: UV-rasituskokeen tulokset

Liite 6: Jatkotestien tulokset

## Lyhenteet

PE	Polyeteeni
PVC	Polyvinyylikloridi
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PC	Polykarbonaatti
PET	Polyeteenitereftalaatti

## 1 Johdanto

Gemalto Oy kuuluu maailmanlaajuiseen Gemalto-konserniin, jonka Suomen toimipiste sijaitsee Vantaalla. Ranskalaisomistuksessa oleva yritys on maailman suurin digitaaliseen turvallisuuteen keskittyvien ratkaisujen tuottaja. Suomessa erikoistuminen keskittyy korkean turvatason sirullisten ja visuaalisten ID-tuotteiden ja sovellusten kehittämiseen ja valmistamiseen. Tuotteita ja ratkaisuja myydään, markkinoidaan sekä valmistetaan pääasiassa viranomaisille ja julkishallinnon organisaatioille, pankin ja kaupan alalle Pohjoismaissa sekä teleoperaattoreille Pohjoismaissa ja Baltian maissa. Tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa älykortit, pankki- sekä maksukorttiratkaisut, matkakortit ja yritysturvallisuuden ratkaisut. [1.]

Älykorttina voidaan pitää sellaista korttia, joka kommunikoi lukijalaitteen kanssa. Kortti sisältää tietoja, jotka pystytään yhteensopivan laitteen avulla lukemaan ja tekemään jatkotoimintoja, kuten avaamaan ovia tai antamaan käyttöoikeudet tietokoneeseen. Korttisovelluksia tulee jatkuvasti lisää ja tekniikka kehittyy nopeasti. Älykortti eroaa myös esimerkiksi tavanomaisesta ajokortista ulkonäkösä puolesta. Kortin käyttö ei edellytä tunnistetietoja kortin pintaan tekstin ja kuvien avulla. Kortin lukemiseen vaaditaan ainoastaan tarpeeksi peittävä pinta ja toimiva elektroninen komponentti.

Älykortti on syrjäyttänyt valtaosan magneettijuovaisista korteista turvallisuutensa vuoksi. Tietoihin päästään käsiksi tunnistautumisen, useimmiten PIN-koodin, avulla. Älykortit luokitellaan ryhmiin elektronisen kommunikointityypin perusteella. Korttityypit ovat kontaktikortti, kontaktiton kortti sekä yhdistelmäkortti, jossa on sekä kontakti- että kontaktittoman kortin ominaisuudet. Opinnäytetyössä keskitytään ensisijaisesti kontaktikorttiin sekä yhdistelmäkorttiin. [2.]

Opinnäytetyössä kehitetään nykyistä älykorttia kestävämpää ja pitkäaikaisempaa tuotetta. Erilaisten materiaalirakenteiden sekä silkkipainovärien yhdistelmien kestävyysominaisuuksia tutkitaan uutta sovellusta varten. Sovellus edellyttää läpinäkyvien muovien rakennetta sekä painatusta hyvän peittokyvyn omaavilla valkoisilla silkkipainoväreillä. Tavoitteena on löytää paras mahdollinen rakenne- sekä silkkipainoväriyhdistelmä.

Tutkittavat variaatiot muodostuvat kuudesta rakenteesta sekä kymmenestä silkkipainoväristä. Kehitystyö etenee kolmessa vaiheessa sulkien pois toimimattomat yhdistelmät. Uusi testi suoritetaan aina vain niille yhdistelmille, jotka läpäisevät edellisen testin. Työ toimii pohjana uuden älykorttituotteen kehittämisessä.

Luvussa kaksi tutustutaan älykorttiteollisuudessa käytettäviin raaka-aineisiin, eli erilaisiin muoveihin. Luku käsittelee yleisimpiä muoveja tuoden esiin niiden ominaisuuksia ja eroavaisuuksia.

Kolmannessa luvussa kerrotaan silkkipainovärjäyksestä ja perustellaan sen käyttö opinnäytetyössä. Älykortin valmistusvaiheet selitetään yksityiskohtaisesti luvussa neljä ja testausmenetelmät puolestaan käydään läpi luvussa viisi.

Kuudes luku pohjustaa opinnäytetyön käytännön osiota kertomalla käytettävistä koe-materiaaleista. Testeihin päästään seitsemännessä luvussa painamattomien rakenteiden veto- ja taivutuslujuuden myötä. Painettujen rakenteiden testausta käsitellään luvussa kahdeksan ja seuraavassa kappaleessa puolestaan jatkotestausta.

Luvussa kymmenen pohditaan mittausvirheitä ja viimeisessä luvussa käydään läpi johdopäätökset.

## **2 Muovi raaka-aineena korttiteollisuudessa**

Älykorttiteollisuudessa raaka-aineena käytetään erilaisia muoveja ja niiden yhdistelmiä. Muovi on osoittautunut hyväksi materiaaliksi, sillä se kestää taipumista ja ympäristönvaihteluita. Värjääminen on helppoa ja yksityiskohtaista eikä yksi kortti vie juurikaan tilaa tai lisää painoa mukana kannettaessa. Kaikki muovit eivät kuitenkaan sovellu osaksi älykorttia, sillä esimerkiksi laminoitavuus on tärkeä ominaisuus.

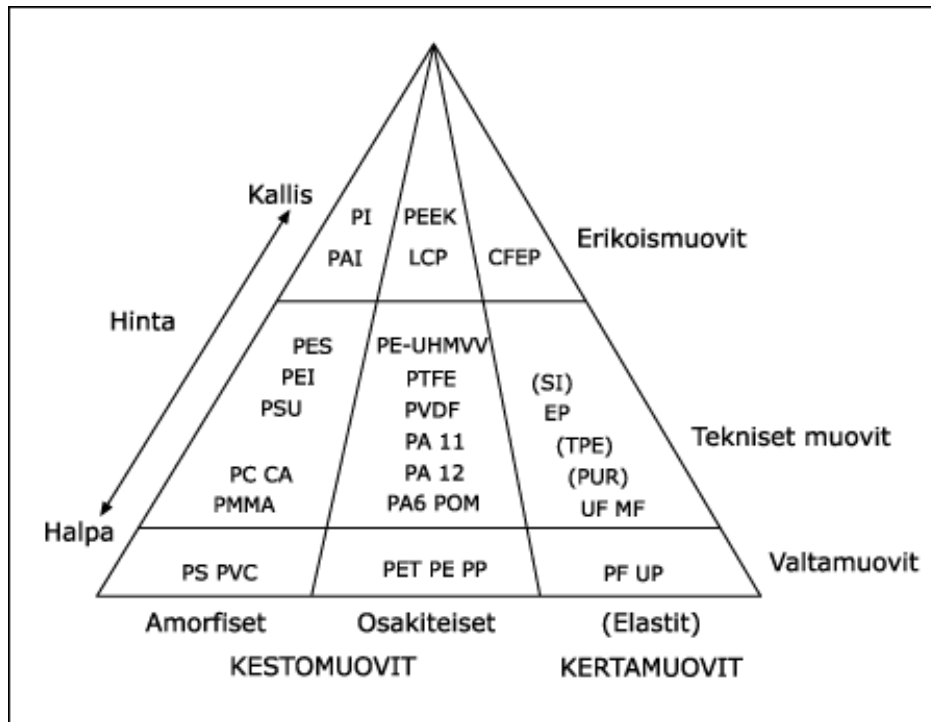
Erilaiset älykortit, kuten maksu- sekä kulunvalvontakortit, on suunniteltu jokapäiväiseen käyttöön. Niiden tavoiteltu kestoikä vaihtelee 5 - 10 vuoden välillä. Usein kortit, kuten pankkikortit, uusitaan jo kolmen vuoden jälkeen, jolloin ulkonäkö ja elektroniset toiminnot ovat vielä kunnossa. Maksukortit ovat yleisesti standardikokoa 85,60 mm x 53,98 mm ja paksuudeltaan noin 0,76 mm.



Laminoitujen kerrosten on tartuttava hyvin yhteen, jotta irrottaminen ehjänä olisi mahdollista. Näin väärentäminen on hankalaa ja korttien käyttö tuvallista. Mekaanisen rasituksen lisäksi kortille asetetaan myös ulkonäkökriteereitä. Visuaalisesti miellyttävä kortti ei saa UV-säteilyn vaikutuksesta kellastua ja pienetkin pintavirheet on vältettävä. Eri-laiset muovikerrokset kompensoivat toistensa heikompia ominaisuuksia muodostaen kestäväen rakenteen. Jokaisen kerroksen on silti ylitettävä tietyt vaatimustasot, jotta materiaaleja voidaan käyttää älykorteissa.

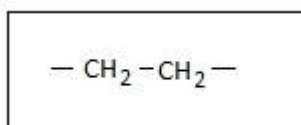
Muovit ovat keinotekoisia materiaaleja, jotka muodostuvat molekyyliyhdistä. Sama yksikkö rakenne toistuu jatkuvasti muodostaen ketjumaisen rakenteen. Rakenne, koostumus, molekyylikoko sekä seosaineet vaikuttavat muovin ominaisuuksiin. Stabilisaattorit lisäävät muovin kestävyyttä erilaisten olosuhteiden rasituksia, kuten auringonvaloa vastaan. Pehmittimillä saadaan parannettua muovin työstettävyyttä, kun taas lujite- ja täyteaineet parantavat mekaanisia ominaisuuksia. Lisäksi voidaan käyttää väri- sekä palonestoaineita. [3, s. 47.]

Muovit voidaan jakaa kahteen ryhmään: kestumuoveihin sekä kertamuoveihin (kuva 1.) Älykorteissa käytetyt muovit ovat kestumuoveja, joiden molekyyliketjut ovat lineaarisia tai haaroittuneita. Kestumuovit pystytään sulattamaan ja muovaamaan useaan kertaan. Molekyylien välillä ei ole lujia kemiallisia sidoksia, joten työstö on helppoa. Painoalustana käytetään yleisimmin polyeteeniä (PE), polyvinyylidikloridia (PVC), polypropeenia (PP), polystyreeniä (PS), polykarbonaattia (PC) sekä polyeteenitereftalaattia (PET). [3, s. 48.]



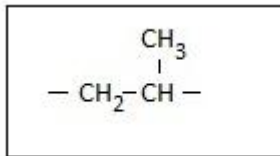
Kuva 1. Muovien jaottelut [4].

PE (kuva 2) on maailmassa eniten käytetty muovi ja sillä on useita erilaisia käyttösovel-  
luksia. Pinta on liukas ja hylkivä, minkä johdosta liimaaminen on hankalaa. Jotta pinnoi-  
tus saadaan pysyväksi, on muovin pinta esikäsiteltävä huolellisesti. PE:n hyviä ominai-  
suuksia ovat kemiallinen kestävyys, sähköneristyskyky, sitkeys sekä keveys. Huonoja  
puolia ovat UV-säteilyssä kellastuminen sekä heikko lämmönkestävyys. PE on myös  
palonarka ja sen lämpölaajeneminen on suurta. [5, s. 28.]



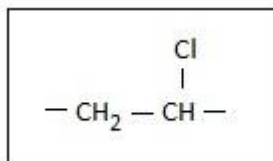
Kuva 2. Polyeteenin molekyyli rakenne [6, s. 17].

PP (kuva 3) on kiteinen muovi, jonka metyyliryhmä voi sijaita ketjun eri puolilla. Sillä on  
PE:tä parempi lämmönkesto, mittatarkkuus sekä prosessoitavuus. Jäykkyys ja väsy-  
mislujuus ovat myös hyviä. Taivutuksenkesto on muovien huippuluokkaa, mutta pak-  
kasenkesto on rajallinen. PP ei kestä UV-säteilyä eikä happoja. PE:n tavoin on PP:nkin  
liimattavuus heikko ilman esikäsitelyä. [5, s. 41.]



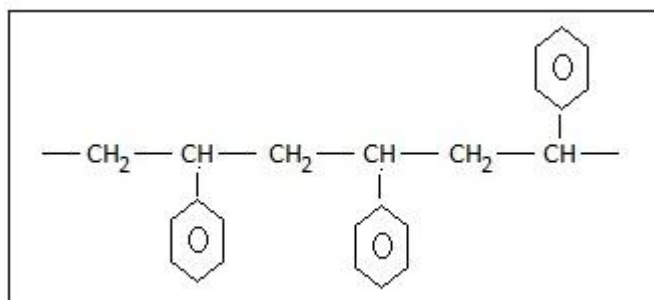
Kuva 3. Polypropeenin molekyyli rakenne [6, s. 43].

PVC (kuva 4) synnyttää palaessaan suolahappoa ja dioksiineja, jotka ovat hengitettynä haitallista. PVC:n ominaisuudet ovat hyvin erilaisia riippuen siihen sekoitetuista pehmittimistä ja lisäaineista. Kappale voi olla kova tai pehmeä, palamaton tai vaahdotettu. Sen värjääminen on helppoa. Polymeerimolekyylien välillä vallitsevat dipolivoimat tekevät muovista lujan. Muovia on kirkkaasta sameaan ja se on lämpöstabiloitava ennen sulassa muodossa työstämistä, sillä se hajoaa lämmössä herkästi. Lämpö aiheuttaa muovin ruskistumisen. PVC ei kuitenkaan ylläpidä palamista korkean klooripitoisuuden johdosta. PVC:llä on hyvä kemiallinen kestävyys sekä mittapysyvyys. [5, s. 48-53; 6, s. 57-64.]



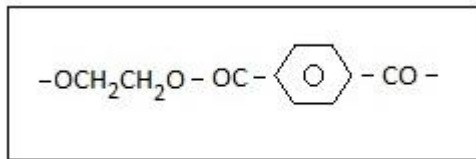
Kuva 4. Polyvinyylikloridin molekyyli rakenne [6, s. 58].

PS (kuva 5) on kova ja kirkas muovi. Helppo työstettävyys sekä edullinen hinta mahdollistavat lasin korvaamisen polystyreenillä useissa käyttökohteissa. Ongelmana on kuitenkin heikko iskunkestävyys, taipumus jännityssäröilyyn sekä herkkyys UV-säteilylle. Polystyreenistä on jatkokehitetty kestävämpi iskuluja polystyreeni sekä styreenin kopolymeerejä. PS:n värjäysmahdollisuudet ovat laajat [5, s. 57; 6, s. 94.]



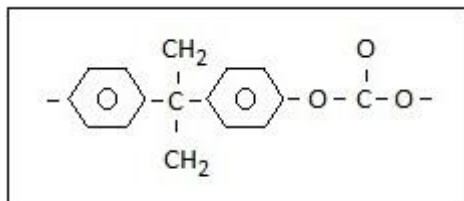
Kuva 5. Polystyreenin molekyyli rakenne [6, s. 93].

PET (kuva 6) on muovi, josta on sekä kiteinen, että amorfinen versio. Amorfinen PET on sitkeä ja kirkas. Kulutuksen- sekä kemikaalienkesto on erinomainen. Myrkyttömyys ja hajuttomuus ovat muovin etuja, kun taas UV- sekä lämmönkestävyys ovat alhaisia. PET kutistuu muita muoveja enemmän työstettäessä. Amorfisen PET:n kiteytyessä lämpörasituksessa se muuttuu vaaleaksi. Samalla jäykkyys ja lämmönkesto paranevat. [5, s. 74.]



Kuva 6. Polyeteenitereftalaatin molekyyli rakenne [6, s. 139].

PC (kuva 7) on sekä iskun- että lämmönkestävä kirkas muovi. Sitkeys ja lujuus ovat hyviä, mutta UV-säteilyä se ei kestä. UV-säteily aiheuttaa materiaalin kellastumisen sekä ominaisuuksien heikkenemisen. UV-stabiilaattorit tai pinnan lakkaaminen suojaavat näiltä ongelmilta. Pehmeähkö pinta naarmuttuu helposti ja tuote on usein taipuisa. PC:llä on myös taipumus pintasaröilyyn, mutta iskunkestävyys on erinomainen. [5, s. 78; 6, s. 158.]



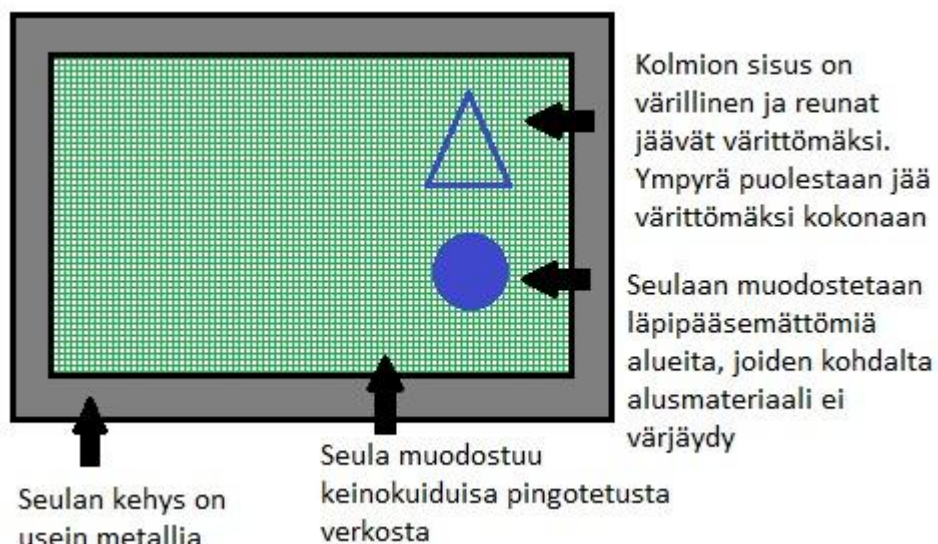
Kuva 7. Polykarbonaatin molekyyli rakenne [6, s. 156].

### 3 Silkkipainovärjäys

Älykortissa on oltava toimiakseen jokin värjätty pinta, jotta lukija tunnistaa kortin. Varsinaista kuviointia ei välttämättä tarvita, sillä kortin ulkonäkö ei vaikuta lukuominaisuuteen. Usein kortit kuitenkin halutaan painaa, jotta ne voidaan erottaa toisistaan ja tiedot lukea ilman lukulaitettakin. Myös visuaalinen ilme on tärkeä tekijä älykorteissa ja se on suunniteltu harkiten.

Silkkipainovärjäminen luo painotekniikoista paksuimman värikalvon. Paksuutta voidaan myös helposti säädellä seulan koon ja päällekkäisten painatuskerrosten avulla. Haluttu ilme saadaan yhtä painokonetta käyttäen, sillä vain seulan muodot ja käytetyt värit vaihtuvat.

Silkkipainomenetelmässä käytetään seulaa, joka muodostuu puu- tai metallikehykseen pingotetusta seulakankaasta. Seula peitetään teipillä tai seulantäyteaineella niistä kohdista, joista värin ei haluta menevän läpi (kuva 8). Painoväri vedetään raakelilla, eli kumi- tai metallilastalla seulakangasta pitkin siten, että väri tarttuu halutuista kohdista painoalustaan. Samalle painoalustalle saadaan useita värejä painamalla eri seulalla sekä painovärillä edellisen vedoksen päälle. Samalla seulalla ja painovärillä voidaan painaa myös useampi kerros päällekkäin, mikäli opasiteetti ei yhdellä painokerralla ole riittävä. [8, s. 10.]



Kuva 8. Esimerkki silkkipainossa käytettävästä seulasta.

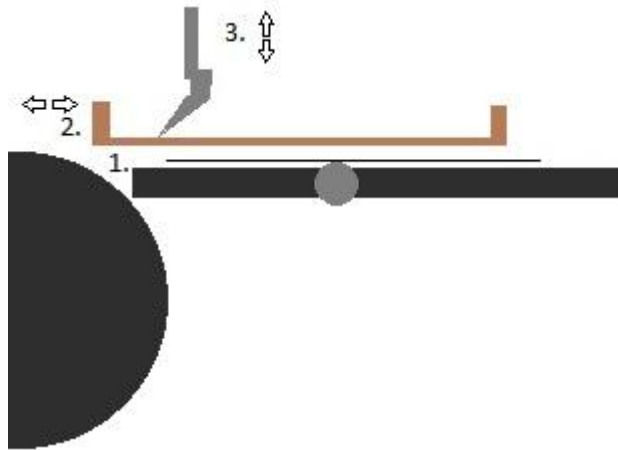
Silkkipainomenetelmä on lähtöisin Japanista ja Kiinasta, joissa seulakankaana käytettiin silkkiä. Suomessa menetelmästä puhutaan myös seripainona, joka vapaasti käännettynä kreikasta tarkoittaa silkkikirjoitusta. Nykyään seulakankaissa käytetään halvempia keinokuituja. Seulan tiheys ilmoitetaan muodossa lankaa/cm. Mitä tiheämmin lankoja on seulassa, sitä vähemmän väriä pääsee seulan läpi. [5, s. 145; 8, s. 11.]

Värikerrospaksuus on silkkipainossa huomattavasti paksumpi kuin muissa painomenetelmissä. Värit ovat näin ollen kirkkaampia sekä peittävämpiä. Painovärinä käytetään sekä vesi- että liuotinpohjaisia tuotteita, jotka kuivuvat joko hapettumalla tai kovettuvat UV-säteilyllä. Myös erikoisvärejä, kuten kiilto- ja fluoresoivia värejä käytetään efektiluojina. Käytetyt värit ovat usein tahmeita, jotta tarttuvuus painopintaan olisi hyvä. [3, s. 147–158.]

Painoalustana voidaan käyttää erilaisia paperi-, kartonki-, kangas- ja muovimateriaaleja. Myös tasaiset puu- ja metallilevyt sopivat käsin painettaviksi. Älykorteissa painomateriaalina käytetään ohuita muoviarkkeja. [3, s. 30.]

Painokaavio valmistetaan joko leikkaamalla tai valokemiallisesti. Leikkaamalla valmistettu kaavio tehdään ohuelle emulsiokalvopintaiselle muoville. Emulsiokalvo poistetaan halutuista kohdista, minkä jälkeen kuvioitu kalvo asetetaan seulaa vasten. Lämmin vesi irrottaa kalvon muovipinnasta ja kiinnittää sen seulan pintaan muodostaen läpäisemättömän pinnan. Niihin kohtiin, joista emulsiokalvo poistettiin, syntyy painoalustaan kuvio. Valottamalla valmistettu kaavio puolestaan tehdään suoraan seulan pintaan. UV-valolla kovettava emulsioaine levitetään kalvon pintaan ja valotus tehdään positiivisen filmin läpi. Valolle altistuvat pinnat kovettuvat ja muodostavat läpäisemättömän pinnan. Kovettumaton emulsio poistetaan seulalta vedellä. [3, s. 144.]

Painokoneet ovat rakenteeltaan sylinteri- tai tasopainokoneita. Painoyksiköitä on usein yhdestä neljään. Automaattisissa koneissa arkin syöttö ja kuljetus painoprosessin läpi toimii koneellisesti. Tällöin koneessa on aina oltava kuivausyksikkö, jotta arkit voidaan pinota linjaston päässä. Sylinteripainokone eroaa tasopainokoneesta raakelin pysyessä paikallaan ja seulan liikkuessa (kuva 9). [3, s. 145–147.]



Kuva 9. Sylinteripainokone. Arkit syötetään linjaa pitkin kohti pyörivää sylinteriä (1). Seula (2) liikkuu samaa vauhtia arkin kanssa vasemmalle. Raakeli (3) liikkuu alas levittäen värin ja nousee ylös odottamaan, että seula palaa alkuasemiin.

## 4 Älykortin valmistusvaiheet

### 4.1 Painaminen

Valmistusprosessin ensimmäisessä vaiheessa painetaan kortin etu- ja takapuoli silkkipainokoneella omille alusmateriaaleilleen. Painamista ei voida tehdä saman muoviarkin molemmille puolille, sillä etu- ja takapuolen väliin sijoitetaan kortin elektroninen rakenne. Silkkipainotekniikalla jokainen väri on painettava erikseen, sillä seulaan voidaan sijoittaa vain yksi väri kerrallaan. Tasalaatuisen painojäljen varmistamiseksi on väriä lisättävä seulalle tarvittavan usein ja painojälkeä tarkasteltava sopivin väliajoin.

Painamisessa erityisen tärkeää on alusmateriaalin kohdistus. Pienikin virhe kohdistuksessa johtaa siihen, etteivät kortin etu- ja takapuoli osu kohdakkain. On siis huolehdittava, että painojälki tulee jokaiseen arkkiin täysin samaan kohtaan ja että arkit syötetään koneeseen täysin suorassa. Automaattilaitteessa kone hoitaa kohdistuksen, mutta käsin painaessa on käytettävä erityistä tarkkaavaisuutta.

Käsin painaessa liuotinpohjaisella värillä painetut arkit on kuivattava telineissä, mutta painokoneissa on kuivaamiseen tarkoitettut yksiköt linjastossa. UV-kovettuvat värit puolestaan ajetaan UV-valolla varustetun kuivaajan läpi.

## 4.2 Kokoaminen

Kortit muodostuvat erilaisten muovien kerroksista, joihin on liitetty liimaa, silkkipainoväriä ja erilaisia elektronisia komponentteja tarpeen mukaan. Materiaalit kootaan oikeassa järjestyksessä pinoksi, joka liitetään yhteen esimerkiksi nurkista kolvaamalla. Ne muovit, jotka eivät laminoidu yhteen, täytyy liittää toisiinsa liimakerroksen avulla.

Kokoamisvaiheessa on tärkeää, että arkit ovat puhtaita. Puhdistamiseen käytetään esimerkiksi kumipintaista telaa, joka kerää pölyhiukkaset ja muut epäpuhtaudet arkin pinnalta. Kaikki muovikerrosten väliin jäävä lika näkyy lopullisessa tuotteessa eikä poistaminen jälkikäteen ole mahdollista. Työskentelytilan puhtaanapito edesauttaa lian määrän minimoimisessa ja apuna voidaan käyttää myös esimerkiksi ionisaattoreita.

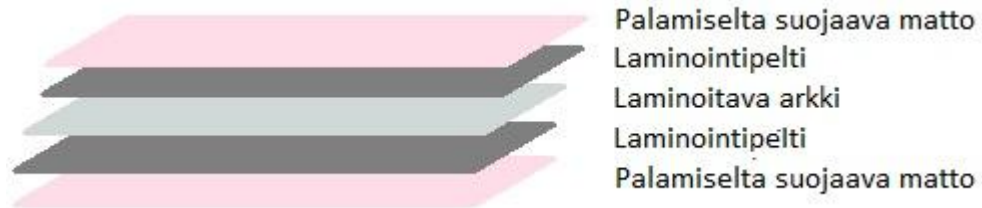
Jos rakenteen sisälle halutaan lisätä yksityiskohtia, kuten hologrammeja tai foliokuvioita, on ne lisättävä oikeaan rakenneväliin ennen laminointia. Pintaan voidaan liittää yksityiskohtia myös laminoinnin jälkeen. Yksityiskohtaiset elementit ovat kuitenkin paremmin suojassa pintakalvon alla, eivätkä pääse esimerkiksi naarmuuntumaan tai kulumaan. [3, s. 183.]

Muovien järjestys valitaan usein niin, että sisimmäisenä on paksuin rakenne sekä elektroniset komponentit. Seuraavaksi valitaan materiaali, johon painatus on mahdollista tehdä. Uloimmainen kerros toimii suojakalvona ja tuo kortille sileän pinnan. Ylimääräisiä kerroksia pyritään välttämään, sillä materiaalikulut sekä työmäärä kasvavat kerrosten lukumäärän kasvaessa. Lopullisen kortin paksuus on tarkasti määritelty, joten arkien yhteenlaskettu paksuus on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

## 4.3 Laminointi

Koottu rakenne liitetään yhteen laminaattorilla. Laminointilämpötila on hieman lasimuutoslämpötilan yläpuolella, jotta muovin kimmokerroin putoaa ja kerrokset tarttuvat toisiinsa. Laminointiohjelma muodostuu lämmitys- ja jäähdytysvaiheesta, joiden aikaa, lämpötilaa sekä puristuspainetta voidaan säätää. Laminoitava arkki asetetaan laminointipeltien väliin. Yhdessä laminointivälissä voi olla vain yksi arkki kerrallaan, sillä muuten arkit laminoituisivat yhteen. Laminointipeltien ylä- ja alapuolelle asetetaan palamiselta suojaava matto (kuva 10).





Kuva 10. Esimerkki laminointijärjestyksestä.

Jos valmiiseen laminaattiin halutaan koho- tai painaumakuviointia, eli preeglausta, täytyy käyttää laminointipeltejä, joihin kuviointi on tehty. Preeglaus voidaan tehdä joko yhdelle- tai molemmille puolille arkkiä. Arkin kohdistus on preeglausta tehdessä erityisen tärkeää, sillä huolimattomasti asetettuun arkkiin kopioituu kuvio väärään kohtaan ja koko arkin kortit ovat käyttökelvottomia. Sileäpintaaisessa kortissa, johon preeglausta ei haluta, käytetään sileitä laminointipeltejä. Pellin materiaali ja pinnankarheus vaikuttavat laminaatin ulkonäköön, joten samoilla laminointipelleillä ei voida laminoida kaikkia tuotteita. Laminointipeltien pinta on tärkeää tarkistaa ennen laminointia, sillä pienikin naarmu kopioituu valmiin laminaatin pintaan. [3, s. 184.]

#### 4.4 Viimeistely

Laminoitu arkki leikataan korteiksi stanssauslaitteella. Laminaatti asetetaan laitteeseen, joka työntää teräväreunaisen muotin materiaalin läpi muodostaen halutun muotoisen ja kokoisen kappaleen. Käsikäyttöisellä laitteella työ on hidasta ja kohdistaminen hankalaa, joten tuotannossa käytetään automaattista stanssauslaitetta. [3, s. 184.]

Älykorteista on tärkeää tarkistaa virheettömän ulkonäön lisäksi myös elektronisen komponentin toimivuus. Kortista ei välttämättä ulkoisesti näy, jos elektroninen komponentti on esimerkiksi rikkoutunut prosessin aikana. Mitä monimutkaisempi älykortti on, sen tarkemmin sitä myös tarkastellaan viimeistelyvaiheessa.

## 5 Älykorttien testausmenetelmät

Älykorttien testausmenetelmät ovat melko yksinkertaisia ja helposti ymmärrettäviä. Rakenteen paksuutta ja visuaalisia tekijöitä tarkkaillaan prosessin eri vaiheissa, mutta varsinaiset testit pystytään tekemään vasta lopulliselle tuotteelle. Testausmenetelmät on sovellettava turvallisuusalan standardeja ja kokemusta hyödyntäen sellaisiksi, että asiakkaan toiveet saadaan toteutettua.

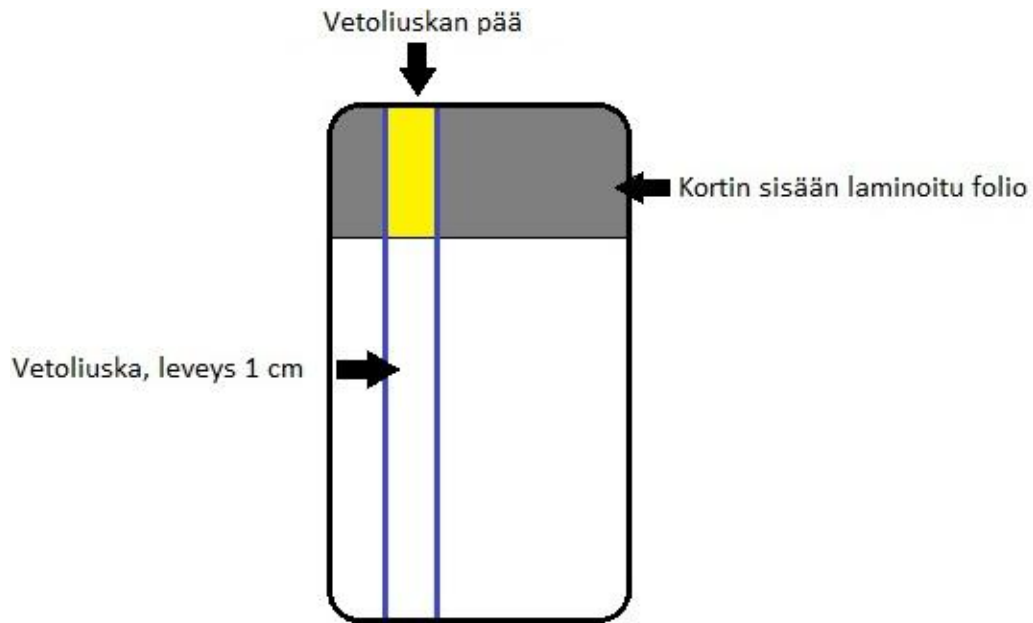
Testeillä pyritään varmistamaan, että tuote on paitsi kestävä ja laadukas, myös turvallinen. Korttien väärentäminen on todellinen turvallisuusriski, sillä useissa sovelluksissa kortti toimii henkilöllisyyden todisteena. Kortin kerrosten irtivetolujuuden testaaminen nousee erityiseen asemaan, sillä kerrosten on oltava niin hyvin kiinni toisissaan, ettei tietoja ole mahdollista muuttaa kalvojen välistä.

Ennen testaamista kortit normalisoidaan 24 tunnin ajan normaaliolosuhteissa eli  $23 \pm 3$  °C:n lämpötilassa ja 40-60 %:n ilmankosteudessa. Näin esimerkiksi laminoinnin aiheuttama lämpö on ehtinyt tasaantua rakenteessa eikä pääse vaikuttamaan tuloksiin.

### 5.1 Irtivetolujuus

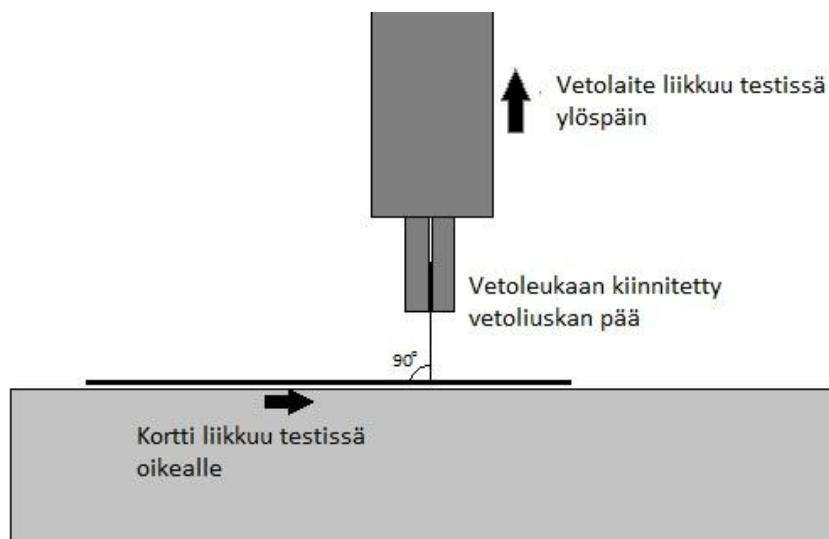
Kortin rakennevälien irtivetolujuus tutkitaan sekä kestävyys- että turvallisuussyistä. Kerrosten on laminoiduttava tarpeeksi tiukasti yhteen, jotta ne eivät ala irtoilemaan esimerkiksi nurkista. Tavoitteena on, että vetokokeessa vedettävä materiaalikerros on niin hyvin kiinni muussa rakenteessa, että se lähtee repeytymään tai katkeaa kokonaan. Vaatimustaso ylittyy myös silloin, jos pienin vetolujuusarvo ylittää arvon 10 N/cm.

Tutkittava kortti valmistellaan vetokokeeseen viiltämällä koko kortin pituiset urat 1 cm päähän toisistaan kortin pidemmän sivun suuntaisesti (kuva 11). Urien on ulotuttava tutkittavan kerroksen syvyyteen, mutta ei koko kortin läpi. Liuska irtoaa kortin sisään laminoidun alumiinifolion kohdalta muodostaen vetoleukaan kiinnitettävän tartuntakohdan. [9.]



Kuva 11. Kortin valmistelu vetokokeeseen. Urat on merkitty sinisellä ja folioista irtoava vetoliuskan pää keltaisella.

Vetoleukaan kiinnitetty liuska on  $90^\circ$  kulmassa vaakatasossa olevaan korttiin nähden (kuva 12). Laite vetää liuskaa ylöspäin 250N:n voimalla ja 30 cm/min nopeudella piirtäen tapahtumasta kuvaajan. Kortti liikkuu vaakatasossa samalla kun liuska irtoaa muusta rakenteesta. Liuskaa vedetään irti 3 cm:n matkalta. Jos liuskan tartunta alustaan on suurempi, kuin itse liuskan lujuus, lähtee se repeytymään tai katkeaa kokonaan. Liuskan pysyessä ehjänä ja irrotessa koko vedetyltä matkalta, tarkastellaan pienintä mitattua vetolujuusarvoa. [9.]



Kuva 12. Vetolujuuden testaaminen.

Testimenetelmä on koottu seuraavista standardeista:

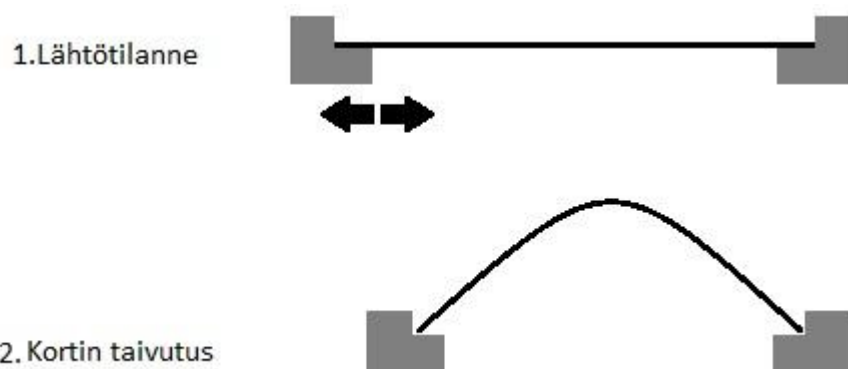
- ISO/IEC 10370-1; 2006 §5.3.
- ISO/IEC 7810; 2003 §8.8.
- CQM V1 1.9D; 2004 §5.1.11, §10.3.11.

## 5.2 Taivutustestit

Taivutustesteissä selvitetään kortin kestävyyttä. Kortti on usein tarkoitettu päivittäiseen käyttöön ja saattaa taipua esimerkiksi taskussa tai lompakossa. Taivutuksia tehdään eri suunnista, jotta kestävyys voidaan realistisesti arvioida. Kortin on kestävä riittävä määrä taivutuksia, jotta sen voidaan olettaa kestävän käytössä 5-10 vuotta. Taivutustestin rankkuudesta riippuen tarkkaillaan joko taivutuskertojen lukumäärää tai tietyn taivutusmäärän aiheuttamia muutoksia kortissa.

### 5.2.1 DIN- taivutustesti

Korttia taivutetaan työntämällä kaarelle 17% kortin pituudesta päistä tuettuna toistuvasti 0,5 Hz:n taajuudella ja 0,3 N voimalla (kuva 13). Korttia taivutetaan kunnes se katkeaa. Osa materiaaleista kestää jopa 500 000 taivutuskertaa, joten kestävimille korteille ei testata tarkkaa taivutusmäärää, vaan testaus lopetetaan 100 000 taivutuskerran ylityessä. Hyväksyttävyyksäraja vaihtelee sovelluksen mukaan ja tässä työssä hyväksyttävän kortin on kestävä vähintään 20 000 taivutuskertaa katkeamatta. [10.]



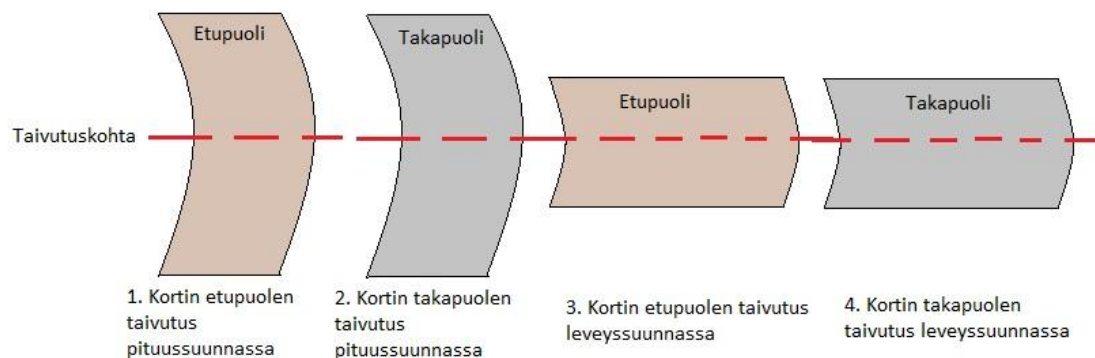
Kuva 13. Taivutustesti. Liikkuva pää työntää korttia kaarelle ja palaa lähtöasemaan toistuvasti, kunnes kortti katkeaa tai ylittää sovitun taivutuskertamäärän.

Testissä tulee myös ilmi, jos kortti ei ole rakenteeltaan tarpeeksi jäykkä. Liian ohut ja taipuisa materiaali saattaa taipua niin pienellä voimalla, että kone olettaa sen katkenneen jo ensimmäisillä taivutuskerroilla. Tällaisia rakenteita on syytä muuttaa käyttämällä paksumpia muoveja tai vaihtamalla kokonaan toiseen muoviin.

Testi perustuu standardiin DIN 3275-1; 1983 §4.9

### 5.2.2 Dynaaminen taivutustesti

Testissä tarkastellaan peräkkäisten taivutusten haitallisia vaikutuksia korttiin. Yhteen ISO-kierrokseen sisältyy 1000 taivutuskertaa. Korttia taivutetaan 9% kortin pituudesta päistä tuettuna 250 kertaa etupuolelta pituussuunnassa, 250 kertaa takapuolelta pituussuunnassa, 250 kerta etupuolelta leveysuunnassa ja 250 kertaa takapuolelta leveysuunnassa (kuva 14). Ensimmäisen ISO-kierroksen jälkeen korteissa ei saa näkyä visuaalisia muutoksia.



Kuva 14. Dynaaminen taivutustesti. Korteja taivutetaan sekä etu- että takapuolelta pituus- ja leveysuunnassa.

Korteille tehdään 4 peräkkäistä ISO-kierrosta, minkä jälkeen halkeamia ja elektronisten komponenttien kiinnipysyvyyttä tarkastellaan silmämääräisesti. Kortti hyväksytään, jos visuaaliset muutokset ovat hyvin pieniä ja elektroninen komponentti on kiinni muussa rakenteessa vähintään  $\frac{3}{4}$  pinta-alastaan. [14.]

Testi perustuu seuraaviin standardeihin:

- ISO/IEC 10373-1; 2006 §5.8
- ISO/IEC 7816-1; 1998 §4.2.9
- CQM, V 1.9D; 2004 §10.3.13, §5.1.13, §6.1.11, §16.1.18-1

### 5.3 Vanhennustesti

Vanhennustestissä näytteitä säilytetään 50 °C:n lämpötilassa ja 93 %:n ilmankosteudessa vanhenemisen nopeuttamiseksi. Vielä haastavammissakin olosuhteet, esimerkiksi korkeammissa lämpötiloissa pystytään testaamaan. On kuitenkin harkittava testin järkevyyttä, sillä kortin käyttöolosuhteet eivät todellisuudessa ole yllä mainittuja olosuhteita rankempia.

Kortteja pidetään testissä yleensä 1-3 viikkoa, jotta nähdään tuotteiden ominaisuuksien muuttuminen ajan kuluessa. Korteista tarkastellaan silmämääräisesti värimuunnoksia sekä muodonmuutosta, kuten käyristymistä. Tartunnan muuttumista tarkastellaan tekemällä irtovetolujuustesti vanhennetuille korteille.

Kortit hyväksytään, jos niissä ei näy merkittäviä visuaalisia virheitä ja jos kortti on sähköisesti toimiva. Jos kortissa on elektroninen komponentti, se ei saa irrota. [11.]

### 5.4 UV-rasitustesti

Testi simuloi korttiin kohdistuvaa UV-säteilyn aiheuttamaa haalistumista ja värimuutoksia. Testi simuloi suoralle auringonvalolle altistumista UV-suotimen avulla.

Kortit asetetaan laitteeseen siten, että tutkittava pinta on suunnattuna valoon päin. Laite on päällä 24 tuntia, minkä jälkeen puolet korteista poistetaan. Laite käynnistetään toiseksi 24 tunniksi, jolloin saadaan selville rasituksen vaikutus 24 tunnissa sekä 48 tunnissa.

Kortit hyväksytään, jos niissä ei näy silmämääräisesti merkittäviä visuaalisia virheitä ja jos kortti on sähköisesti toimiva. [12.]

Testit perustuvat standardeihin ISO/IEC 24789-2; 2011 §5.1 ja ISO 105-B02.

## 5.5 Opasiteetti ja densiteetti

Useimmissa sovelluksissa kortin käyttö vaatii peittävää väripintaa. Kortin lukeminen elektronisesti on sitä helpompaa, mitä parempi peittävyys värillä on.

Opasiteetti mitataan spektrofotometrillä käyttäen 450-1000 nm:n aallonpituuksia. Tuloksista lasketaan keskiarvot kahdelle aallonpituusalueelle. Densiteettiarvo saadaan laskemalla opasiteettiarvojen keskiarvon kymmenkertainen logaritmi. Hyväksytyt densiteetti on yli 1,3 alueella 450-950 nm ja yli 1,1 alueella 950-1000 nm. [13.]

Testi perustuu seuraaviin standardeihin:

- ISO/IEC 10373-1; 2006 §5.10
- ISO/IEC 7810; 2003 §8.10
- CQM, V 1.9D; 2004 §5.1.21, §16.1.17 , §10.3.21

## 6 Tutkittavat laminaattiyhdistelmät

Opinnäytetyössä kehitellään täysin uutta tuotetta, joten aiempia testituloksia voidaan hyödyntää vain rajallisesti. Materiaalit sekä painovärit eroavat olemassa olevista tuotteista, joten testaus aloitetaan alusta. Tavoitteena on aiempaa kestävämpi ja luotettavampi tuote.

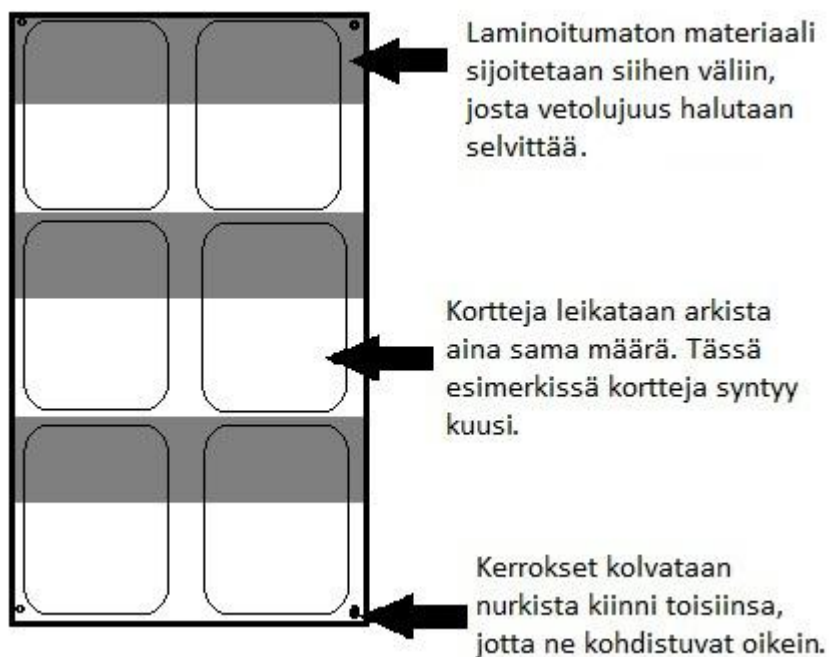
Työssä käytetään kymmentä silkkipainoväriä. Alkuperäisessä suunnitelmassa painovärejä on kuusi, mutta värivalmistajilta saatujen suositusten perusteella testeihin otetaan lisää värejä. Värejä merkitään koodeilla V1-V10.

Testivaiheessa vedostus tehdään tankovedostuslaitteella, jossa väri levitetään suoraan materiaalille. Värikerros on tasainen ja peittää koko alusmateriaalin, jolloin sen ominaisuuksien tarkastelu on helppoa. Valmistettava näytemäärä on suuri, joten tankovedostimella vältytään seulan toistuvasta puhdistamisesta. Raakelin sijasta käytetään vedostustankoa, jolla saadaan 12 µm paksu märkäkalvo. Tankovedostuslaite toimii asettamalla alusmateriaali tasaiselle alustalle ja vedostettava väri sen päälle yhteen reunaan. Tanko asetetaan laitteeseen ja laite vetää tangon alusmateriaalin reunasta toiseen muodostaen sileän värikerroksen alusmateriaalin päälle.

Silkkipainovärit ovat joko hapettumalla kuivuvia tai UV-valolla kovettuvia. Koska vedotukset tehdään käsin, täytyy hapettumalla kuivuvat arkit jättää kuivumaan vuorokaudeksi ennen kokoamista. UV-valolla kuivuvat arkit ajetaan kahdesti UV-kuivurin läpi, minkä jälkeen ne ovat valmiita koottavaksi.

Erlaisia muoveja merkitään työssä koodeilla MA-MG ja materiaalien paksuuksia koodeilla P1-P8. Esimerkiksi MAP1 ja MAP2 ovat samaa muovia eri paksuudessa, kun taas MAP1 ja MBP1 ovat samaa paksuutta, mutta eri muovia.

Koska työssä halutaan tutkia kerrosvälien tartuntaa, asetetaan kokoamisvaiheessa haluttuun kerrokseen materiaalia, joka ei liimaudu laminoitussa muuhun materiaaliin (kuva 15). Materiaaliväliin päästään näin käsiksi myöhemmin. Kalvot ovat ohuita ja sulautuvat laminoitussa tiiviisti yhteen, eikä kerroksia ole helppo erottaa laminoitumattoman materiaalin puuttuessa välistä



Kuva 15. Esimerkki kootusta arkista.

Käytettyjä laminoitiohjelmiä, eli lämmitys- ja jäähdytysvaiheesta muodostuvia yhdistelmiä merkitään työssä koodeilla L1-L6. Ohjelmista L1 on lyhyin ja L6 pisin paineen ja lämpötilan pysyessä samana. Ohjelman pituutta on säädeltävä sen mukaan, kuinka monta arkkiä halutaan laminoida samanaikaisesti.



Jokainen testi karsii huonosti toimivat rakenteet pois seuraavista testeistä. Ensimmäisen testivaiheen jälkeen jatkotesteihin päätyvät värit vedostetaan uudelleen silkkipainotekniikalla käyttäen 100 lankaa/cm tiheää seulaa. Vedostuskerroksia tehdään kaksi päällekkäin, jotta haluttu peittävyysaste tavoitetaan.

## 7 Painamattomien rakenteiden irtiveto- ja DIN-taivutuslujuus

Työ aloitetaan testaamalla ensin rakenteet ilman silkkipainovärejä. Näin saadaan selville rakenteiden ominaisuudet sekä nähdään silkkipainon vaikutus myöhemmissä testeissä.

Rakenteita testataan alussa 6 erilaista (taulukko 1), joista lähdetään etsimään parhaita vaihtoehtoja lopulliseksi tuoterakenteeksi.

Taulukko 1. Rakenteet R1-R6.

R1	R2	R3	R4	R5	R6
MDP2	MDP2	MDP2	MDP2	MBP3	MBP3
MCP3	MCP3	MAP4	MAP4	MBP4	MBP4
MFP8	MFP6	MEP8	MEP2	MGP7	MBP4
MCP3	MFP6	MAP4	MEP6	MBP4	MBP4
MDP2	MCP3	MDP2	MEP2	MBP3	MBP4
	MDP2		MAP4		MBP3
			MDP2		

Kokoamisvaiheessa laminoitumaton materiaali sijoitetaan kaikkiin rakenneväleihin, koska jokaisen kerroksen irtivetolujuus laminaatissa halutaan selvittää. Koska rakenne on symmetrinen, kirjataan tulokset kortin eri puolilta samaan tilastoon. Rakenneväli on sama esimerkiksi saman kortin kahden ensimmäisen ja kahden viimeisen kerroksen välissä.

Kootut arkit laminoidaan ohjelmalla L1 ja niistä stanssataan kortit irtivetolujuus- ja taivutuslujuuskoetta varten. Muita testejä ei pelkille rakenteille suoriteta, sillä arviointi perustuu värin ja kortin pinnan muutoksiin, jotka painovärin lisäyksen jälkeen ovat oleellisesti erilaiset.

Vetolujuuskokeen tuloksista (taulukko 2) nähdään, että vain rakenteiden R1-R4 pintakalvon vetolujuusarvo ei ylitä hyväksyttävyyssrajaa. Silkkipainoväri sijoitetaan tähän materiaaliväliin, joten värin toivotaan lujittavan kerrosten laminoitumista yhteen ja parantavan näin ollen irtivetolujuutta. Kaikki irtivetolujuusarvot löytyvät liitteestä 1.

Taulukko 2. Irtivetolujuuskokeen tulokset. Vihreällä merkityt ovat hyväksytyjä tuloksia ja punaisella merkityt hylättyjä.

	Katkeaa tai repeytyy	Pienin vetovoiman keskiarvo (N/cm)
MDP2 - MCP3		3,25
MCP3 - MFP 8	X	
MCP3 - MFP6	X	
MFP6 - MFP6		38
MDP2 - MAP4		7,21
MAP4 - MEP8	X	
MAP4 - MEP2	X	
MEP2 - MEP6	X	
MBP3 - MBP4		16, 59
MBP4 - MGP3	X	
MBP4 - MBP4	X	

Taivutustesti (taulukko 3) tehdään vain 1-2 kortille kustakin rakennetyypistä, sillä tulos on vain suuntaa-antava ja tullaan testaamaan useampaan kertaan työn aikana. Kaikki taivutuskokeen tulokset ovat hyväksyttäviä.

Taulukko 3. Rakenteiden murtumiseen johtavat kuormituskerrat DIN-taivutustestissä.

R1	> 100 000
R2	> 100 000
R3	46 323
R5	59 064
R6	42 301

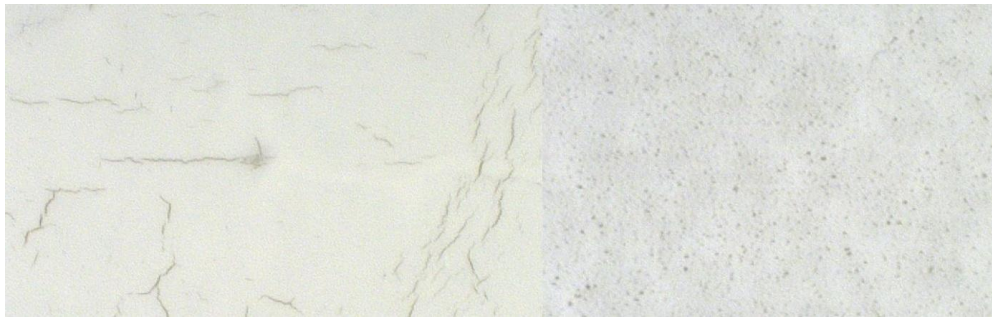
## 8 Painettujen rakenteiden testaus

Rakenteet R1-R6 vedostetaan väreillä V1-V6 tankovedostimella. Variaatioita syntyy tässä vaiheessa 36 erilaista. Kuivuneet arkit kasataan korttirakenteeseen siten, että vedostettu pinta jää pintakerroksen ja toisen kerroksen väliin.

Kootut arkit laminoidaan ohjelmalla L6, sillä laminointiarkkeja on kerralla enemmän kuin aiemmissa testeissä.

### 8.1 Visuaalinen tarkastelu

Laminaattien silmämääräisessä visuaalisessa tarkastelussa etsitään pintavirheitä (kuva 16). Yleisimpiä pintavirheitä ovat halkeilu ja ilmakuplat, jotka johtuvat materiaalien ja painoväriin yhteensopimattomuudesta.



Kuva 16. Laminaattien pintavirheitä. Vasemmalla halkeillut pinta ja oikealla ilmakuplia.

Mikäli pintavirheitä havaitaan, hylätään kyseinen värjätty rakenne (Taulukko 4). Visuaalisen tarkastelun tarkat tulokset löytyvät liitteestä 2.

Taulukko 4. Väreillä V1-V6 vedostettujen rakenteiden R1-R6 visuaalisen tarkastelun tulokset. Vihreällä merkityt ovat hyväksyttäviä ja punaisella merkityt hylättäviä.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
V1						
V2						
V3						
V4						
V5						
V6						

Rakenteiden R5 ja R6 havaitaan muodostavan pintavirheitä lähes kaikilla väreillä. Kyseisissä rakenteissa on käytetty eri pintakalvoa kuin muissa rakenteissa (taulukko 1). Pintamateriaalin MBP3 päätellään olevan syynä pintavirheiden muodostumiseen, joten se vaihdetaan materiaaliin MDP2, joka osoittautui toimivaksi pintakalvoksi rakenteissa R1-R4. Uudet rakenteet R7 ja R8 korvaavat hylätyt rakenteet R5 ja R6 (taulukko 5).

Taulukko 5. Uudet tutkittavat rakenteet R7 ja R8.

R7	R8
MDP2	MDP2
MBP4	MBP4
MGP7	MBP4
MBP4	MBP4
MDP2	MBP4
	MDP2

Rakenteiden R7 ja R8 pintakerrokset ovat samanlaiset, joten visuaaliseen tarkasteluun riittää vain rakenteen R7 testaaminen. Visuaalisessa tarkastelussa todetaan rakenteen muuttamisen poistaneen pintavikojen muodostumisen väreillä V3 ja V4 (taulukko 6).

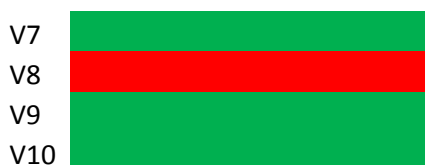
Taulukko 6. Väreillä V1-V6 värjätyn rakenteen R7 visuaalisen tarkastelun tulokset.

	R7
V1	Red
V2	Red
V3	Green
V4	Green
V5	Green
V6	Red

Värivalmistajilta saatujen suositusten perusteella päätetään testata värit V7-V10. Laminaatteja syntyy 72, joista kortteja saadaan noin 860 kappaletta. Visuaalisessa tarkastelussa huomataan, että V8 on täysin toimimaton kaikilla rakenteilla, kun puolestaan muut värit täyttävät visuaaliset tavoitteet (taulukko 7).

Taulukko 7. Kuuden väreillä V7-V10 vedostetun laminaattirakenteen visuaalisen tarkastelun tulokset.

R1 R2 R3 R4 R7 R8



Värit V2 ja V8 ovat UV-valolla kovettuvia. Molempiin muodostuu kuivatusvaiheessa sormenjälkimäinen kohokuvio (kuva 17). Alusmateriaalin päätellään olevan sopimaton UV-kovettuville väreille, joten molemmat värit hylätään.



Kuva 17. UV-valolla kovettuvien värien muodostama pintavirhe.

## 8.2 irtivetolujuustesti

Visuaalisessa tarkastelussa hyväksytyt kortit valmistellaan irtivetolujuustestiin. Vain päälimmäistä materiaaliväliä kustakin rakenteesta tutkitaan, sillä sisärakenne on tutkittu ja pysynyt muuttumattomana.

Vetolujuustestissä jätetään huomiotta sellaiset epäonnistuneet vedot, joiden pienin vetolujuusarvo on huomattavasti kyseisen vedon keskiarvoa pienempi. Tällöin painoväriässä on luultavasti ollut yksittäinen heikompi kohta, jollaisilta ei voida välttyä laboratorio-olosuhteissa. Tuotannon laadukkailla koneilla painojälki on tasalaatuista vetolujuusarvot yhdenmukaisempia. Tuloksista lasketaan keskiarvo, jota pidetään vetolujuuskokeen tuloksena. Jos näyte ei katkea eikä sen vetolujuusarvo ylitä hyväksyttävyyden rajaa, on kyseinen rakenne- ja väriyhdistelmä hylättävä (taulukko 8). Kaikki vetolujuusarvot löytyvät liitteestä 3.

Taulukko 8. Värjättyjen laminaattirakenteiden irtivetolujuustestin tulokset. Vihreällä merkityt ovat hyväksytyjä ja punaisella merkityt hylättyjä tuloksia.

	Katkeaa tai repeytyy	Keskiarvo	
			Minimi vetovoima (N/cm)
R3V1			7,5
R4V1			7,8
R1V3			2,3
R2V3			2,8
R3V3			2,2
R4V3			2,2
R7V3			2,6
R1V4			12,4
R2V4			12,4
R3V4			14,7
R4V4			15
R7V4			11,2
R8V4			13,3
R1V5			4,2
R2V5			8,3
R3V5			6,3
R4V5			5,6
R7V5			5,6
R1V6	X		
R2V6	X		
R3V6			18,3
R4V6			18,4
R1V7			11,4
R2V7			12,5
R3V7	X		
R4V7			10,1
R7V7			9,9
R8V7			9,7
R1V9			4,1
R2V9			4,1
R3V9			3,7
R4V9			3,7
R7V9			4,2
R8V9			3,1
R1V10			7,8
R2V10			7,9
R3V10			9,5
R4V10			8,2
R7V10			9,4
R8V10			9,1

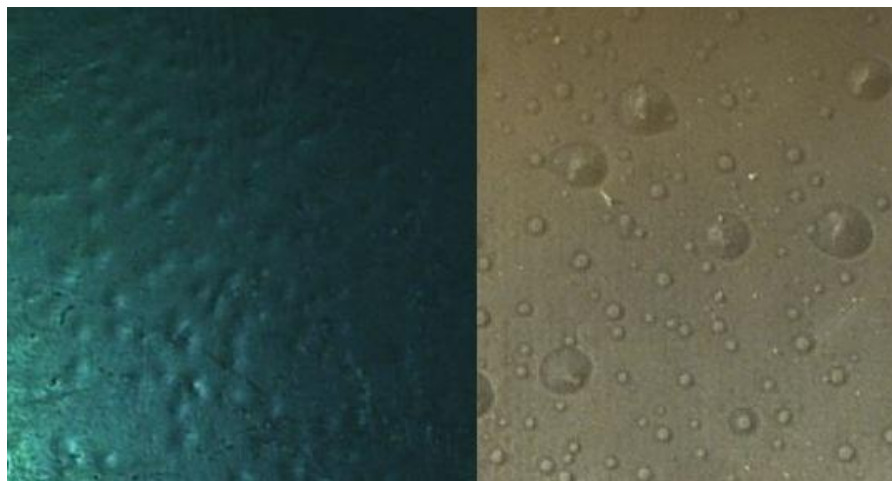
Vetolujuuskokeen tulokseen vaikuttavat monet tekijät, joten mittausarvot voivat heitellä näyte-erästä riippuen. Tästä syystä väri voidaan hyväksyä, vaikka vetolujuus jäisi 9-10 N/cm väliin. Esimerkiksi R8V7 on hyväksytty värin saadessa muilla rakenteilla hyviä arvoja (taulukko 8). Lähes yhtä hyvän vetolujuusarvon antava R4V10 on puolestaan hylätty, sillä väri näyttäisi saavan muissakin rakenteissa samanarvoisia tuloksia.

### 8.3 Vanhennustesti

Irtivetolujuustestissä hyväksytyt korttityypit merkitään ja asetetaan vanhennustestiin. Variaatioita on tässä vaiheessa jäljellä 16 kappaletta; rakenteet R1-R4 väreillä V4, V6 ja V7 sekä rakenteet R7 ja R8 väreillä V4 ja V7. Kutakin rakenne- ja väriyhdistelmää testataan yksi kappale.

Lähimpänä käytännön ympäristöolosuhteita on 50 °C/ RH 93 %, eikä tässä olosuhteissa olleissa korteissa saa näkyä minkäänlaista muutosta.

Värimuutoksen lisäksi korteista tarkastellaan mahdollisesti ilmeneviä pintavirheitä. Vanhennustesteissä hylkäykseen johtavia pintavirheitä ovat rakkuloituminen sekä lommoisuus (kuva 18).



Kuva 18. Vanhennustestissä syntyneitä pintavirheitä. Vasemmalla puolella lommoinen pinta ja oikealla puolella näkyy rakkuloita.

Näytteissä ei havaita pintavirheitä vanhennustestien jälkeen. Tarkat tulokset löytyvät liitteestä 4.

#### 8.4 UV-rasitustesti

Vanhennustestissä hyväksytyt yhdistelmät testataan seuraavaksi valotustestissä. Kutakin variaatiota testataan yksi kappale suoraa UV-valoa vastaavissa olosuhteissa 24 tuntia sekä 48 tuntia. Värin haalistuma jätetään vähälle huomiolle, sillä pintakalvon vaikutus kellastumiseen oletetaan olevan suurempi kuin painovärin vaikutus. Testissä tutkitaan pintavirheiden, kuten ilmarakkuloiden syntymistä. Testattavilla korteilla pintavirheitä ei synny. Tarkat tulokset löytyvät liitteestä 5.

#### 8.5 DIN-taivutustesti

Olosuhdetesteissä hyväksytyt yhdistelmät asetetaan taivutuslaitteeseen. Testi on suuntaava, sillä kortteja testataan vain 2 kappaletta kutakin rakenne- ja väriyhdistelmää kohden. Värin V7 toimituksen viivästymisen vuoksi DIN-taivutustesti jätetään tälle värille tekemättä. Jatkotesteissä tehdään tarkempi taivutustesti, jolloin tulosten puuttuminen ei haittaa.

Rakenteiden R3 ja R4 huomataan saavan heikompia tuloksia kuin muut rakenteet (taulukko 9). Rakenteita ei kuitenkaan taivutustestin perusteella hylätä, sillä virallisessa testissä testataan kymmenkertainen määrä kortteja. Jatkokehittämisen varalta tulokset pidetään kuitenkin mielessä.

Taulukko 9. DIN-taivutustestin tulokset erilaisille laminaatti- ja väriyhdistelmille. 20 000 taivutuskertaa ylittävät tulokset ovat hyväksytyjä ja merkitty vihreällä.

	mittaus	
	1	2
R1V4	256 034	527 418
R2V4	101 836	929 679
R3V4	14 774	13 256
R4V4	18 900	23 474
R7V4	25 402	25 856
R8V4	31 670	38 400
R1V6	214 338	275 377
R2V6	167 201	158 317
R3V6	12 742	10 370
R4V6	26 296	20 838



## 9 Painettujen rakenteiden jatkotestaus

Väriin V4 kanssa ilmenee ylitsepääsemätön toimitusongelma, joten se joudutaan sulkemaan pois testeistä. Jatkotesteihin selvinneitä värejä ovat V6 ja V7. Värit testataan tarkemmilla testeillä, jotta varmistutaan niiden ominaisuuksista ennen laajempia ja kaltevia tuotetestejä.

Rakenteen R7 sisimmäisen kerroksen materiaalin MG kanssa ilmenee muovivalmistajan puolelta valmistusongelma. Sisimmäisen kerroksen korvaaminen muissa rakenteissa olevilla ME- tai MF-materiaalilla ei ole mahdollista, sillä materiaalin MB tiedetään olevan yhteensopimaton niiden kanssa. Rakenteet R7 ja R8 päätetään sulkea pois jatkotesteistä. Rakenteiden R1 ja R2 osalta työ joudutaan puolestaan laittamaan katkelle ja odottamaan materiaaleja jatkotestausta varten. Jatkotesteissä keskitytään rakenteisiin R3 ja R4.

Rakenteista R3 ja R4 muokataan yksi rakenne, joka on lähempänä lopullisen tuotteen rakennetta (taulukko 10).

Taulukko 10. Uusi rakenne R9.

R9
MDP1
MAP4
MEP8
MAP4
MDP1

Jatkotestattavat variaatiot ovat näin ollen R9V6 ja R9V7.

Testattavien korttien halutaan muistuttavan enemmän lopullista tuotetta, joten painatus tehdään seulan läpi silkipainokoneella.

Laminaatteja syntyy 15 kappaletta kumpaakin variaatiota, joista kortteja saadaan yhteensä 240. Kortit stanssataan ja merkitään jatkotestejä varten. Kaikkien jatkotestien tulokset löytyvät liitteestä 6.

Silmämääräisessä visuaalisessa tarkastelussa värien välillä ei huomata eroa. Ulkonäkö on molemmilla hyvä ja värisävy kirkas.

Aiempien testien perusteella irtivetolujuusarvot oletetaan hyväiksi. Testissä molemmat variaatiot saavat hyväksytyt tulokset, sillä suurin osa näytteistä katkeaa testissä. Irtivetolujuuden kannalta kumpaakaan variaatiota ei ole syytä kyseenalaistaa.

Molempien korttien mitatusta opasiteettia laskettu densiteetti-arvo jää hyväksyttävyyserän alle (taulukko 11). Tuotantolaatuisessa silkkipainossa vedostusjälki on tasalaatuisempaa ja paksumpaa kuin käsin painaessa, joten värikerrosten toivotaan olevan peittävämpiä valmiissa tuotteessa. Koska värvaihtoehdoissa ei ole karsinnan varaa, eikä haluttu peittävyys jää kovin kauas, päätetään testejä jatkaa.

Taulukko 11. Jatkotestien densiteetti-arvot kahdella aallonpituusalueella.

Aallonpituus	R9V6	R9V7
450-950	1,01	0,87
950-1000	0,70	0,61

Dynaamisessa taivutustestissä 20 kortin testierässä ei havaita halkeamia tai muita selkeitä vaurioita kortin pinnassa. Taivutuskohtaan kortin keskiosaan on jäänyt osassa näytteistä lähes huomaamaton taipumisjälki, joka ei kuitenkaan riitä hylkäämisperusteeksi (taulukko 12.)

Taulukko 12. Dynaamisen taivutustestin tulokset. Havaittujen virheiden määrä suhteessa taivutettujen korttien määrään.

	Taipumisjälki		Halkeamat	
	R9V6	R9V7	R9V6	R9V7
1 ISO kierros	1/20	1/20	0/20	0/20
2 ISO kierrosta	2/20	2/20	0/20	0/20
3 ISO kierrosta	3/20	2/20	0/20	0/20
4 ISO kierrosta	5/20	3/20	0/20	0/20

Viimeiseksi korteille suoritetaan UV-rasitustesti. Kuten aiemmissa testeissä, ei jatkotesteissäkään havaita kuin lievää haalistumista. Kummastakin variaatiosta testattiin neljä korttia, jotka antoivat täysin samanlaisen tuloksen.

## 10 Virhearviointi

Useat virhelähteet vaikuttavat testituloksiin. Mitattavan näytteen valmistuksen ja käsittelyn lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi testaustapa ja käytetyt laitteet. Työ toteutettiin käsikäyttöisiä testilaitteita hyödyntäen ilman tuotantotasoisia koneita. Työn jälkeen esimerkiksi vedostettaessa ei ole täysin tasalaatuista ja arkkien kohdistus ja leikkaus tehtiin vain silmämääräisesti. Työn suorittajan vaikutus testituloksiin on tässä työssä poikkeuksellisen suuri. Testivirhe on tällöin huomattavasti suurempi kuin tuotantolaitteisilla tuotteilla.

Irtivetolujuustesteillä oli työssä suurin painoarvo ja niitä tehtiin useita, jolloin virheelliset testitulokset oli helppo huomata. Tuloksista tarkasteltiin yhdeksän näytteen keskiarvoa, jolloin yksittäisen testituloksen vaikutus arviointiin ei nouse kovin suureksi.

Testattavia kortteja pyrittiin ottamaan eri laminaateista, jotta yhteen testiin ei päätyisi vain yhdestä laminaatista valmistuneita kortteja. Useissa testeissä tarkasteltava korttimäärä jäi kuitenkin hyvin pieneksi, jolloin eri laminaattien käyttö ei ollut mahdollista.

Jatkotestien tulokset tukevat alkuperäisiä testejä, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina.

## 11 Johtopäätökset

Työn aikana selvisi useita asioita materiaalien ja painovärien yhdistelmistä. Rakenteita ei ollut testattu aiemmin, joten kaikki tulokset ovat uusia ja käytettävissä tulevissa projekteissa. Lähes kaikissa tapauksissa väri sopii joko kaikille rakenteille tai ei millekään niistä. Ainoana poikkeuksena olivat rakenteet, jotka sisältävät materiaalia MB. Kyseiset rakenteet eivät aina toimineet niidenkään värien kanssa, jotka muilla rakenteilla antoivat hyviä tuloksia. Materiaalivalintoja voidaan pitää onnistuneina, sillä lopullinen tuotetesteihin lähetetty rakenne koostuu alkuperäisistä materiaaleista tuotteen mukaisilla paksuuksilla.

VäriV6 kuului alkuperäiseen suunnitelmaan, kun taas V7 päätyi testeihin värivalmistajan suosituksesta. Lopputuloksena hyviä värejä löytyi yhden sijaan kaksi, mikä on parempi kuin alkuperäisellä suunnitelmalla oltaisi saatu.

UV-kovettuvat värit vaikuttavat sopimattomilta kaikille testatuille materiaaleille. Tuotteille, joissa halutaan ehdottomasti käyttää UV-kovettuvia värejä, on kehiteltävä oma rakenne.

Testien monipuolisuus osoittautui työssä välttämättömäksi, sillä muutaman testin perusteella ei voitu todeta yhdistelmää toimivaksi. Testeissä yleisesti hyvin pärjäävä yhdistelmä saattoi yllättäen antaa heikon tuloksen toisessa testissä ja karsiutua vain tämän perusteella pois jatkotesteistä. Testijärjestyksen suunnittelu on myös tärkeää, jos materiaalikustannukset ovat korkeat. Tärkeysjärjestyksessä toteutetut testit karsivat jatkon kannalta turhat testit pois ennen kuin rakenteita on ehditty koota.

Tuotetesteihin lähetetään opinnäytetyön perusteella variaatiot V9R6 ja V9R7.

## Lähteet

- 1 Gemalto Oy. Kotisivut. [www.gemalto.fi/index.php?id=7](http://www.gemalto.fi/index.php?id=7) Luettu 26.1.2015.
- 2 Lerssi-Landenvesi, Arja. 2006. Sirukortti, seminaariesitelmä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Luettu 26.1.2015.
- 3 Koskinen, Pertti. 2001. Hyvä painotuote. Helsinki: Infoviestintä Oy.
- 4 Kuva 1: [http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/materiaalit/01-00\\_muovit.html](http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/materiaalit/01-00_muovit.html). Luettu 26.1.2015.
- 5 Järvinen, Pasi. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- 6 Tammela, Viljo. 1990. Polymeeritiede ja muoviteknologia osa 3. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 7 Kurri, Veijo. 2008. Muovitekniikan perusteet. Edita Prima Oy.
- 8 Kanerva, Raimo ja Koskela, Matti. 1979. Silkipaino serigrafia. Jyväskylä: Luova Grafiikka Oy.
- 9 Vairola, Ari. 2014. Vetolujuus -työohje. Gemalto Oy.
- 10 Husu, Kimmo. 2014. DIN-taivutustesti -työohje. Gemalto Oy.
- 11 Husu, Kimmo. 2014. Kortin säilytys lämpötilassa ja kosteudessa -työohje. Gemalto Oy.
- 12 Husu, Kimmo. 2014. Valotustesti -työohje. Gemalto Oy.
- 13 Husu, Kimmo. 2012. Opasiteetti -työohje. Gemalto Oy.
- 14 Husu, Kimmo. 2012. Dynaaminen taivutustesti -työohje. Gemalto Oy.

## Liite 1: Rakenteiden irtivetolujuusarvot

Painamattomien rakenteiden irtivetolujuuskokeen tulokset taulukoituna.

Rakenneväli	Suurin vetolujuusarvo (N/cm)	Keskiarvo (N/cm)	Pienin vetolujuusarvo (N/cm)	Kommentit
MDP1 - MCP3	3,8	3,4	2,9	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,7	3,4	3,0	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,7	3,4	3,0	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,6	3,3	2,9	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,8	3,5	3,1	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,7	3,3	2,9	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,3	2,9	2,5	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,2	2,8	2,3	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	3,1	2,6	1,6	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,9	4,6	3,8	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,8	4,4	4,1	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,9	4,4	3,8	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,1	4,6	4,0	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,3	4,5	3,9	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,8	4,4	3,0	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,0	4,4	3,7	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,0	4,5	4,1	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,7	4,4	3,9	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,9	4,6	3,8	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,8	4,4	4,1	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,9	4,4	3,8	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,1	4,6	4,0	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,3	4,5	3,9	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,8	4,4	3,0	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,0	4,4	3,7	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	5,0	4,5	4,1	Kuoriutuu
MDP1 - MCP3	4,7	4,4	3,9	Kuoriutuu
MCP3 - MFP8	15,7	2,5	0,0	Kuoriutuu 1 mm ja repeää 7 mm
MCP3 - MFP8	14,3	9,6	9,0	Repeää 33 mm
MCP3 - MFP8	12,4	9,8	8,6	Repeää 35 mm
MCP3 - MFP8	13,5	5,1	2,8	Repeää 10 mm
MCP3 - MFP8	12,0	3,9	2,7	Repeää 6 mm
MCP3 - MFP8	12,6	5,0	2,8	Repeää 9 mm
MCP3 - MFP6	1,0	0,9	0,8	Katkeaa
MCP3 - MFP6	1,0	0,9	0,7	Katkeaa
MCP3 - MFP6	-	-	-	Repeää 34mm
MCP3 - MFP6	-	-	-	Repeää 38 mm
MFP6 - MFP6	48,6	44,8	40,7	Kuoriutuu

MFP6 - MFP6	53,9	48,2	28,5	Kuoriutuu
MFP6 - MFP6	54,1	49,5	44,8	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,6	6,9	6,4	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,2	6,9	6,4	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,2	6,7	6,3	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	9,6	9,2	8,4	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	5,7	5,4	5,0	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,2	6,8	6,2	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,9	7,4	7,0	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,2	6,9	6,6	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,8	7,0	6,5	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,5	6,7	6,0	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	6,9	6,4	5,9	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,8	7,4	7,2	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,9	7,6	7,3	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,9	7,6	7,2	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,5	7,3	7,1	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,5	7,4	7,2	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,6	7,4	7,0	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,4	7,2	7,0	Kuoriutuu
MDP1 - MAP4	7,4	7,1	6,8	Kuoriutuu
MAP4 - MEP8	0,3	0,1	0,0	Repeää 1mm
MAP4 - MEP8	0,1	0,1	0,0	Repeää 0,5 mm
MAP4 - MEP8	0,1	0,0	0,0	Repeää 1 mm
MAP4 - MEP8	7,7	7,3	6,9	Kuoriutuu
MAP4 - MEP8	8,1	7,8	7,6	Katkeaa
MAP4 - MEP8	8,2	4,4	3,3	Katkeaa
MAP4 - MEP8	7,5	7,3	6,8	Katkeaa
MAP4 - MEP8	7,4	6,5	5,6	Katkeaa
MAP4 - MEP8	17,9	9,0	5,9	Repeää 9 mm
MAP4 - MEP8	8,0	7,6	7,4	Katkeaa
MAP4 - MEP8	7,9	7,6	7,4	Katkeaa
MAP4 - MEP8	20,9	4,6	3,2	Katkeaa
MAP4 - MEP2	-	-	-	Katkeaa
MAP4 - MEP2	-	-	-	Katkeaa
MAP4 - MEP2	-	-	-	Katkeaa
MEP2 - MEP6	7,0	5,8	4,4	Katkeaa
MEP2 - MEP6	6,1	5,4	4,8	Katkeaa
MEP2 - MEP6	-	-	-	Katkeaa
MEP2 - MEP6	63,9	9,8	0,0	Repeää 6mm
MBP3 - MBP4	18,9	16,9	15,7	Kuoriutuu
MBP3 - MBP4	18,1	16,6	15,8	Kuoriutuu
MBP3 - MBP4	18,5	16,9	15,3	Kuoriutuu
MBP3 - MBP4	19,6	18,0	16,9	Kuoriutuu

MBP3 - MBP4	19,6	18,2	16,8	Kuoriutuu
MBP3 - MBP4	19,8	17,9	16,6	Kuoriutuu
MBP3 - MBP4	19,9	18,9	17,9	Kuoriutuu
MBP3 - MBP4	19,5	18,6	17,5	Kuoriutuu
MBP3 - MBP4	18,2	17,5	16,8	Kuoriutuu
MBP4 - MGP3	66,6	1,8	-0,6	Katkeaa
MBP4 - MGP3	68,5	1,8	-0,6	Katkeaa
MBP4 - MGP3	36,0	29,2	24,3	Katkeaa
MBP4 - MGP3	93,5	63,2	18,2	Katkeaa
MBP4 - MGP3	41,4	31,6	21,1	Katkeaa
MBP4 - MGP3	49,5	1,4	-0,5	Katkeaa
MBP4 - MGP3	106,9	5,4	-1,1	Katkeaa
MBP4 - MGP3	53,3	43,7	36,0	Katkeaa
MBP4 - MBP4	23,0	17,1	14,9	Katkeaa
MBP4 - MBP4	15,9	15,3	14,6	Katkeaa
MBP4 - MBP4	15,6	15,0	14,5	Katkeaa
MBP4 - MBP4	16,1	15,4	14,8	Katkeaa
MBP4 - MBP4	18,8	16,9	15,0	Katkeaa
MBP4 - MBP4	16,7	15,8	14,9	Katkeaa
MBP4 - MBP4	0,2	0,1	-0,1	Katkeaa
MBP4 - MBP4	19,7	16,1	14,7	Katkeaa



## Liite 2: Visuaalisen tarkastelun tulokset

Visuaalisessa tarkastelussa tehdyt havainnot mahdollisista pintavirheistä silkkipainovä-  
rillä painetuissa rakenteissa.

Korttityyppi	Pintavirhe	Korttityyppi	Pintavirhe	Korttityyppi	Pintavirhe
R1V1	ilmakuplia	R1V4	-	R1V7	-
R2V1	-	R2V4	-	R2V7	-
R3V1	-	R3V4	-	R3V7	-
R4V1	-	R4V4	-	R4V7	-
R5V1	Ilmakuplia	R5V4	ilmakuplia	R7V7	-
R6V1	Ilmakuplia	R6V4	ilmakuplia	R8V7	-
R7V1	Ilmakuplia	R7V4	-	R1V8	Sormenjälkimäinen pinta
R1V2	Sormenjälkimäinen pinta	R1V5	-	R2V8	Sormenjälkimäinen pinta
R2V2	Sormenjälkimäinen pinta	R2V5	-	R3V8	Sormenjälkimäinen pinta
R3V2	Sormenjälkimäinen pinta	R3V5	-	R4V8	Sormenjälkimäinen pinta
R4V2	Sormenjälkimäinen pinta	R4V5	-	R7V8	Sormenjälkimäinen pinta
R5V2	Sormenjälkimäinen pinta	R5V5	-	R1V9	-
R6V2	Sormenjälkimäinen pinta	R6V5	-	R2V9	-
R7V2	Sormenjälkimäinen pinta	R7V5	-	R3V9	-
R1V3	-	R1V6	-	R4V9	-
R2V3	-	R2V6	-	R7V9	-
R3V3	-	R3V6	-	R1V10	-
R4V3	-	R4V6	-	R2V10	-
R5V3	ilmakuplia	R5V6	Halkeamia	R3V10	-
R6V3	ilmakuplia	R6V6	Halkeamia	R4V10	-
R7V3	-	R7V6	Halkeamia	R7V10	-
				R8V10	-

### Liite 3: Irtivetolujuuskokeen tulokset

Visuaalisen tarkastelun läpäisseiden silkkipainovärillä painettujen rakenteiden irtivetolujuusarvot taulukoituna.

Näyte	Suurin vetolujuusarvo (N/cm)	Keskiarvo (N/cm)	Pienin vetolujuusarvo (N/cm)	Kommentit
R3V1	9,3	8,6	7,9	Kuoriutuu
R3V1	8,3	7,8	7,3	Kuoriutuu
R3V1	8,2	7,9	7,4	Kuoriutuu
R3V1	8,5	7,9	7,3	Kuoriutuu
R3V1	8,6	7,8	7,2	Kuoriutuu
R3V1	9,3	8,1	7,3	Kuoriutuu
R3V1	9,1	8,7	8,2	Kuoriutuu
R3V1	9,2	8,5	7,7	Kuoriutuu
R4V1	8,8	8,1	7,6	Kuoriutuu
R4V1	9,1	8,2	7,8	Kuoriutuu
R4V1	9,3	8,5	8,0	Kuoriutuu
R4V1	10,8	9,1	8,6	Kuoriutuu
R4V1	9,0	7,8	7,2	Kuoriutuu
R4V1	9,3	8,3	7,6	Kuoriutuu
R4V1	9,3	8,2	7,3	Kuoriutuu
R4V1	9,6	8,6	7,9	Kuoriutuu
R4V1	9,6	8,6	8,0	Kuoriutuu
R1V3	3,0	2,8	2,5	Kuoriutuu
R1V3	3,4	3,0	2,6	Kuoriutuu
R1V3	4,0	3,2	2,6	Kuoriutuu
R1V3	3,4	3,1	1,0	Kuoriutuu
R1V3	3,4	3,0	2,7	Kuoriutuu
R1V3	3,7	3,5	3,1	Kuoriutuu
R1V3	3,5	3,1	1,1	Kuoriutuu
R1V3	3,6	3,1	2,5	Kuoriutuu
R1V3	4,2	3,4	2,7	Kuoriutuu
R2V3	3,6	3,2	2,4	Kuoriutuu
R2V3	3,9	3,1	2,7	Kuoriutuu
R2V3	3,8	3,5	3,0	Kuoriutuu
R2V3	3,1	2,9	2,1	Kuoriutuu
R2V3	3,6	3,1	2,7	Kuoriutuu
R2V3	4,0	3,5	3,1	Kuoriutuu
R2V3	3,8	3,6	3,4	Kuoriutuu
R2V3	3,7	3,5	2,3	Kuoriutuu
R2V3	4,0	3,7	3,3	Kuoriutuu

R3V3	2,6	2,2	1,0	Kuoriutuu
R3V3	2,6	2,1	1,9	Kuoriutuu
R3V3	3,1	2,6	2,1	Kuoriutuu
R3V3	2,9	2,6	2,4	Kuoriutuu
R3V3	4,0	3,0	2,3	Kuoriutuu
R3V3	3,5	3,2	2,9	Kuoriutuu
R3V3	3,0	2,7	2,5	Kuoriutuu
R3V3	3,0	2,8	2,4	Kuoriutuu
R4V3	2,9	2,6	2,4	Kuoriutuu
R4V3	3,0	2,8	2,5	Kuoriutuu
R4V3	2,6	2,3	1,4	Kuoriutuu
R4V3	2,6	2,3	2,1	Kuoriutuu
R4V3	2,9	2,6	2,3	Kuoriutuu
R4V3	2,8	2,5	2,3	Kuoriutuu
R4V3	2,9	2,4	2,2	Kuoriutuu
R7V3	3,9	3,3	2,7	Kuoriutuu
R7V3	3,9	3,3	2,9	Kuoriutuu
R7V3	3,6	3,2	2,9	Kuoriutuu
R7V3	3,0	2,5	2,1	Kuoriutuu
R7V3	2,7	2,4	2,1	Kuoriutuu
R7V3	2,8	2,5	2,3	Kuoriutuu
R7V3	4,6	3,7	2,9	Kuoriutuu
R7V3	4,4	3,6	2,6	Kuoriutuu
R7V3	4,3	3,3	2,6	Kuoriutuu
R1V4	15,4	14,5	13,5	Kuoriutuu
R1V4	15,3	14,3	13,3	Kuoriutuu
R1V4	14,7	13,4	12,2	Kuoriutuu
R1V4	14,2	13,3	12,3	Kuoriutuu
R1V4	14,0	13,1	12,2	Kuoriutuu
R1V4	13,0	12,3	11,1	Kuoriutuu
R1V4	13,8	13,0	12,2	Kuoriutuu
R2V4	14,5	13,6	12,9	Kuoriutuu 31mm ja katkeaa
R2V4	14,5	13,7	12,9	Kuoriutuu
R2V4	13,3	12,7	12,2	Kuoriutuu
R2V4	13,0	12,5	12,0	Kuoriutuu
R2V4	12,5	12,1	11,5	Kuoriutuu
R2V4	14,4	13,5	12,6	Kuoriutuu
R2V4	14,1	13,2	12,5	Kuoriutuu
R2V4	22,4	14,4	13,0	Kuoriutuu
R3V4	15,9	15,1	14,2	Kuoriutuu
R3V4	14,8	14,4	13,8	Kuoriutuu
R3V4	15,0	14,6	14,1	Kuoriutuu
R3V4	15,7	14,6	13,9	Kuoriutuu
R3V4	30,5	18,2	15,5	Kuoriutuu

R3V4	15,8	15,2	14,6	Kuoriutuu
R3V4	16,3	15,7	15,1	Kuoriutuu
R3V4	31,8	17,9	15,7	Kuoriutuu
R3V4	16,3	15,9	15,2	Kuoriutuu
R4V4	16,4	15,9	15,3	Kuoriutuu
R4V4	17,0	16,2	15,7	Kuoriutuu
R4V4	16,8	15,9	15,4	Kuoriutuu
R4V4	17,4	16,9	16,3	Kuoriutuu
R4V4	16,5	15,9	15,2	Kuoriutuu
R4V4	17,4	16,6	13,2	Kuoriutuu
R4V4	16,2	15,5	14,6	Kuoriutuu
R4V4	16,7	16,0	15,3	Kuoriutuu
R4V4	15,6	15,1	14,4	Kuoriutuu
R7V4	12,8	11,8	10,6	Kuoriutuu
R7V4	12,9	11,7	10,1	Kuoriutuu
R7V4	13,0	12,4	11,7	Kuoriutuu
R7V4	12,8	12,4	12,0	Kuoriutuu
R7V4	12,8	12,3	11,7	Kuoriutuu
R7V4	13,4	12,5	11,6	Kuoriutuu
R7V4	13,2	12,1	10,9	Kuoriutuu
R7V4	13,1	12,0	10,7	Kuoriutuu
R8V4	14,6	13,7	13,2	Kuoriutuu
R8V4	14,8	14,4	13,6	Kuoriutuu
R8V4	15,2	14,4	13,8	Kuoriutuu
R8V4	13,8	13,2	12,7	Kuoriutuu
R8V4	13,9	13,4	12,9	Kuoriutuu
R8V4	14,3	13,7	13,1	Kuoriutuu
R8V4	14,4	13,9	13,4	Kuoriutuu
R1V5	4,6	4,3	4,0	Kuoriutuu
R1V5	4,8	4,2	3,7	Kuoriutuu
R1V5	4,7	4,2	3,8	Kuoriutuu
R1V5	5,2	4,8	4,4	Kuoriutuu
R1V5	5,0	4,6	4,3	Kuoriutuu
R1V5	5,0	4,7	4,6	Kuoriutuu
R1V5	4,8	4,4	3,9	Kuoriutuu
R1V5	4,6	4,4	4,2	Kuoriutuu
R1V5	5,6	5,1	4,7	Kuoriutuu
R2V5	9,5	8,7	8,1	Kuoriutuu
R2V5	10,1	9,2	8,5	Kuoriutuu
R2V5	10,2	9,5	8,8	Kuoriutuu
R2V5	9,4	8,7	8,0	Kuoriutuu
R2V5	9,8	9,1	8,2	Kuoriutuu
R2V5	10,0	9,0	8,3	Kuoriutuu
R2V5	9,4	8,9	8,1	Kuoriutuu

R2V5	9,5	8,9	8,4	Kuoriutuu
R3V5	7,9	6,9	6,0	Kuoriutuu
R3V5	8,1	7,0	6,2	Kuoriutuu
R3V5	7,6	6,8	5,9	Kuoriutuu
R3V5	8,8	7,8	6,6	Kuoriutuu
R3V5	8,9	7,9	7,0	Kuoriutuu
R3V5	9,0	7,9	6,9	Kuoriutuu
R3V5	8,3	7,1	5,7	Kuoriutuu
R3V5	7,7	6,9	6,2	Kuoriutuu
R3V5	8,4	7,0	5,9	Kuoriutuu
R4V5	8,4	7,3	6,3	Kuoriutuu
R4V5	8,5	7,3	6,3	Kuoriutuu
R4V5	8,1	7,2	6,3	Kuoriutuu
R4V5	6,3	5,2	4,3	Kuoriutuu
R4V5	6,5	5,5	4,5	Kuoriutuu
R4V5	7,4	6,4	5,2	Kuoriutuu
R4V5	8,2	6,9	5,7	Kuoriutuu
R4V5	7,8	6,9	5,9	Kuoriutuu
R4V5	7,9	6,9	6,2	Kuoriutuu
R7V5	7,3	6,2	5,1	Kuoriutuu
R7V5	7,1	6,3	5,7	Kuoriutuu
R7V5	7,2	6,6	5,7	Kuoriutuu
R7V5	8,1	7,1	6,0	Kuoriutuu
R7V5	7,3	6,5	5,8	Kuoriutuu
R7V5	7,5	6,7	5,9	Kuoriutuu
R7V5	7,1	6,1	5,1	Kuoriutuu
R7V5	7,3	6,5	5,5	Kuoriutuu
R1V6	13,3	1,2		Kuoriutuu 1 mm ja repeää 5 mm
R1V6	15,8	4,5		Kuoriutuu 3 mm ja repeää11 mm
R1V6	16,4	5,7		Kuoriutuu 12 mm ja repeää 23 mm
R1V6	16,4	3,9		Kuoriutuu 7 mm ja repeää 13 mm
R1V6	13,7	1,7		Kuoriutuu 3 mm ja repeää 7 mm
R1V6	15,9	1,9		Kuoriutuu 1 mm ja repeää 10 mm
R1V6	12,1	4,0		Repeää 22 mm
R1V6	18,0	3,4		Kuoriutuu 9 mm ja repeää 14 mm
R2V6	12,9	1,2		Kuoriutuu 1 mm ja repeää5 mm
R2V6	16,5	1,3		Kuoriutuu 5 mm ja repeää 6 mm
R2V6	12,3	1,7		Kuoriutuu 2 mm ja repeää11 mm
R2V6	15,4	5,2		Kuoriutuu 12 mm ja repeää 19 mm
R2V6	14,8	4,4		Kuoriutuu 5 mm ja repeää 13 mm
R2V6	16,6	4,6		Kuoriutuu 4 mm ja repeää 11 mm
R2V6	16,4	4,0		Kuoriutuu 3 mm ja repeää 9 mm
R2V6	8,0	1,4		Repeää 10 mm
R2V6	8,4	0,8		Repeää 5 mm

R3V6	20,0	19,2	18,4	Kuoriutuu
R3V6	21,3	19,7	18,4	Kuoriutuu
R3V6	19,2	18,6	17,8	Kuoriutuu
R3V6	20,4	19,4	18,7	Kuoriutuu
R3V6	19,8	19,3	18,8	Kuoriutuu
R3V6	19,9	19,3	18,7	Kuoriutuu
R3V6	19,6	18,8	18,3	Kuoriutuu
R3V6	20,0	18,8	17,9	Kuoriutuu
R3V6	20,0	19,0	18,0	Kuoriutuu
R4V6	20,0	19,2	18,6	Kuoriutuu
R4V6	19,6	19,0	18,5	Kuoriutuu
R4V6	19,1	18,6	18,0	Kuoriutuu
R4V6	19,2	18,7	17,9	Kuoriutuu
R4V6	19,6	19,1	18,4	Kuoriutuu
R4V6	19,0	18,5	18,0	Kuoriutuu
R4V6	19,5	19,2	18,7	Kuoriutuu
R4V6	19,5	19,2	18,9	Kuoriutuu
R1V7	12,1	11,7	11,1	Kuoriutuu
R1V7	11,4	11,0	10,8	Kuoriutuu
R1V7	12,1	11,6	11,2	Kuoriutuu
R1V7	12,2	11,7	11,0	Kuoriutuu
R1V7	12,2	11,8	11,3	Kuoriutuu
R1V7	12,7	12,0	11,4	Kuoriutuu
R1V7	13,0	12,5	12,0	Kuoriutuu
R1V7	13,0	12,4	11,9	Kuoriutuu
R2V7	13,8	13,1	12,4	Kuoriutuu
R2V7	14,6	14,0	13,2	Kuoriutuu
R2V7	13,9	13,3	12,8	Kuoriutuu
R2V7	13,1	3,1		Kuoriutuu 10 mm ja katkeaa
R2V7	13,5	3,9		Kuoriutuu 10 mm ja katkeaa
R2V7	13,2	10,2		Kuoriutuu 14 mm ja repeää 25 mm
R2V7	13,4	12,8	12,2	Kuoriutuu
R2V7	13,6	13,3	12,6	Kuoriutuu
R2V7	13,5	12,7	11,9	Kuoriutuu
R3V7	12,7	8,0		Kuoriutuu 11 mm ja repeää 22 mm
R3V7	15,0	2,9		Kuoriutuu 10 mm ja katkeaa
R3V7	11,8	11,2	10,7	Kuoriutuu
R3V7	12,1	0,7		Kuoriutuu 5 mm ja katkeaa
R3V7	0,3	0,1		Kuoriutuu 3 mm ja katkeaa
R3V7	10,8	2,9		Kuoriutuu 2 mm ja repeää 9 mm
R3V7	13,3	7,6		Kuoriutuu 7 mm ja repeää 20 mm
R3V7	13,0	2,8		Kuoriutuu 2 mm ja repeää 9 mm
R3V7	0,1	0,1		Kuoriutuu 2 mm ja katkeaa
R4V7	11,0	10,6	10,0	Kuoriutuu

R4V7	11,8	11,2	9,3	Kuoriutuu
R4V7	12,4	11,5		Kuoriutuu 13 mm ja katkeaa
R4V7	11,5	11,1	10,7	Kuoriutuu
R4V7	12,3	8,2		Kuoriutuu 23 mm ja katkeaa
R4V7	11,9	7,5		Kuoriutuu 21 mm ja katkeaa
R4V7	10,9	10,5	9,9	Kuoriutuu
R4V7	11,7	11,0	10,4	Kuoriutuu
R7V7	11,4	10,9		Kuoriutuu 32 mm ja katkeaa
R7V7	11,6	5,2		Kuoriutuu 15 mm ja katkeaa
R7V7	0,6	0,3		Kuoriutuu 1 mm ja katkeaa
R7V7	10,7	10,5	10,3	Kuoriutuu
R7V7	11,3	8,1		Kuoriutuu 22 mm ja katkeaa
R7V7	12,7	1,1		Kuoriutuu 4 mm ja katkeaa
R7V7	11,4	6,3		Kuoriutuu 15 mm ja katkeaa
R7V7	0,7	0,3		Kuoriutuu 2 mm ja katkeaa
R7V7	11,1	4,5		Kuoriutuu 13 mm ja katkeaa
R7V7	10,7	10,3	9,9	Kuoriutuu
R7V7	11,0	10,5	10,1	Kuoriutuu
R7V7	10,7	10,2	10,0	Kuoriutuu
R7V7	11,8	11,2	10,4	Kuoriutuu
R7V7	10,7	9,7	9,5	Kuoriutuu
R7V7	10,3	9,5	9,2	Kuoriutuu
R8V7	9,5	9,2	8,8	Kuoriutuu
R8V7	8,9	8,6	8,2	Kuoriutuu
R8V7	10,1	9,5	8,7	Kuoriutuu
R8V7	9,6	9,3	9,0	Kuoriutuu
R8V7	9,4	9,2	8,9	Kuoriutuu
R8V7	9,5	9,3	8,8	Kuoriutuu
R8V7	9,7	9,2	8,9	Kuoriutuu
R8V7	9,7	9,3	9,1	Kuoriutuu
R8V7	9,7	9,4	8,9	Kuoriutuu
R8V7	10,6	10,0	9,6	Kuoriutuu
R8V7	9,9	9,6	9,3	Kuoriutuu
R8V7	10,9	10,2	9,5	Kuoriutuu
R8V7	10,6	10,3	10,0	Kuoriutuu
R8V7	10,4	10,1	9,9	Kuoriutuu
R1V9	6,1	5,3	4,4	Kuoriutuu
R1V9	5,1	4,4	4,1	Kuoriutuu
R1V9	4,6	4,2	4,0	Kuoriutuu
R1V9	5,7	4,9	4,4	Kuoriutuu
R1V9	4,3	4,1	4,0	Kuoriutuu
R1V9	5,0	4,3	3,9	Kuoriutuu
R1V9	4,2	4,0	3,8	Kuoriutuu
R1V9	4,6	4,3	4,0	Kuoriutuu

R2V9	4,2	4,0	3,8	Kuoriutuu
R2V9	4,7	4,4	4,0	Kuoriutuu
R2V9	7,1	5,4	4,1	Kuoriutuu
R2V9	4,0	3,9	3,8	Kuoriutuu
R2V9	6,2	5,0	4,1	Kuoriutuu
R2V9	6,0	5,6	4,9	Kuoriutuu
R2V9	4,9	4,3	4,1	Kuoriutuu
R2V9	4,6	4,2	4,0	Kuoriutuu
R3V9	4,4	4,1	3,9	Kuoriutuu
R3V9	4,1	3,9	3,7	Kuoriutuu
R3V9	5,2	4,7	4,2	Kuoriutuu
R3V9	4,4	4,2	4,1	Kuoriutuu
R3V9	5,3	4,9	4,5	Kuoriutuu
R3V9	4,0	3,8	1,8	Kuoriutuu
R4V9	4,6	4,3	4,1	Kuoriutuu
R4V9	4,1	3,8	3,5	Kuoriutuu
R4V9	4,4	4,2	3,9	Kuoriutuu
R4V9	6,0	5,2	4,7	Kuoriutuu
R4V9	4,7	4,5	4,1	Kuoriutuu
R4V9	5,2	4,4	2,2	Kuoriutuu
R7V9	4,8	4,4	4,1	Kuoriutuu
R7V9	4,4	4,1	3,8	Kuoriutuu
R7V9	6,1	5,3	4,6	Kuoriutuu
R7V9	4,8	4,6	4,5	Kuoriutuu
R8V9	5,0	4,6	1,8	Kuoriutuu
R8V9	5,2	4,9	4,2	Kuoriutuu
R8V9	4,9	4,7	4,4	Kuoriutuu
R8V9	4,6	4,4	4,2	Kuoriutuu
R8V9	4,6	4,1	3,8	Kuoriutuu
R8V9	4,6	4,2	1,5	Kuoriutuu
R8V9	5,0	4,5	1,6	Kuoriutuu
R1V10	9,0	8,6	8,0	Kuoriutuu
R1V10	8,7	8,4	8,1	Kuoriutuu
R1V10	8,8	8,4	8,0	Kuoriutuu
R1V10	8,4	8,1	7,7	Kuoriutuu
R1V10	8,4	8,1	7,9	Kuoriutuu
R1V10	8,0	7,7	7,4	Kuoriutuu
R1V10	8,6	8,2	7,8	Kuoriutuu
R1V10	8,1	7,8	7,5	Kuoriutuu
R1V10	8,2	7,9	7,6	Kuoriutuu
R2V10	9,5	9,2	5,8	Kuoriutuu
R2V10	9,7	9,2	8,8	Kuoriutuu
R2V10	9,5	9,2	8,9	Kuoriutuu
R2V10	9,6	9,2	8,9	Kuoriutuu



R2V10	9,4	8,8	8,4	Kuoriutuu
R2V10	9,4	8,8	8,5	Kuoriutuu
R2V10	7,6	7,4	7,1	Kuoriutuu
R2V10	8,0	7,6	6,9	Kuoriutuu
R2V10	8,3	7,8	7,6	Kuoriutuu
R3V10	11,1	10,5	9,8	Kuoriutuu
R3V10	10,2	9,8	9,4	Kuoriutuu
R3V10	9,9	9,4	9,1	Kuoriutuu
R3V10	11,1	10,4	9,9	Kuoriutuu
R4V10	9,5	9,2	8,9	Kuoriutuu
R4V10	9,7	9,4	9,0	Kuoriutuu
R4V10	9,8	9,3	8,7	Kuoriutuu
R4V10	9,9	9,3	8,9	Kuoriutuu
R4V10	9,8	9,3	8,8	Kuoriutuu
R4V10	9,9	9,2	8,5	Kuoriutuu
R4V10	9,6	9,1	8,7	Kuoriutuu
R4V10	10,0	9,4	8,8	Kuoriutuu
R7V10	11,1	10,3	9,8	Kuoriutuu
R7V10	10,6	9,5	9,1	Kuoriutuu
R7V10	11,7	10,4	7,0	Kuoriutuu
R7V10	11,2	10,5	9,7	Kuoriutuu
R7V10	10,6	10,3	9,8	Kuoriutuu
R7V10	11,3	10,8	10,2	Kuoriutuu
R7V10	10,5	10,3	10,0	Kuoriutuu
R8V10	10,4	9,8	9,1	Kuoriutuu
R8V10	11,1	10,3	9,5	Kuoriutuu
R8V10	11,1	10,1	9,1	Kuoriutuu
R8V10	9,8	9,4	8,9	Kuoriutuu
R8V10	10,1	9,4	8,5	Kuoriutuu
R8V10	10,5	10,0	9,4	Kuoriutuu

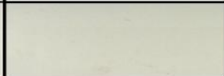


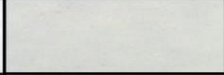


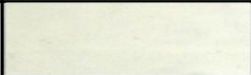
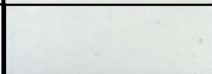
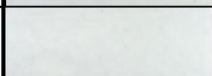
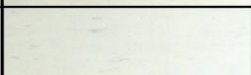
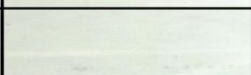
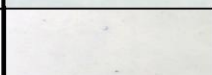
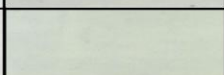
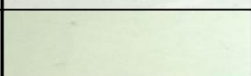
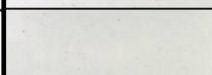
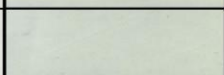
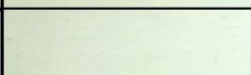
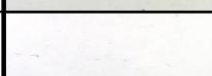
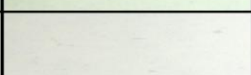
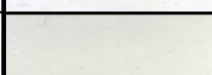
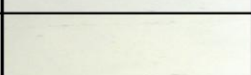
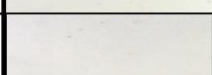
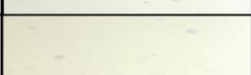
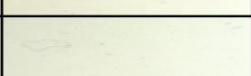
#### Liite 4: Vanhennustestin tulokset

Vanhennustestin värimuutokset vertailutaulukossa. Testi suoritettiin 50 °C:n lämpötilassa ja 93 %:n ilmankosteudessa. Mittausajat 1, 3 ja 6 viikkoa. Referenssikuva olemassa olevasta tuotteesta, jota parempaa lopputulosta opinnäytetyössä pyritään etsimään.

	alkuperäinen	1 vk	3 vk	6 vk
Referenssi				
R1V4				
R2V4				
R3V4				
R4V4				
R7V4				
R8V4				
R1V6				
R2V6				
R3V6				
R4V6				
R1V7				Ei testattu
R2V7				Ei testattu
R3V7				
R4V7				
R7V7				
R8V7				

**Liite 5: UV-rasituskokeen tulokset**

UV-rasitustestin värimuutokset vertailutaulukossa. Mittausajat 24 ja 48 tuntia. Referenssikuva olemassa olevasta tuotteesta, jota parempaa lopputulosta opinnäytetyössä pyritään etsimään.

	alkuperäinen	24 h	48 h
Referenssi			
R1V4			
R2V4			
R3V4			
R4V4			
R7V4			
R8V4			
R1V6			
R2V6			
R3V6			
R4V6			
R1V7			
R2V7			
R3V7			
R4V7			
R7V7			
R8V7			

**Liite 6: Jatkotestien tulokset**


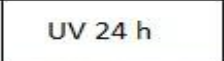

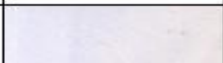
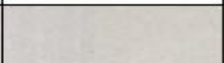
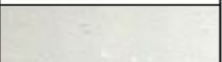
Jatkotestien irtivetolujuustestin sekä UV-rasitustestin tulokset ja opasiteettiarvot.

Vetolujuusarvot taulukoituna.

Näyte	Suurin vetolujuusarvo (N/cm)	Keskiarvo (N/cm)	Pienin vetolujuusarvo (N/cm)	Kommentit
R9V6	13,2	12,9	12,2	Kuoriutuu
R9V6	12,7	12,5	12,2	Kuoriutuu
R9V6	0	0	0	Katkeaa
R9V6	0,2	0	0	Katkeaa
R9V6	0,1	0	0	Katkeaa
R9V6	13,1	12,7	11,9	Kuoriutuu
R9V6	7,3	0,5	0	Repeytyy 5 mm
R9V6	13,2	12,9	12,6	Kuoriutuu
R9V6	0,1	0	0	Katkeaa
R9V7	0,1	0,1	0	Katkeaa
R9V7	10,5	0,5	0	Kuoriutuu 1 mm ja repeää 3 mm
R9V7	0,1	0,1	0	Repeää 1 mm
R9V7	12,3	0,9	0	Repeää 3 mm
R9V7	12,6	12	11,5	Kuoriutuu
R9V7	12,5	12,1	11,7	Kuoriutuu
R9V7	13,3	1,8	0	Kuoriutuu 2 mm ja repeää 4 mm

UV-rasituskokeen jälkeiset värierot kuvattuna normaalissa valossa sekä UV-valossa.

**Normaalissa valossa**

	Alkuperäinen	UV 24 h	UV 48 h
R9V6			
R9V7			

**UV-valossa**

	Alkuperäinen	UV 24 h	UV 48 h
R9V6			
R9V7			

Opasiteettimittauksen tulokset taulukoituna.

Listan lopussa alueille laskettu keskiarvo sekä keltaisella merkitty densiteetti.

R9V6				R9V7			
nm	T%	nm	T%	nm	T%	nm	T%
450	2,2976	750	12,279	450	5,5497	760	16,739
460	2,6513	760	12,681	460	5,9486	770	17,063
470	2,9141	770	12,993	470	6,2268	780	17,472
480	3,1059	780	13,314	480	6,3831	790	17,785
490	3,1919	790	13,642	490	6,366	800	18,142
500	3,2412	800	13,955	500	6,3191	810	18,474
510	3,2859	810	14,264	510	6,2603	820	18,733
520	3,3727	820	14,486	520	6,3089	830	19,116
530	3,5144	830	14,825	530	6,4296	840	19,408
540	3,6735	840	15,044	540	6,5896	850	19,73
550	3,8352	850	15,462	550	6,7471	860	20,538
560	3,993	860	16,062	560	6,8734	870	20,813
570	4,109	870	16,342	570	6,9978	880	21,01
580	4,2715	880	16,607	580	7,1611	890	21,106
590	4,4696	890	16,661	590	7,3945	900	21,283
600	4,7302	900	16,835	600	7,6831	910	21,458
610	5,0057	910	17,003	610	8,0073	920	21,788
620	5,3568	920	17,324	620	8,4312	930	22,262
630	5,7818	930	17,778	630	8,9352	940	22,7
640	6,2781	940	18,201	640	9,5454	950	23,494
650	6,8555	950	18,93	650	10,223	960	23,852
660	7,4656	960	19,304	660	10,964	970	24,154
670	8,044	970	19,636	670	11,7	980	24,484
680	8,6914	980	19,972	680	12,416	990	24,711
690	9,4786	990	20,243	690	13,239	1000	24,92
700	10,1	1000	20,489	700	13,937	450-950	13,5136
710	10,678	450-950	9,8004	710	14,569	950-1000	24,2692
720	11,171	950-1000	19,7623	720	15,076	450-950	0,87
730	11,594	450-950	1,01	730	15,568	950-1000	0,61
740	11,973	950-1000	0,70	740	15,927		
750	12,279			750	16,303		