

Teemu Kampman

Pinnankarheuden ja vahakerroksen vaikutus auton maalipinnan toiminnallisiin ominaisuuksiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

24.5.2016

| | |
|--|---|
| Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika | Teemu Kampman Pinnankarheuden ja vahakerroksen vaikutus auton maalipinnan toiminnallisiin ominaisuuksiin 33 sivua + 7 liitettä 24.5.2016 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Kemiantekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | |
| Ohjaaja | Lehtori Arto Yli-Pentti |
| <p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia pinnankarheuden, pinnan iän sekä vahakerroksen vaikutusta auton maalipinnan toiminnallisiin ominaisuuksiin, jotka olivat tässä työssä kiilto, väriarvot sekä hydrofobisuus. Työssä tehtiin myös kolmen erityyppisen vahan keskinäinen vertailu. Kokeet suoritettiin Metropolia AMK:n Leiritien toimipisteen pintakäsittelylaboratoriossa. Osa näytelevyistä karhennettiin manuaalisesti hiomalla ennen tutkimista. Työ koostui neljästä eri vaiheesta, joissa tutkittiin eri muuttujien vaikutusta.</p> <p>Aluksi tutkittiin, kuinka näytteiden ikä sekä manuaalinen karhennus vaikuttaa niiden ominaisuuksiin. Seuraavaksi vertailtiin uutta vastaavia vahattua ja vahaamatonta levyä. Kolmannessa vaiheessa tutkittiin vahakerrosten määrän vaikutusta kahdella eri lailla karhennetulla levyllä. Tähän käytettiin käsin levitykseen tarkoitettua vaha. Viimeisessä vaiheessa vertailtiin keskenään käsin levitettävää, ilmalevitteistä sekä vesilevitteistä vaha.</p> <p>Pinnankarheudella havaittiin olevan suuri merkitys etenkin maalipinnan kiiltoon sekä hydrofobisuuteen. Sillä oli myös vaikutusta siihen, kuinka ominaisuudet muuttuvat vahauksen jälkeen. Karheammilla pinnoilla useammista vahauskerroista todettiin olevan suurempaa hyötyä kuin sileämmillä pinnoilla. Vahaus palautti useasti pinnan ominaisuuksia siihen suuntaan, mitä ne olivat ennen karhennusta, mutta esim. kiiltoa ei kyetty missään kokeissa täysin palauttamaan. Kolmen vahan keskinäisessä vertailussa edukseen erottuivat käsin levitettävä ja ilmalevitteinen vaha.</p> | |
| Avainsanat | pinnankarheus, kiilto, väri, hydrofobisuus, vaha |

| | |
|---|---|
| Author(s) Title Number of Pages Date | Teemu Kampman Impact of Surface Roughness and Wax Layer on the Functional Properties of Automotive Paint 33 pages + 7 appendices 24 May 2016 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Chemical Engineering |
| Specialisation option | |
| Instructor | Arto Yli-Pentti, Senior Lecturer |
| <p>The objective of this Bachelor's thesis was to investigate the impact of surface roughness, the age of the surface and the wax layer on the functional properties of automotive paint. The properties under investigation in this thesis were gloss, color and hydrophobicity. A comparison between three different wax types was also carried out. The tests were performed in the surface treatment laboratory of Metropolia UAS in Leiritie. Some of the samples were roughened manually by whetting before the experiment. The work consisted of four different phases in which the impacts of different parameters were studied.</p> <p>Firstly, it was studied how the age of the sample and the manual roughening affect their properties. The next step was to compare two brand new sample panels, of which one was waxed and the other was not. In the third phase, the impact of the number of wax layers was investigated by using two differently roughened sample panels. A wax intended for manual spreading by hand was used in this phase. A comparison between manually spreaded wax, air sprayed wax and water spreaded wax was performed in the last phase of the tests.</p> <p>It was discovered that surface roughness had a large impact especially on the gloss and hydrophobicity of the paint. It also had an effect on how the properties change after waxing the sample. On rougher surfaces, the bigger number of wax layers was found to be more beneficial than on smoother surfaces. In many cases, waxing returned the surface properties towards their original values before roughening but gloss, for example, could not be fully restored in any of the tests. In the comparison between the three wax types, hand spreaded wax and air sprayed wax stood out positively.</p> | |
| Keywords | surface roughness, gloss, color, hydrophobicity, wax |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Vahaus | 1 |
| 2.1 | Vahauksen tarkoitus | 1 |
| 2.2 | Vahauksen suorittaminen | 2 |
| 3 | Pinnan ominaisuudet | 2 |
| 3.1 | Pinnankarheus | 2 |
| 3.2 | Auton pinnoitekerrokset | 3 |
| 3.2.1 | Fosfaattikerros | 3 |
| 3.2.2 | Elektroforeettinen pinnoitus | 5 |
| 3.2.3 | Pohjamaali | 5 |
| 3.2.4 | Värimaali | 5 |
| 3.2.5 | Kirkaslakka | 6 |
| 3.3 | Kiilto | 7 |
| 3.4 | Hydrofobisuus | 9 |
| 3.5 | Adheesiovoimat | 11 |
| 3.5.1 | Van der Waalsin voima | 11 |
| 3.5.2 | Adheesio vs. koheesio | 12 |
| 3.5.3 | Pintaenergia | 12 |
| 3.6 | Pinnan väriarvot | 12 |
| 3.6.1 | CIE L*a*b | 13 |
| 3.6.2 | Värin mittaaminen | 13 |
| 4 | Työn suoritus | 14 |
| 4.1 | Laitteet | 15 |
| 4.1.1 | Pinnankarheuden mittauslaite | 15 |
| 4.1.2 | Kiiltomittari | 16 |
| 4.1.3 | Värieromittari | 16 |
| 4.1.4 | Kontaktikulmamittari | 17 |
| 4.2 | Testien vaiheet | 18 |
| 4.2.1 | Ensimmäinen vaihe: karhennuksen vaikutus | 18 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2.2 | Toinen vaihe: vahan vaikutus | 20 |
| 4.2.3 | Kolmas vaihe: vahamäärän vaikutus | 20 |
| 4.2.4 | Neljäs vaihe: vahojen vertailu | 22 |
| 5 | Tulokset ja tulosten tarkastelu | 24 |
| 5.1 | Ensimmäinen vaihe | 24 |
| 5.1.1 | Pinnankarheus | 24 |
| 5.1.2 | Kiilto | 25 |
| 5.1.3 | Värieromittaus | 25 |
| 5.1.4 | Kontaktikulma | 25 |
| 5.2 | Toinen vaihe | 26 |
| 5.3 | Kolmas vaihe | 26 |
| 5.3.1 | Pinnankarheus | 26 |
| 5.3.2 | Kiilto | 27 |
| 5.3.3 | Värieromittaus | 28 |
| 5.3.4 | Kontaktikulma | 29 |
| 5.4 | Neljäs vaihe | 30 |
| 5.4.1 | Pinnankarheus | 30 |
| 5.4.2 | Kiilto | 31 |
| 5.4.3 | Värieromittaus | 31 |
| 5.4.4 | Kontaktikulma | 32 |
| 6 | Johtopäätökset | 32 |
| | Lähteet | 34 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Ensimmäisen vaiheen mittaustulokset | |
| | Liite 2. Toisen vaiheen mittaustulokset | |
| | Liite 3. Kolmannen vaiheen mittaustulokset | |
| | Liite 4. Vahamäärät, kolmas vaihe | |
| | Liite 5. Neljännen vaiheen mittaustulokset | |
| | Liite 6. Vahamäärät, neljäs vaihe | |
| | Liite 7. Käänteismikroskooppikuvat | |

Lyhenteet

| | |
|----------------|--|
| Ra | Aritmeettinen pinnankarheus keskiarvo |
| EPD | Electrophoretic deposition |
| R _s | S-polarisoitunut peilimäinen heijastussuhde |
| R _p | P-polarisoitunut peilimäinen heijastussuhde |
| CIE | Commission Internationale de l'Eclairage, kansainvälinen valaistuskomissio |
| Rq | Pinnankarheuden keskihajonta |
| RzDIN | DIN-standardin mukainen maksimiprofiilin korkeus |
| Rt | Pinnan profiilin suurin korkeusero |
| Ry | Pinnan syvimmän laakson syvyys |
| Sm | Profiilipoikkeamien keskileveys |
| SCI | Spektrofotometrin arvo kiillon kanssa |
| SCE | Spektrofotometrin arvo ilman kiiltoa |

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on ollut tutkia kokeellisesti auton pinnalle applikoidun vahakerroksen paksuuden sekä metallipinnan karheuden vaikutusta pinnan eri ominaisuuksiin. Mitattavia ominaisuuksia ovat mm. kiilto, kitka sekä pisaroiden kontaktikulmat. Taustalla on alalla toimivan yrityksen kehittämä ilmavahausmenetelmä, jossa koneellinen vahaus tapahtuu ilman vettä, jolloin pinnalle jäävä vahakerros saadaan huomattavasti paksummaksi [1].

Työn tavoitteena on osoittaa vahauksessa auton maalipinnalle jäävän vahakerroksen paksuuden merkitys sekä toisaalta etsiä mahdollista optimaalista kerrospaksuutta. Ilmavahauksen etuna perinteisiin vesisumutteisiin vahauksiin on se, että auton pinnalle sumutettava aine on pelkkää vahaa eikä sitä ole laimennettu vedellä pieniin pitoisuuksiin. Näin pyritään pääsemään konevahauksessa lähemmäksi käsivahauksella saavutettavaa lopputulosta. Työssä tutkitaan eri-ikäisten auton maalipintojen ominaisuuksia sekä vertaillaan erilaisia vahatyyppejä.

2 Vahaus

2.1 Vahauksen tarkoitus

Autojen vahaamisella on tarkoitus suojata auton maalipintaa mm. kulumiselta ja UV-säteilyltä sekä tehdä siitä likaa hylkivä. Vahattu maalipinta helpottaa auton puhtaanapitoa sekä parantaa sen esteettisiä ominaisuuksia esim. kiillon parantumisen muodossa. Pinta, jolle vahakerros levittää, on monesti karkeudeltaan vaihtelevaa. Vanhempien autojen maalipinta saattaa sisältää hyvinkin paljon mikronaarmuja sekä muita kulumia maalipinnassa. Tässä työssä tutkitaankin mm. vahauksen vaikutusta pinnankarheuteen (mm. Ra), eli minkä verran pinnan profiili tasoittuu vahauksen myötä.

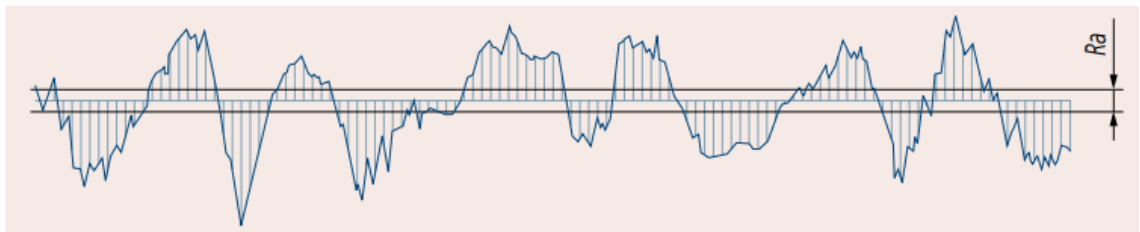
2.2 Vahauksen suorittaminen

Vahausta tehtäessä maalipinnan tulisi olla täysin puhdas sekä kuiva, jotta vaha tarttuu mahdollisimman hyvin ja likaahylkivyyksensä säilyisi pitkään, jolloin auton puhtaanapito on helpompaa. Vahaus voidaan suorittaa joko käsin levittämällä tai koneellisesti täysin automaattisesti. Kummassakin tapauksessa vahausta edeltää yleensä liuotinpesu sekä pinnan kuivaus.

3 Pinnan ominaisuudet

3.1 Pinnankarheus

Pinnankarkeutta mitattaessa yleisin käytetty parametri on R_a , eli aritmeettinen keskimääräinen pinnankarheusarvo. R_a mitataan laskemalla karheusprofiilin keskiviivan kohdalta otettujen profiilipoikkeamien itseisarvojen keskiarvo kuvan 1 osoittamalla tavalla. [2.]



Kuva 1. R_a laskettuna profiilipoikkeamista. [2]

Kulunutta pintaa voidaan pyrkiä tasoittamaan erilaisilla pinnoitekerroksilla, jolloin profiilipoikkeamat tasoittuvat ja R_a -luku pienenee.

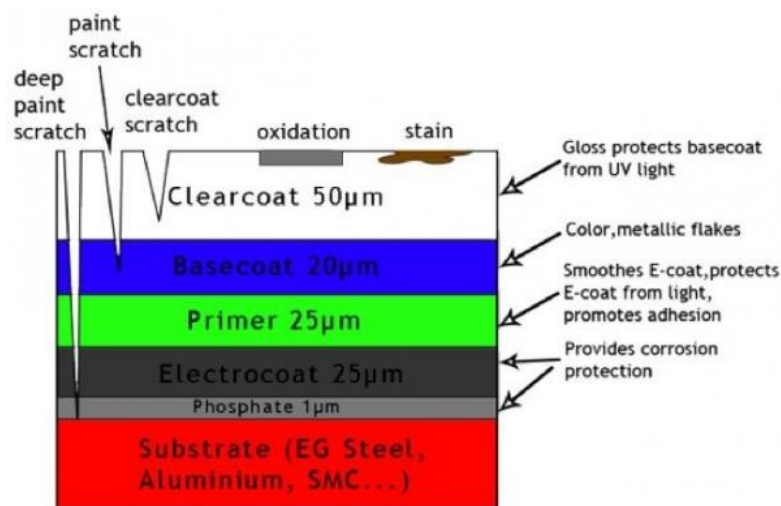
Muita pinnankarheutta kuvaavia arvoja ovat mm. R_q eli pinnankarheuden keskihajonta sekä R_t eli profiilin kokonaiskorkeus, joka on korkeimman huipun ja matalimman laakson välinen korkeusero. S_m kuvaa keskimääräistä huipun leveyttä. Se saadaan laskemalla keskiarvo profiilin elementtien (yksi huippu ja yksi laakso) leveyksistä. [2.]

Profiilipoikkeamat auton kirkaslakkapintaan syntyvät lähinnä mekaanisen rasituksen muodossa, mutta myös auringon UV-valo kuluttaa lakkapintaa [3, s. 222]. Tässä työssä

mekaanista kulumista pyritään mallintamaan hiomalla maalipintaa vakioidulla systeemillä tietty kertamäärä.

3.2 Auton pinnoitekerrokset

Auton pinta koostuu useasta maali- ja pinnoitekerroksesta, joilla jokaisella on oma tehtävänsä. Naarmujen ja kulumien syvyydellä ja sillä, mihin kerrokseen asti ne vaikuttavat, on täten suuri merkitys.



Kuva 2. Tyypilliset auton pinnoitekerrokset. [4]

Pinnoitteiden paksuudet ovat siis mikrometrien luokkaa, ja niiden kokonaispaksuuskin vain millimetrin kymmenesosia (kuva 2).

3.2.1 Fosfaattikerros

Ensimmäisenä paljaan metallin päälle asetetaan n. 1 µm:n paksuinen fosfaattipinnoite. Fosfaatin tarkoitus on parantaa metallin korroosiokestävyyttä, sekä valmistaa pinta elektroforeettista käsittelyä varten. Fosfaattikäsittelyssä metallin pintaan syntyy ohut amorfinen kalvo, joka estää ilman hapen sekä kosteuden pääsyn metallipinnalle sekä toimii myös eristeenä ehkäisten galvaanista korroosiota. Toisaalta se synnyttää teräksen pinnalle sinkkifosfaatteja, mikä helpottaa seuraavien pintakerrosten kiinnittymistä. [5.]

Fosfaattikäsittely tehdään ainoastaan metallipinnoille eikä siten esim. auton muovi- tai komposiittiosille. Käsittely suoritetaan ruiskuttamalla metallipinnalle yleensä fosforihappoa, josta muodostuu yhdessä teräksen pinnalla olevan sinkin sekä raudan kanssa sinkkifosfaatteja: fosforylliittiä $FeZn_2(PO_4)_2$ sekä hopeiittiä $Zn_3(PO_4)_2$ yhtälöiden 1 ja 2 mukaisesti. [6, s. 1; 7, s. 220.]

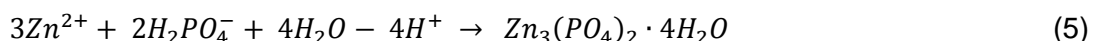
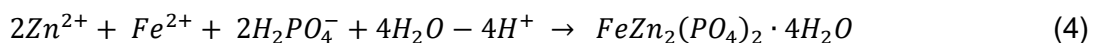


Fosforihappo levitetään n. 55 °C:n lämpötilassa upottamalla tai ruiskuttamalla. Lämpötilan nosto nopeuttaa reaktiota, mutta vaatii samalla myös alhaisemman pH:n. Ruiskutuksella saadaan kidemäinen fosfaattikerros hienojakoisemmaksi sekä ohuemmaksi. Ylimääräinen fosforihappo pestään pois vedellä. Ionivaihdetun veden käyttö on suositeltavaa. Fosfointiliuos voi sisältää lisäksi myös mangaania ja nikkeliä, jolloin fosfaattikerroksesta muodostuu alkalikestävämpi, mikä antaa maalatulle pinnalle paremman korroosiokestävyyden. [6, s. 1-3; 7, s. 220–225.]

Fosfaattikerroksen muodostus tapahtuu hapettimen (Ox) avulla kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa rautaa liukenee kahdenarvoisena ja vety hapettuu (yhtälö 3) [7, s. 220].



Raudan liukenemisen aiheuttama H^+ -ionien kuluminen tekee pinnasta emäksisemmän eli nostaa sen pH:ta. Tällöin sinkkifosfaatin liukoisuus alkaa alentua ja sitä alkaa muodostua pinnalle reaktioyhtälöiden 4 ja 5 mukaisesti [7, s. 220].



Ylimääräinen saostumaton rauta hapettuu ensin hapettimen (Ox) vaikutuksesta kolmenarvoiseksi raudaksi (Fe^{3+}), jonka jälkeen se saostuu vaikealiukoisena rautafosfaatina. Lietettä tulee poistaa reaktiosta jatkuvasti sekä lisätä lähtöaineita koostumuksen pitämiseksi vakiona. Reaktioaika on yleensä upotuksessa 3–20 min ja ruiskutuksella 1–

-3 min. Reaktio lakkaa, kun metallin pinta on kokonaan peittynyt ja raudan liukeneminen pysähtyy. [7, s. 220–221.]

Fosfointi voidaan korvata myös esim. silaanikäsitteilyllä. Silaanin avulla pyritään muodostamaan kovalenttisia pii-happi-sidoksia esimerkiksi maalin orgaanisten sekä mineraalisten komponenttien välisille rajapinnoille. [8.]

3.2.2 Elektroforeettinen pinnoitus

Elektroforeettisen pinnoituksen (EPD) tarkoituksena on niin ikään suojata metallia korroosiolta. Etenkin Pohjoismaissa suurin korroosiota aiheuttava tekijä on tiesuola, joten hyvä korroosionesto on oleellista.

EPD:ssä auton runko toimii katodina ja maali anodina. Jännitteen avulla positiivisesti varautuneet maalihiukkaset saadaan ohjattua auton pinnalle. Kerrospaksuus on n. 25 μm :n luokkaa ja se määrittyy itsestään, sillä kerroksen tullessa riittävän paksuksi maalia ei enää tartu. Prosessissa käytettävä jännite on suuruudeltaan n. 250–320 V. Tällä menetelmällä saadaan erittäin tasainen lopputulos monimutkaisillekin pinnoille ilman, että pinnalle jää huokoisia kohtia. [6, s. 7; 9.]

EPD:llä on myös merkittävä vaikutus pinnankarheuteen hyvän tasoittuvuutensa takia ja sitä kautta myös lopulliseen maalaustulokseen.

3.2.3 Pohjamaali

Seuraava kerros on n. 25 μm :n pohjamaali. Sen tehtävänä on tasoittaa auton pintaa, suojata elektroforeettista maalia valolta ja kiveniskuilta, estää korroosiota sekä parantaa varsinaisen värimaalin tarttuvuutta. [10.]

3.2.4 Värimaali

Viimeinen maalikerros on auton värin ja ulkoisen olemuksen pitkälti määrittävä n. 20 μm :n paksuinen värimaalikerros. Värimaalityyppejä on kolmea erilaista: yksivärinen-maali, metallinhohto- sekä helmiäismaali. [10.]

Yksivärimaali on näistä yksinkertaisin ja sisältää nimensä mukaisesti ainoastaan yhden loistoa tuottavan efektin eli väriaineen itsessään. Sen etuna on edullisuus sekä pienten naarmujen helppo korjaus maalin yksisävyisyydestä johtuen. Metallinhohtomaaleissa on lisäksi pieniä alumiinisia tai muita metallisia lastuja lisäämään maalipinnan loistetta. Tyyppillinen sekoitusuhde on n. 1:50. Tällä saadaan metallipinta myös näyttämään enemmän metallimaiselta.

Helmiäismaaleissa metallilastut on korvattu keraamisilla kiteillä, jotka nimensä mukaisesti vertautuvat helmiin. Nämä kiteet eivät ainoastaan heijasta tulevaa valoa, vaan myös taittavat sitä. Kuvasta 3 nähdään, että tällä tavoin auton pinnalle näyttää syntyvän jopa täysin uusia värisävyjä, riippuen erittäin paljon valon määrästä ja katselukulmasta. [11.]



Kuva 3. Helmiäismaalia ja maalattu kappale. [12]

Helmiäismaalaus voidaan toteuttaa kaksi- tai kolmivaiheisena niin, että käytetään pohjalla myös normaalia väriä tai niin, että käytetään ainoastaan helmiäismaalia [10].

3.2.5 Kirkaslakka

Auton pinnan uloin kerros on kiiltävä ja läpinäkyvä n. 50 µm:n paksuinen kirkaslakkakerros. Sen ensisijaiset tehtävät ovat suojata maalipintoja sekä metallirunkoa kemialliselta pilaantumiselta (esim. happosateet, tiesuola), mekaaniselta kulutukselta sekä auringon UV-valon rasitukselta. Tasainen ja ehjä kirkaslakkapinta takaa autolle myös kirkkaan kiillon. [3.]

Kirkaslakka pinnoitteet voidaan luokitella 1K- tai 2K-luokkaan sen mukaan, tarvitaanko niiden levitykseen muuta ainetta toimimaan kovettimena, katalyyttinä tai aktivaattorina. 1K-pinnoitteet ovat yksikomponenttisiä ja itsestään kovettuvia, kun taas 2K-pinnoitteet vaativat koveteaineen, mutta muodostavat valmiina kovan hartsin, joka tarjoaa paljon paremman suojan verrattuna 1K-pinnoitukseen. Monet autonvalmistajat käyttävät nykyään menetelmää, jossa akryylimaali sekoitetaan isosyanaatti koveteaineen kanssa, jolloin muodostuu erittäin kova maalipinta. [11, 13.]

Kirkaslakkapinta vaatii säännöllistä vahausta, jotta sen visuaalinen ilme ja suojauskyky säilyisivät. Myös auton pesulla ja jatkuvalla puhtaana pidolla on suuri merkitys, ettei lakkapinta pääse haalistumaan.

3.3 Kiilto

Kiilto on joukko materiaalin pinnalla tapahtuvia ilmiöitä, joilla pyritään kuvaamaan pinnan kykyä heijastaa saapuvia valonsäteitä. Korkeakiiltainen pinta heijastaa enemmän valoa ja saa usein aikaan silmää miellyttävän vaikutelman. Kiiltotyyppejä on useita erilaisia, mutta metallipintojen yhteydessä merkittävin on ns. peilikiilto, joka nimenomaan saa aikaan pinnan kiiltävän vaikutelman. Peilikiiltoa kuvataan heijastuneen säteen ja tulevan säteen intensiteettien suhteella tietyssä kulmassa. Tätä kutsutaan peilimäiseksi kokonaisheijastussuhteeksi (R). Loput säteet joko hajoavat heijastuen kaikkiin suuntiin tai menevät pinnoitteen sisään, jossa ne joko hajoavat, taittuvat tai absorboituvat riippuen pinnoitteen rakenteesta. [14, s. 2222.]

Teoreettinen kokonaisheijastussuhde voidaan laskea Fresnelin yhtälöstä s- ja p-polarisoituneiden valojen heijastussuhteiden (R_s ja R_p) summan keskiarvona (yhtälö 6).

$$R = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\cos(\theta) - \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}{\cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} \right)^2 + \left(\frac{n^2 \cos(\theta) - \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}{n^2 \cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} \right)^2 \right] \quad (6)$$

θ on valonsäteen tulokulma

n on pintamateriaalin taitekerroin.

Kiillon mittaamiseen käytetään tavallisesti polarisoimatonta valoa. [14, s. 2223.]

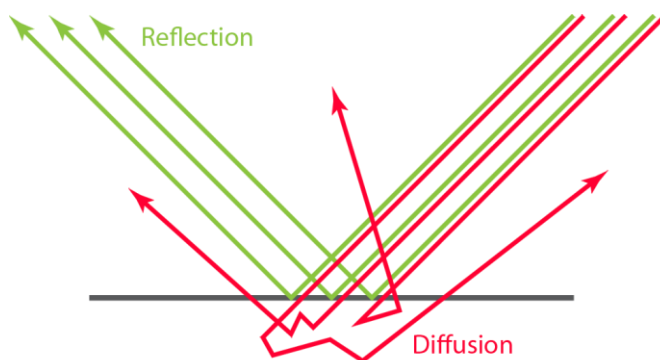
Aiemmat tutkimukset osoittavat, että eri metallien kiillon tulisi nousta sen koostumuksesta huolimatta pinnankarheuden (R_a) pienentyessä [15, s. 1029]. Etenkin pienillä pinnankarheuksilla pienetkin muutokset voivat aiheuttaa merkittäviä muutoksia kiiltoon, kun taas pinnan mennessä karheammaksi kiilto ei enää pienene yhtä selkeästi. Vahauksella pyritään karheuden pienentämiseen ja sitä kautta mm. kiillon nostamiseen.

Materiaalin pinnalla olevat epätasaisuudet aiheuttavat saapuville valonsäteille matka-eroa ja vaihe-eroa. Syvät kuopat pinnassa voivat aiheuttaa suuria vaihe-eroja, jolloin valonsäteet heikentävät toisiaan ja sitä kautta pinnalta havaittava kiilto laskee. Optisessa mielessä pinnan tasaisuus riippuu valon aallonpituudesta ja se voidaan määrittää Rayleighin kriteerillä

$$h < \frac{\lambda}{8\cos(\theta)}, \quad (7)$$

missä h on epätasaisuuden syvyys, λ valon aallonpituus ja θ tulokulma. Yhtälö 7 siis määrittää, kuinka suuri h saa suurimmillaan olla, jotta pinta olisi optisesti tasaista. Auton maalipinnasta puhuttaessa h :n voi siis rinnastaa naarmun syvyyteen.

Pinnan ollessa optisesti tasainen vaihe-ero on pieni, jolloin valonsäteet vahvistavat toisiaan eli syntyy konstruktivista interferenssiä. Kun taas vaihe-ero on lähellä piitä, säteet ovat täysin eri vaiheessa, jolloin ne kumoavat toisiaan ja syntyy destruktiivista interferenssiä. Tällöin pinta on optisesti karheaa ja kiilto pienenee. [16.]

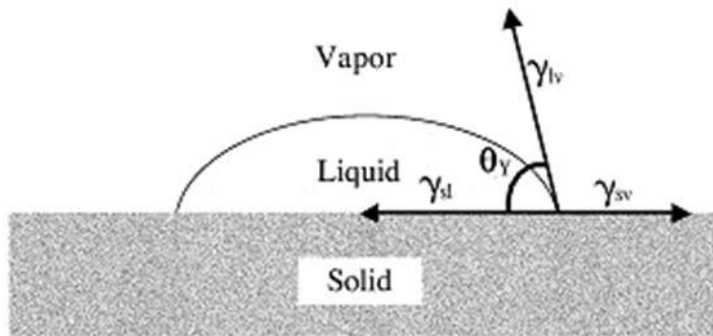


Kuva 4. Heijastuneita- ja diffundoituneita valonsäteitä. [17]

Kuten kuvasta 4 nähdään, pinnan epätasaisuudet siis aiheuttavat sen, että kaikki valonsäteet eivät heijastu peilimäisesti.

3.4 Hydrofobisuus

Hydrofobisuudella kuvataan aineen kykyä hylkiä vesimolekyylejä. Materiaalin pinnan hydrofobisuutta voidaan tutkia kaasufaasin ja kiinteän faasin rajapinnalle asetetun nestepisaran avulla. Pisaran levittäytymisestä voidaan tulkita, kuinka hyvin se kostuttaa pinnan, ja katsoa sen kontaktikulma, joka kertoo pinnan hydrofobisuudesta. [18, s. 2.]



Kuva 5. Pisaran kontaktikulma. [19]

Kontaktikulmaa mitattaessa syntyy tasapainotila faasien välisten pintajännitysten kesken (kuva 5). Kun kontaktikulma on nolla astetta, neste on täysin levittäytynyt pinnalle eli kostuttanut pinnan täysin. Kaikkien neste- ja kiinteäfaasien välillä on aina jonkin verran adheesiovoimaa, joten kontaktikulma ei voi olla 180°. [18, s. 2; 21.]

Teoreettisen kontaktikulman laskemiseen täysin tasaiselle pinnalle voidaan käyttää Youngin yhtälöä

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos(\theta), \quad (8)$$

Yhtälössä 8 γ :t ovat faasien välisiä pintajännityksiä ja θ on Youngin kontaktikulma. Kontaktikulman suuruus määrittää pinnan hydrofobisuuden/hydrofiilisyyden. Erittäin hydrofiilisiä pintoja ovat sellaiset, joissa vesipisaran kontaktikulma jää alle 30°:n eli vesi levittäytyy laajasti ja kostuttaa pinnan ja lisäksi pintaenergia sekä tarttuvuus ovat korkeita. Pintojen voidaan katsoa olevan hydrofiilisiä aina 90°:n kontaktikulmaan saakka.

Hydrofobisten pintojen kontaktikulmat taas ovat yli 90° ja erittäin hydrofobisten yli 150° . Tällöin pinta vastustaa voimakkaasti nesteen tunkeutumista sen huokosiin, eli kostutusta ei juurikaan tapahdu. [20.]

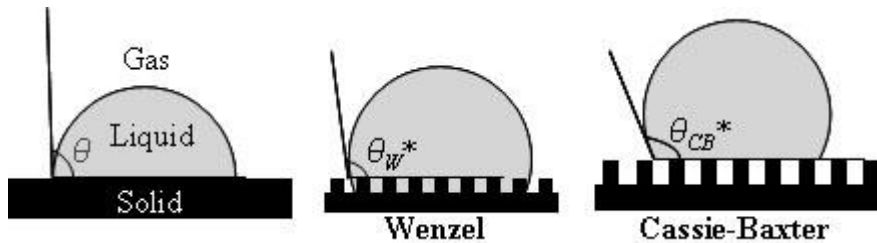
Auton maalipinnan kannalta hydrofobisuus/hydrofiilisyyys on oleellinen tekijä lian tarttumisen kannalta. Maalipinta on kuitenkin usein karhea eikä vastaa Youngin yhtälön kaltaista ideaalitulannetta.

Karhean pinnan kontaktikulmaa voidaan mallintaa esim. Wenzelin yhtälöllä (yhtälö 9)

$$\cos(\theta') = r \cos(\theta), \quad (9)$$

jossa θ' on näkyvä eli mitattu kontaktikulma, r on karheussuhdeluku, joka ilmaisee pisaran alla olevan kiinteän pinnan todellisen pinta-alan sekä näkyvän pinnan pinta-alojen suhdetta. θ on Youngin yhtälöstä (yhtälö 8) saatu teoreettinen kontaktikulma. Tämä yhtälö kuvaa yksinkertaisesti sitä, että käytännössä mitattu kontaktikulma ei koskaan täysin vastaa teoreettista arvoa ja toisaalta, että tehty karhennus vahvistaa sen alkuperäistä tilaa, eli tekee siitä entistä hydrofobisemman tai hydrofiilisemmän. [18.]

Toinen karhean pinnan kostutusta kuvaava malli on ns. Cassie-Baxter-malli. Wenzelin malli on käyttökelpoinen ainoastaan ns. homogeenisille pinnoille eli siinä pinnalle asetettu pisara täyttää materiaalin pinnalla olevat karheudesta johtuvat urat. Cassie-Baxterin malli puolestaan pätee heterogeenisille pinnoille, jolloin pisara ei täytäkään kaikkia uria esim. huokoisemmilla materiaaleilla. Mikrokarhennusten tulee olla riittävän pitkiä estämään nestettä koskettamasta karhennusten pohjaa. Myös pintajännitys on oleellinen tekijä, sillä pintajännitysvoimien tulee ylittää pisaran painovoimasta aiheutuva alaspäin vetävä voima. Näiden ehtojen täytyessä pisaran käyttäytyminen noudattaa paremmin Cassie-Baxterin mallia, eli pisara ikään kuin lepää huokosten päällä kostuttamatta täysin pintaa kuvan 6 mukaisesti. [21, 22.]



Kuva 6. Eri mallien mukaiset pisaroiden kontaktikulmat. [23]

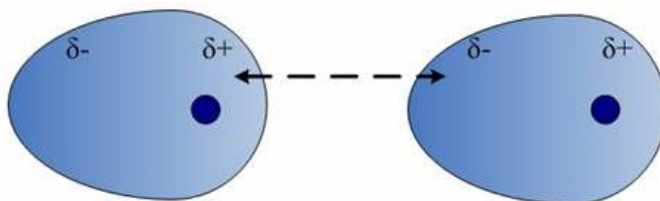
Kaikki em. mallit pätevät kuitenkin vain siinä tapauksessa, että pinnan epätasaisuudet ovat pieniä verrattuna pisaran kokoon [21].

3.5 Adheesivoimat

Adheesio on kahden erilaisen rajapinnan taipumus kiinnittyä toisiinsa, ja se on merkittävä ilmiö pinnan likaantumisen kannalta. Adheesio koostuu atomien ja molekyylien välisistä voimista, jotka saavat aikaan pisaran kiinnittymisen metallipinnalle. Tärkeimpiä vaikuttavia voimia ovat Van Der Waalsin voimat, kapillaarivoimat sekä myös kemialliset voimat ja elektrostaattiset voimat. Auton vahauksessa vahan sitoutumisen kannalta merkittävää on nimenomaan kemiallinen sitoutuminen, joka on vahan yksi adheesiomekanismi. Siinä kirkaslakan sekä vahan funktionaaliset ryhmät muodostavat keskenään kovalenttisia sidoksia. [24, s. 14; 25.]

3.5.1 Van der Waalsin voima

Van der Waalsin voimat aiheutuvat elektronien satunnaisesta kulkeutumisesta molekyyllisissä, mikä puolestaan tekee niistä muuttuvia dipoleita. Toinen pää molekyylistä on hetimitäin hieman negatiivisesti varautunut, kun taas toinen hieman positiivisesti varautunut (kuva 7). Nämä varauserot aiheuttavat taas vetovoimia molekyylien välille. [26.]



Kuva 7. Van der Waalsin voima dipolien välillä. [27]

Van der Waalsin voimia esiintyy kaikenlaisilla molekyyeillä niiden koosta riippumatta.

3.5.2 Adheesio vs. koheesio

Adheesiovoimiin liittyy vahvasti myös koheesiovoimat. Koheesiovoimat ovat tietyn aineen rakenneyksiköiden välistä koossapitävää vetovoimaa. Esimerkiksi auton pinnalle tulleeseen likaan voi kohdistua mm. gravitaatiovoimaa, ilmavirtauksesta aiheutuvaa mekaanista voimaa sekä vaikkapa pesusta tai sateesta aiheutuvaa hydrodynaamista voimaa. Kun nämä voimat kasvavat tarpeeksi suuriksi, lika joko irtoaa pinnalta tai hajoaa, riippuen adheesio- ja koheesiovoimien suuruudesta. Jos rajapinnan adheesiovoimat ovat suuremmat kuin lian koheesiovoima, lika ”hajoaa”, jolloin osa siitä myös jää kiinni metallipintaan. Kun taas lian koheesio on adheesiovoimia suurempi, lika irtoaa pinnalta kokonaan. [28, s. 7–8.]

3.5.3 Pintaenergia

Yksi oleellinen pinnan ilmiö on myös sen pintaenergia. Pintaenergia on materiaalin pinnalla olevien molekyylien ja sen sisällä olevien ns. bulkkimolekyylien energiaero. Koska pintamolekyyleillä ei ole ympäröiviä molekyylejä kuin toisella puolella, syntyy pinnalle sisäänpäin vetävä voima, joka pyrkii minimoimaan materiaalin pinta-alan. Tätä kutsutaan pintajännitykseksi. Pintaenergiaa mitataan työnä pinta-alaa kohti ja sen yksikkö on J/m^2 . Metallien pintaenergiat ovat luokkaa 1 J/m^2 , ja niiden arvot muuttuvat lämpötilan funktiona johtuen atomien liikkeen muutoksista. [29.]

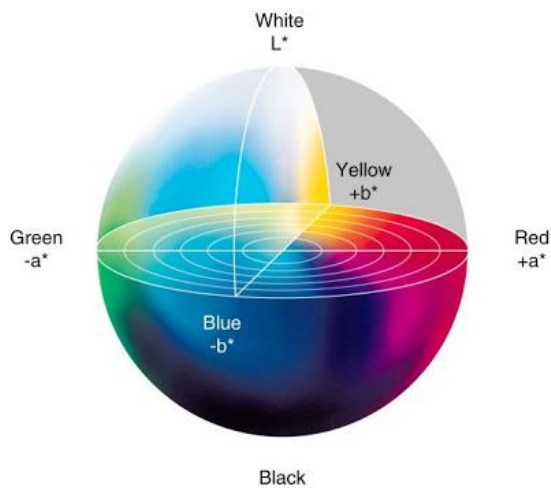
Pintaenergia kuvaa pinnan ominaisuutta hylkiä nesteitä suhteessa nesteen ominaiseen pintajännitykseen. Alhaisen pintajännityksen nesteet vaativat pienemmän pintaenergian pinnan, jotta pinta olisi näiden kahden faasin kosketustilanteessa hydrofobinen. [25.]

3.6 Pinnan väriarvot

Auton maalipinnan väriä voidaan tutkia mm. sen intensiteetin eli kylläisyyden avulla. Kyläisyydellä kuvataan värin puhtautta ja täyteläisyyttä eli mitä vähemmän väri sisältää mustaa tai valkoista, sitä kylläisempi se on. Numeerisia, silmin havaittavan värin määrittäviä malleja on useita, mutta yleisin standardisoitunut malli on kansainvälien valaistuskomission CIE:n L^*a^*b -malli. [30.]

3.6.1 CIE L*a*b

CIE LAB -malli määrittää väriarvon vastaväriparien avulla kolmiulotteisessa väriavaruudessa. Ensimmäinen koordinaatti L kuvaa luminanssia eli valoisuutta. L saa arvoja nolasta sataan nollan ollessa täysin musta ja sadan ollessa täysin valkoinen. A ja b ovat kylläisyysarvoja kuvaavia komponentteja. A on värin kylläisyys vihreä-punainen akselilla ja B sininen-keltainen akselilla. A ja b koordinaattien vaihteluväli on $-120 \leq a$, $b \leq 120$. [31, s. 4.]



Kuva 8. CIE L*a*b väriavaruus. [32]

Mitattuja koordinaatteja vastaava väri voidaan hakea täten koordinaatistolta (kuva 8).

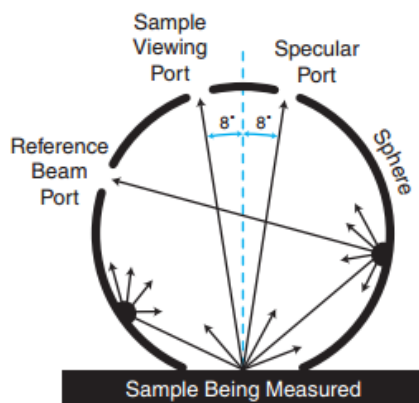
3.6.2 Värin mittaaminen

Värin havaitsemiseen tarvitaan aina kolme asiaa: valonlähde, kappale ja havaitsija. Havaitsija voi olla kone tai ihminen. Kaikki nämä kolme tekijää vaikuttavat siihen, millaisena väri havaitaan. [33, s. 3,9.]

Yleisin värin mittaamiseen käytetty menetelmä on spektrofotometria. Spektrofotometri lähettää valonsäteitä näkyvän valon aallonpituuksilla ja määrittää käyrän (spektrin) valonsäteiden heijastuvuuksista eri taajuuksilla. Kyseisestä spektristä voidaan määrittää värikoordinaatit kertomalla se valonlähteen standardikäyrällä sekä kokeellisesti määritetyllä keskivertohavaitsijan spektrillä. Standardi valonsäteen (esim. päivänvalo) spektri ilmaisee kuinka sen voima jakautuu eri aallonpituuksille ja kuinka se vaikuttaa siihen, mi-

ten väri nähdään. Keskivertohavaitsijan käyrät ovat CIE:n vuosina 1931 ja 1964 määrittämiä standardeja siitä, kuinka keskivertoihminen reagoi eri valon aallonpituuksiin, eli miten hän valon näkee. [33, s.10–11.]

Usein käytetty mittalaite tyyppi on pallomainen kuvan 9 mukainen spektrofotometri. Ne kykenevät mittaamaan tarkasti $L^*a^*b^*$ -arvot sekä kiillon huomioiden että ilman sitä. Kiilto voidaan poistaa mittauksista avaamalla pallon kehältä pieni portti, mihin peilimäisesti heijastuneet säteet poistuvat.



Kuva 9. Pallomaisen spektrofotometrin toimintaperiaate. [33]

Valonsäteet kimpoilevat pyöreällä kehällä ja ne rekisteröidään kullakin aallonpituudella, josta muodostuu värin heijastuvuusspektri.

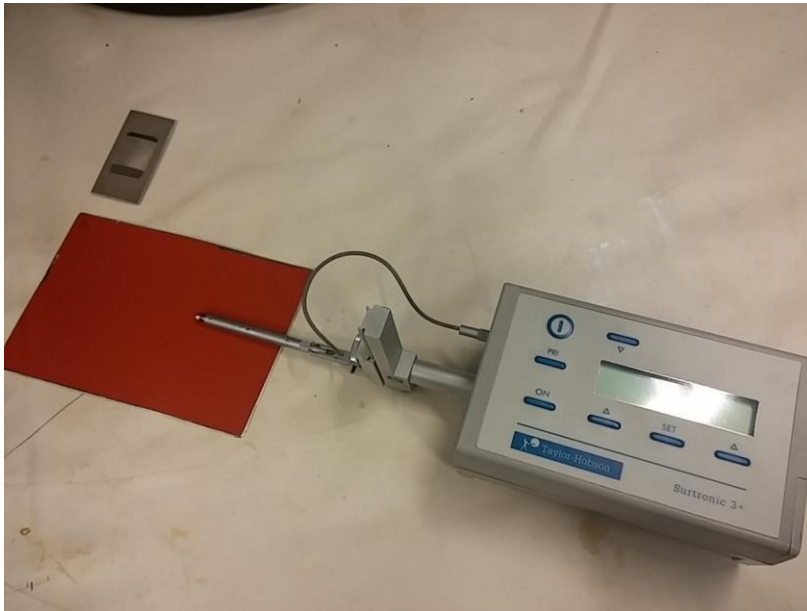
4 Työn suoritus

Insinööriyön kokeellinen osuus suoritettiin Metropolia AMK:n Leiritien toimipisteen pintakäsittelylaboratoriossa. Työssä tutkittiin auton maalipintaa vastaavia näytelevyjä neljän eri ominaisuuden osalta, jotka olivat pinnankarheus, kiilto, väriarvot sekä kontaktikulma. Kokeet koostuivat neljästä eri vaiheesta, joissa jokaisessa tutkittiin eri muuttujien vaikutusta pintaa kuvaaviin ominaisuuksiin.

4.1 Laitteet

4.1.1 Pinnankarheuden mittauslaite

Pinnankarheutta mitattiin työssä Taylor-Hobsonin Surtronic 3+ -laitteella (kuva 10). Laitteessa on mikrometrien kokoinen timanttikärki, joka liikkuu näytekappaleen pinnalla, josta laite laatii sitten profiilin ja ilmoittaa pinnankarheusarvot, jotka kyseisellä laitteella ovat Ra, Rq, RzDIN, Rt, Ry sekä Sm.



Kuva 10. Pinnankarheuden mittauslaite, näytelevy sekä kalibrintilevy.

Ra ilmaisee pinnan poikkeamien aritmeettisen keskiarvon, Rq on pinnankarheuden keskihajonta ja RzDIN on DIN-standardin mukainen syvimmän epätasaisuuden (maksimi-profiili) korkeus laakson pohjalta huipun päälle. Rt puolestaan on koko mittausvälin syvimmän ja korkeimman kohdan välinen korkeusero. Ry kertoo syvimmän laakson syvyyden, ja Sm on ainoa horisontaalinen arvo, joka kertoo profiilipoikkeamien keskileveyden.

Laitteen tarkkuus tarkistettiin aina ennen mittauksia kalibrintilevyn avulla. Levyn karheus oli $6,00 \mu\text{m}$, ja mittari antoi aina tuloksia välillä $5,94\text{--}6,00 \mu\text{m}$. Laite pidettiin aina paikoillaan mittauksen ajan ja ainoastaan näytelevyä liikuteltiin neulan alla, jotta saatiin mitattua pinnankarheus viidestä eri kohtaa. Myös saman kohdan mittaus suoritettiin useampaan otteeseen, jotta saatiin mahdollisimman todenmukainen tulos.

4.1.2 Kiilto mittari

Kiillon mittaukseen käytettiin kuvan 11 mukaista Elcometer 402 -kiilto mittaria. Mittaukset tehtiin 60°:n kulmassa ja laite kalibroitiin referenssilevyn avulla tähän asetukseen ennen jokaista mittausta. Mittauksessa käytettiin 60°:n kulmaa, koska iso osa mittauksista tehtiin karhennetuille levyille, jolloin kiilto jää helposti alle 80 kiiltoyksikön. Vertailtavuuden vuoksi myös muissa mittauksissa käytettiin 60°:n kulmaa. Mittaukset suoritettiin viidestä eri kohdasta näytelevyjen keskialueelta ja näistä laskettiin keskiarvo. Laite mittaa prosentteina lähetetyn valonsäteen takaisin heijastuvuuden ja tulos ilmoitetaan prosentteja vastaavina kiiltoyksiköinä.



Kuva 11. Elcometer-kiilto mittari ja sen kalibrointilevy.

Kalibroinnissa laitteella mitattiin referenssilevyn kiilto 60°:n kulmassa ja säädettiin laitteen näyttämä arvo 93,4:ään.

4.1.3 Värieromittari

Värieron mittaukseen, eli värikoordinaattien määrittämiseen käytettiin Konica Minolta CM-2500d-spektrofotometriä (kuva 12). Laite mittaa näytelevyjen väriarvot ja ilmoittaa ne Lab-koordinaatteina. Laitteen valonlähteenä toimii päivänvaloa jäljittelevä D65-lamppu ja mittauskulma on 10°.

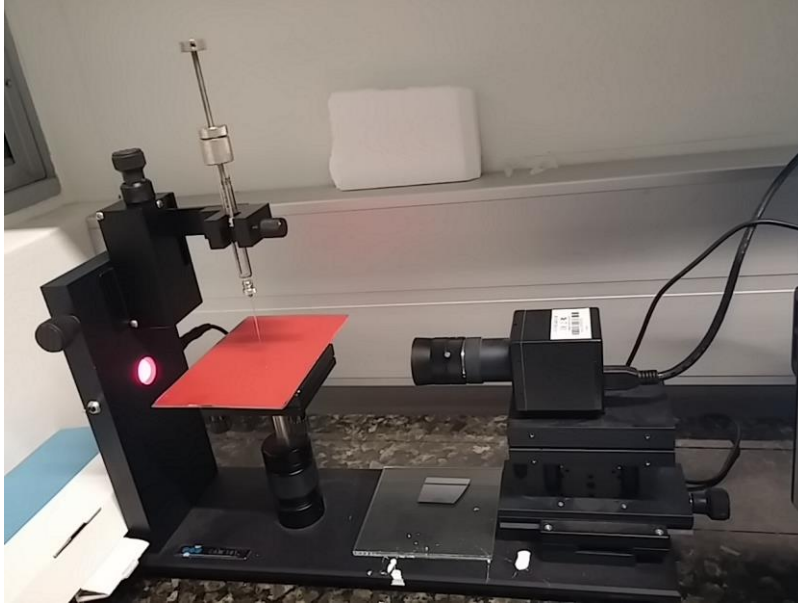


Kuva 12. Spektrofotometri ja musta näytelevy.

Ennen laitteen käyttöä se kalibroitiin pimeässä ja heijastamattomassa tilassa (nollakalibrointi) sekä valkoisen referenssilevyn avulla (valkokalibrointi). Mitattujen koordinaattien avulla pystytään määrittämään näytelevyjen värimuutoksia CIE LAB väriavaruudessa. Laitte mittaa arvot kiillon kanssa (SCI) ja ilman kiiltoa (SCE), joista molemmat ovat työssä tarkastelun kohteena. Mittaukset suoritettiin aina kolmesta kohtaa näytelevyä ja laskettiin koordinaattien keskiarvo.

4.1.4 Kontaktikulmamittari

Hydrofobisuus tutkimuksissa eli kontaktikulman mittauksessa käytettiin kuvan 13 mukaista KSV:n CAM 101 -mallista optista kontaktikulman mittauslaitetta sekä siihen linkitettyä CAM 100 -tietokoneohjelmaa. Laitteessa näytelevy asetetaan alustalle, jonka toiselle puolelle sytytetään punainen LED-taustavalo digitaalista kameraa varten, joka kuvaa pinnalle annostellun pisaran. Tutkittavana aineena käytettiin tislattua vettä ja annostelu tapahtui kierrettävällä ruiskulla, jossa oli neulamainen suutin.



Kuva 13. Kontaktikulman mittausta KSV CAM 101 -laitteella.

Jokaisen näytepisaran annettiin asettua pinnalle tasan viiden minuutin ajan ennen tuloksen ylös kirjaamista. Tietokoneohjelma piirtää pisaran reunoille kaarevuuskäyrät ja ilmoittaa kontaktikulmat pisaran molemmissa reunoissa ja näiden keskiarvon sekä kertoo mahdollisen kaltevuuden.

4.2 Testien vaiheet

Insinööriyössä näytelevyjä tutkittiin ja vertailtiin useassa eri mielessä. Pääasialliset tutkimuskohteet olivat pinnankarheuden vaikutus, pinnan iän vaikutus, vahan määrän vaikutus sekä kolmen erilaisen vahan keskinäinen vertailu.

4.2.1 Ensimmäinen vaihe: karhennuksen vaikutus

Testien ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin kolmea eri-ikäistä näytelevyä (kuva 14). Punainen levy oli näistä kolmesta vanhin ja huonokuntoisin sekä ulkoiselta olemukseltaan varsin kulunut ja kiilloton. Sininen levy oli taas hieman uudempi metallihohtomaalilevy, jossa näkyi jo myös selvästi kirkaslakan kulumista sekä jonkin verran naarmuja. Kolmas näytelevy eli musta levy oli taas täysin uutta maalipintaa vastaava näyte.



Kuva 14. Ensimmäisen testivaiheen näytelevyt.

Testit aloitettiin tutkimalla näytelevyjä sellaisenaan, jotta saatiin käsitys levyjen lähtötiedoista ja levyjen iän vaikutuksesta sen ominaisuuksiin.

Seuraavaksi näytelevyjä alettiin karhentamaan kuvan 15 mukaisella systeemillä. Tällä pyrittiin mallintamaan auton maalipinnan mekaanista kulumista liikennekäytössä. Ensimmäisen vaiheen karhennus suoritettiin vetämällä tasaisin vedoin itsetehtyä karhennussysteemiä näytekappaleen yli sekä vaaka- että pystysuunnassa. Systemi koostui puukappaleesta, jonka pohjaan kiinnitettiin P1000-karheuksinen hiomapaperi ja päälle asetettiin metallinen painolevy. Systemin kokonaispainoksi tuli 269,6 g.

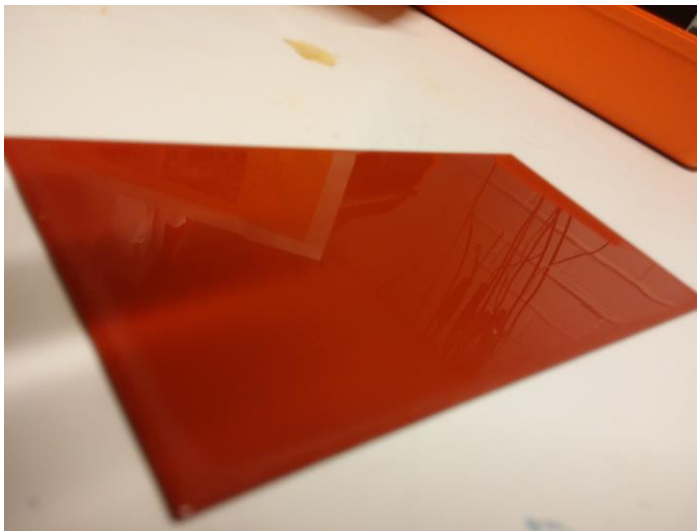


Kuva 15. Karhennussysteemi ja punainen näytelevy.

Ensimmäisessä karhennuksessa kaikille levyille tehtiin samanlaiset 10 vaaka- ja 10 pystysuuntaista vetoa, jonka jälkeen suoritettiin mittaukset. Tämä oli ensimmäisen vaiheen levyjen kevyt karhennus. Seuraavaksi levyille tehtiin raskaammat karhennukset. Systemi pysyi samana, mutta vetojen määrät nostettiin 30:een, jotta pystyttäisiin vertailemaan karhennuksen vaikutusta pinnan ominaisuuksiin. Tämän jälkeen suoritettiin jälleen mittaukset ja siirryttiin testeissä seuraavaan vaiheeseen.

4.2.2 Toinen vaihe: vahan vaikutus

Toisessa vaiheessa tutkittiin kahta punaista, uutta vastaavaa näytelevyä (kuva 16), joita ei ollut karhennettu ja joista toinen oli valmiiksi vahattu ja toinen ei. Levyille suoritettiin testit sellaisenaan ja saatiin tietoa vahan vaikutuksesta uudelle, karhentamattomalle maalipinnalle.



Kuva 16. Toisessa vaiheessa käytetty punainen uusi näytelevy.

Mittausten jälkeen jatkettiin seuraavaan vaiheeseen käyttäen samoja näytelevyjä.

4.2.3 Kolmas vaihe: vahamäärän vaikutus

Testien kolmannessa vaiheessa tutkittiin vahauksen vaikutusta pinnan ominaisuuksiin kahdella eri karhennuksella sekä myös vahauskertojen määrän vaikutusta levyjen ominaisuuksiin. Vaiheessa 2 käytetty vahaamaton levy karhennettiin suoraan, sillä levy oli

alkuperäisessä kunnossa. Koska levyt olivat nyt hieman erimittaisia kuin testien ensimmäisessä vaiheessa, käytettiin karhennussysteemissä nyt hieman erilaista puukappaletta ja hieman erikokoista painoa. Karhennustapa sekä hiomapaperi oli kuitenkin edelleen sama. Uuden systeemin kokonaispaino oli 230,9 g. Myös vetomääriä kasvatettiin ensimmäiseen vaiheeseen verrattuna, jotta saataisiin isompia eroja aikaiseksi. Kevyt karhennus sisälsi tässä vaiheessa 20 vetoa vaaka- sekä pystysuunnassa levyä.

Koska toisessa näytelevyissä oli ennestään vahaus, se täytyi poistaa ennen karhennusta. Vahanpoisto suoritettiin lämmittämällä dekanterilasissa pesuvesiliuosta (kuva 17) n. 80 °C:n (jotta vaha sulaisi) ja kastamalla näytelevy sinne hetkeksi molemmista päistä kolme kertaa. Jokaisella kerralla näytelevyä myös harjattiin ja huuhdeltiin lämpimällä hanavedellä. Lopuksi näytelevy kuivattiin paperilla ja annettiin kuivua.



Kuva 17. Vahanpoistoon käytetyn pesuliuksen lämmitystä.

Liuksessa käytetty pesuaine oli Henkelin valmistamaa rakeista Galvaclean 49 -natriumhydroksidia (NaOH), joka liuotettiin hanaveteen.

Seuraavaksi myös puhdistetulle näytelevylle tehtiin karhennus, joka sisälsi 80 vetoa molempiin suuntiin ja oli täten huomattavasti raskaampi rasitus kuin toiselle levyille tehty. Käytetty systeemi oli täysin sama kuin toisellakin levyllä. Tämän jälkeen suoritettiin mitaukset molemmille levyille ja otettiin testin lähtötiedot ylös.

Sitten olivat vuorossa itse vahatestit. Molemmat näytelevyt vahattiin kolmeen kertaan ja jokaisen vahauksen jälkeen mitattiin pinnankarheus, kiilto, väriarvot sekä kontaktikulma.

Vahaukseen käytettiin käsin levitettäväksi tarkoitettua vahaa. Vahan levitys tapahtui auton pesuun tarkoitettulla sienellä, jonka paino kirjattiin joka kerta ylös sellaisenaan, vahan kanssa sekä vahan levityksen jälkeen.



Kuva 18. Näytelevy vahan levityksen jälkeen, ennen kiillotusta.

Vahan annettiin kuivua joka kerta n. 10 minuutin ajan liuottimen pois haihduttamiseksi, jonka jälkeen levy kiillotettiin kiillotusliinalla. Kuvassa 18 on havainnollistettu kuivumassa oleva näytelevy ennen kiillotustyötä. Kiillotustyö pyrittiin vakioimaan painamalla liinaa kolmella sormella levyä vasten kutakuinkin vakiovoimalla ja kiillottamalla levyä n. 20 sekunnin ajan. Myös liina punnittiin aina ennen- ja jälkeen kiillotuksen, jotta saataisiin tarkka levyyn jäänyt vahamäärä laskettua.

4.2.4 Neljäs vaihe: vahojen vertailu

Testien neljännessä ja viimeisessä vaiheessa vertailtiin kolmea erilaista vahatyyppeä: käsin levitettävää, ilmalevitteistä ja vesilevitteistä vahaa. Näytelevyinä toimi kolme uutta vastaavaa mustaa levyä, joista jokaiselle tehtiin samanlainen karhennus kuin edellisen vaiheen kevyt karhennus eli 20 vetoa molempiin suuntiin. Karhennusten jälkeen tehtiin mittaukset erikseen jokaiselle levyille.



Kuva 19. Vahavertailun vahatyypit: käsin levitettävä, ilmalevitteinen ja vesilevitteinen.

Kuten kuvasta 19 nähdään, käsin levitettävä vaha poikkesi kahdesta muusta koostumuksesta: se oli paljon jäykempää kuin koneannosteluun tarkoitetut kaksi muuta vahaa, jotka olivat nestemäisiä. Vesilevitteinen vaha laimennettiin ennen käyttöä vielä hanavedellä 1 %:n pitoisuuteen, jotta sen koostumus vastaisi paremmin todellista tilannetta.

Käsin levitettävä vaha annosteltiin vastaavalla tavalla kuin kolmannessa vaiheessa. Nestemäiset vahat puolestaan annosteltiin vaa'an päällä pipetoimalla pisaroita näytelevyjien päälle, jonka jälkeen se levitettiin sienellä tasaiseksi ja punnittiin pinnalle jäänyt massa. Pinnalle jääneet määrät pyrittiin saamaan mahdollisimman lähelle tosiaan. Kiillotukset suoritettiin samalla vakioidulla tavalla kuin aikaisemminkin. Tosin ilmalevitteisen ja vesilevitteisen vahan kuivumisaikaa pidennettiin 15 minuuttiin. Lopuksi tehtiin jälleen mitaukset kaikille levyille vertailua varten.

Kokeiden päätteeksi otettiin vielä käänteismikroskooppikuvat Olympus PME 3 -mikroskoopilla. Molemmissa kuvissa on musta näytelevy, joista ensimmäinen on karhennettu ja vahaamaton ja toinen on karhennettu ja vahattu. Kuvista näkee (Liite 7), kuinka vaha on poistanut näkyvistä ison osan mikroskaalan naarmuista.

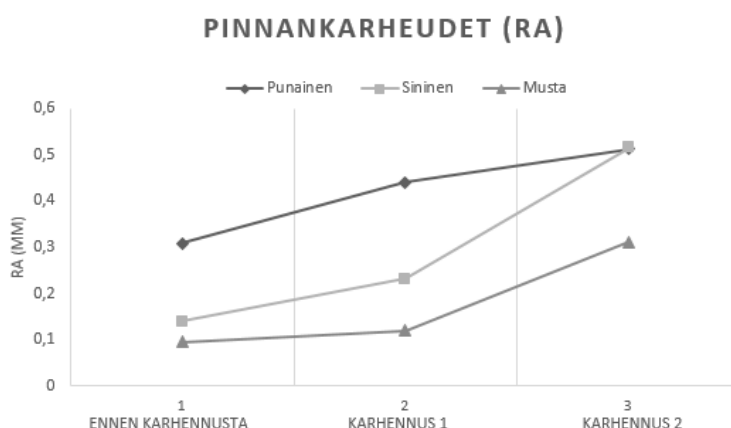
5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.1 Ensimmäinen vaihe

Ensimmäisessä vaiheessa oli vertailtavana kolme eri-ikäistä levyä, joista pystyi jo silmämääräisestikin toteamaan, että vanhin on punainen, sitten sininen ja uusin on musta näytelevy.

5.1.1 Pinnankarheus

Punainen näytelevy oli jo lähtötilanteessa kaikkein karhein Ra-arvollaan 0,308 μm ja musta silein keskiarvolla 0,096 μm .

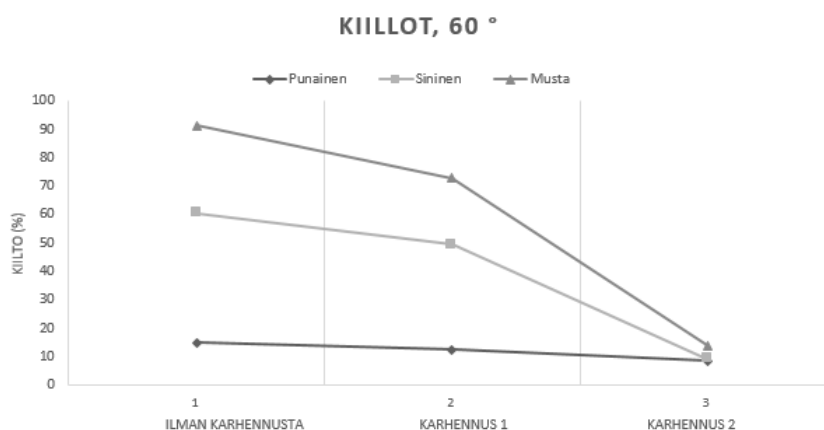


Kuva 20. Pinnankarheuksien Ra-arvot.

Ensimmäinen karhennus vaikutti hieman enemmän punaiseen näytelevyyn, kuin kahden muuhun. Toiseen karhennukseen puolestaan musta ja sininen näytelevy reagoivat hieman voimakkaammin, kuten kuvasta 20 nähdään. Myös muut pinnankarheusarvot Sm:ää lukuun ottamatta noudattivat samaa mallia. Sininen ja punainen levy päätyivät toisen karhennuksen jälkeen arvoissa jo hyvin lähelle toisiaan eli on mahdollista, että kyseisellä hiomapaperilla olisi ollut vaikeaa saada pintoja enää karheammaksi. Punaisen levyn Sm-arvo pysyi lähes samana karhennuksien jälkeen, kun taas sinisen ja mustan levyn arvot laskivat rajusti päätyen lähelle punaista levyä (liite 1).

5.1.2 Kiilto

Musta näytelevy oli luonnollisesti lähtötilanteessa kaikista kiiltävin yli 90 yksikön kiillolaan.



Kuva 21. Ensimmäisen vaiheen kiilto mittaukset.

Kuten kuvasta 21 nähdään, näytelevyt olivat lähtötilanteessa kiilloltaan hyvin erilaisia, mutta päätyivät lopulta melko samoihin lukemiin jo 30 molemmin suuntaisen karhennusvedon jälkeen. Punaisella levyllä silmin havaittava kiilto oli jo lähtötilanteessa varsin vähäistä.

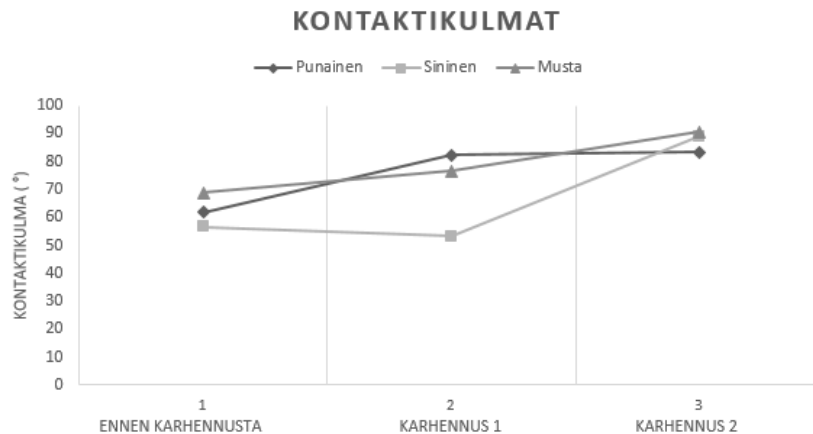
5.1.3 Värieromittaus

Värieromittauksissa silmiinpistävin muutos oli mustan näytelevyn L-koordinaatin eli valoisuuden SCE-arvot. Arvo nousi karhennusten myötä 0,52:sta 21,29:ään, eli se menetti mustaa pigmenttiään melko paljon. Kuten liitteestä 1 nähdään, myös muilla levyillä tapahtui oman väripigmenttiarvon pienenemistä. Sinisen näytelevyn b-koordinaatti kasvoi hieman ja punaisen levyn a-koordinaatti laski etenkin ensimmäisen karhennuksen vaikutuksesta.

5.1.4 Kontaktikulma

Kontaktikulmat kasvoivat hieman yllättäen kaikkien näytelevyjen kohdalla karhennusten jälkeen, lukuun ottamatta sinisen levyn ensimmäistä karhennusta. Tämä selittynee sillä, etteivät pisarat tunkeutuneet karheusuriin, vaan silmämääräisestikin oli nähtävissä, että

karhennukset rajoittivat pisaran leviämistä. Leviämismekanismi noudatteli siis mitä ilmeisimmin Cassie-Baxterin mallia, eli neste ei kostuttanut karhennettua pintaa täysin, vaan jäi ikään kuin leijumaan urien päälle.



Kuva 22. Ensimmäisen vaiheen kontaktikulmamittaukset.

Jälleen punainen levy reagoi jo ensimmäiseen karhennukseen kahta muuta selkeämmin (kuva 22). Lopputulokset olivat kuitenkin jälleen melko lähellä toisiaan mustan levyn ylitäessä ainoana näytteenä niukasti 90°:n rajan.

5.2 Toinen vaihe

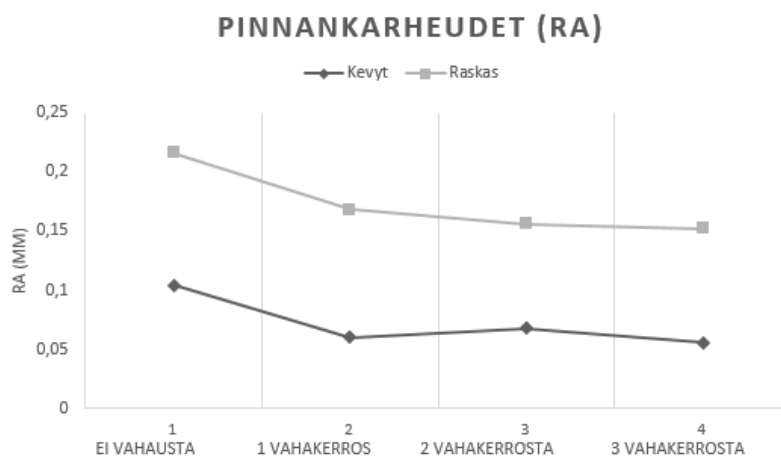
Toisen vaiheen tutkimuksissa merkittävin ero näytelevyjen välille syntyi kontaktikulmamittauksissa. Ero oli varsin huomattava vahatun levyn päästessä 90,63°:n keskiarvoon, kun taas tyhjän levyn kulma jäi 64,54°:seen. Myös pinnankarheuden Ra-arvo oli vahatulla levyllä jonkin verran pienempi. Loput mittaustulokset löytyvät liitteestä 2.

5.3 Kolmas vaihe

5.3.1 Pinnankarheus

Kolmannen vaiheen karhennuksissa kevyt karhennus tuotti toiselle näytelevylle Ra-arvon 0,104 μm ja raskas karhennus arvon 0,216. Vahausten myötä molempien näytelevyjen kaikki arvot Sm:ää lukuun ottamatta lähtivät laskuun. Kevyesti karhennettu levy

tosin pääsi jo ensimmäisen vahauksen jälkeen lähelle alkuperäistä arvoaan ja oikeastaan alittikin sen, joten on loogista, ettei pinnankarheus tästä enää juurikaan muuttunut vaan muutokset johtuivat enää lähinnä mittausepätarkkuudesta.



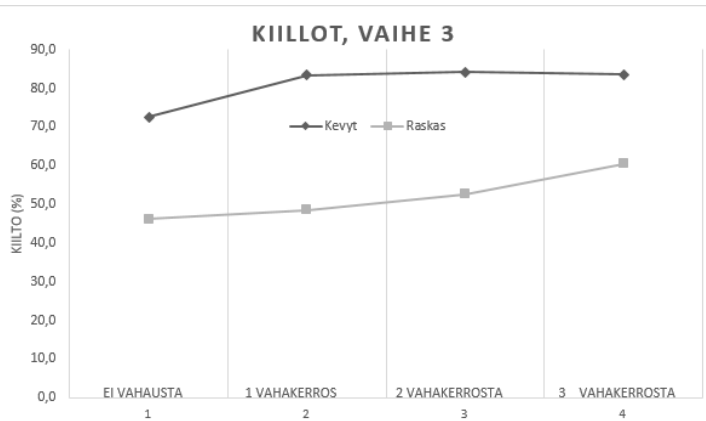
Kuva 23. Vahattujen näytelevyjen Ra-arvojen muutokset.

Myös raskaasti karhennettu näytelevy saavutti isoimman muutoksensa jo ensimmäisellä vahauskerralla, mutta Ra-arvo jatkoi kuitenkin lievää laskua myös kahdella jälkimmäisellä vahauksella (kuva 23). Muista tuloksista mainittakoon, että Sm-arvot eli profiilipoikkeamien keskileveydet kasvoivat nyt merkittävästi, kun taas vastaavasti karhennettaessa ne pienenivät selvästi. Loput mittaustulokset löytyvät liitteestä 3.

Kullakin vahauskerralla pinnalle jääneet vahamäärät löytyvät taulukoituna liitteestä 4.

5.3.2 Kiilto

Raskaasti karhennetun näytelevyn kiilto laski alussa 46,2 yksikköön ja kevyesti karhennetun 72,6 yksikköön.



Kuva 24. Vahausten vaikutus näytelevyjen kiiltoon.

Kuten kuvasta 24 nähdään, molemmissa tapauksissa kiilto lähti palautumaan kohti alkuperäistä arvoa. Kevyesti karhennettu levy näyttää jälleen saavuttavan aika lailla maksimaalisen arvonsa heti ensimmäisen vahauskerran jälkeen. Raskaasti karhennettu näytelevy puolestaan jatkaa melko tasaista nousuaan ainakin kolmen ensimmäisen vahauskerran ajan.

5.3.3 Värieromittaus

Punaisten näytelevyjen kohdalla kiinnostavin arvo on b-koordinaatti, joka ilmaisee punaisuutta.

Taulukko 1. Keskiarvot värikoordinaateista vaiheessa 3.

| | | Kevyt | | Raskas | |
|--------------------------------------|--|-----------|-------|-----------|-------|
| | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| <i>Pelkkä karhennus, ei vahausta</i> | | | | | |
| L | | 33,55 | 25,33 | 34,18 | 30,79 |
| a | | 26,65 | 35,61 | 26,62 | 29,92 |
| b | | 13,35 | 23,93 | 12,81 | 15,62 |
| <i>1 vahakerros</i> | | | | | |
| L | | 32,54 | 23,22 | 32,59 | 27,79 |
| a | | 27,78 | 38,74 | 28,06 | 33,17 |
| b | | 15,09 | 31,09 | 14,84 | 20,22 |
| <i>2 vahakerrosta</i> | | | | | |
| L | | 32,86 | 23,17 | 32,38 | 26,50 |
| a | | 27,46 | 38,82 | 28,12 | 34,58 |
| b | | 14,60 | 31,38 | 15,06 | 22,49 |
| <i>3 vahakerrosta</i> | | | | | |
| L | | 32,41 | 23,12 | 32,63 | 26,62 |
| a | | 28,07 | 39,09 | 27,97 | 34,54 |
| b | | 15,40 | 31,67 | 14,80 | 22,29 |

Taulukossa 1 on koottuna värimittausten keskiarvot kiillolla sekä ilman. Kevyesti karhennetun näytelevyn punaisuus nousee selvästi jo ensimmäisellä vahauksella. Sama tapahtuu myös raskaasti karhennetulla, mutta muutosta tapahtuu hieman myös toisellakin vahauksella punaisempaan päin. Erot tulevat selkeämmin näkyviin, kun peilikilto on poistettu mittauksista.

5.3.4 Kontaktikulma

Kontaktikulmat kasvoivat molemmilla levyillä merkittävästi ensimmäisten vahausten jälkeen eivätkä sen jälkeen enää juurikaan muuttuneet (Liite 3). Arvot olivat molemmilla levyillä hyvin samankaltaisia: molemmat muuttuivat hydrofiilisista hydrofobisiksi saavuttaen parhaimmillaan yli 96°:n arvot (kevyt 96,07° ja raskas 96,70°). Molempien levyjen kohdalla tapahtui myös pieni lasku toisen ja kolmannen vahauksen välillä.

5.4 Neljäs vaihe

Neljännessä vaiheessa kiinnostuksen kohteena oli, kuinka karhennetun, vahaamattoman levyn ominaisuudet muuttuivat erilaisten vahausten jälkeen eli millainen vaikutus erityyppisillä vahoilla oli. Käsillä levitettävää vaha levitettiin pinnalle 0,349 g. Kaksi muuta vaha levitettiin pipetoimalla, ja määrät olivat ilmalevitteiselle vahalle 0,325 g ja vesilevitteiselle 0,00373 g (liite 6). Arvot ovat teoreettisia maksimimääriä, sillä käsillä levitettävä ja ilmalevitteinen vaha sisältävät ohenninta, jonka tarkoitus on haihtua ennen kiillotusta tai sen aikana. Vesilevitteinen vaha puolestaan sisälsi 99 tilavuusprosenttia vettä, mikä osaltaan hankaloitti todellisten määrien arvioimista kuivumisen ja kiillotuksen jälkeen.

5.4.1 Pinnankarheus

Pinnankarheuden osalta muutokset olivat vaihtelevia. Laimentamattomilla vahoilla (käsillä levitettävä ja ilmalevitteinen) Ra-arvojen muutokset olivat kuitenkin selkeästi laskevia.

Taulukko 2. Pinnankarheusarvojen muutokset.

| | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <i>Käsillä levitettävä</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| erotus | -0,016 | -0,024 | -0,12 | 0,34 | 0,26 | 10,80 |
| %-muutos | -16,67 | -13,64 | -9,23 | 18,09 | 15,48 | 6,04 |
| | | | | | | |
| <i>Ilmalevitteinen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| erotus | -0,016 | -0,012 | 0,08 | -0,06 | 0,02 | -7,40 |
| %-muutos | -15,38 | -6,98 | 7,02 | -3,09 | 1,09 | -4,82 |
| | | | | | | |
| <i>Vesilevitteinen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| erotus | 0,004 | -0,024 | -0,32 | -0,58 | -0,28 | 74,80 |
| %-muutos | 3,57 | -12,00 | -20,51 | -21,97 | -12,17 | 65,61 |

Taulukossa 2 on esitetty karheusarvojen muutokset ennen ja jälkeen vahausten. Ylemissä sarakkeissa on tulosten erotus ja alemmassa sarakkeessa on laskettu prosentuaalinen muutos.

Vesilevitteisen vahan Ra-arvo on jopa noussut hieman. Muut arvot ovat kuitenkin selkeästi laskussa, jopa enemmän kuin kahdella muulla. Esimerkiksi Rt- ja Ry-arvojen kasvaminen tuntuu hieman oudolta ja selittyyneen ainoastaan vahan huonolla tasoittumisella tietyissä kohdissa. Myös ilmalevitteisen vahan Sm-arvon pieneneminen on poikkeavaa aikaisempiin mittauksiin verraten.

5.4.2 Kiilto

Kiilto-arvojen vertailussa ilmalevitteinen vaha sai aikaan suurimman prosentuaalisen muutoksen. Sen arvo kasvoi 61,9 yksiköstä 72,2:een. Käsin levitettävä ja vesilevitteinen vaha seurasivat n. 7 %:n nousuilla. Käsin levitettävän vahan lähtökiilto oli kuitenkin 8,9 kiiltoyksikköä vesilevitteistä korkeampi. Loput arvot löytyvät liitteestä 5.

5.4.3 Värieromittaus

Koska näytelevyt olivat mustia, eroja syntyi lähinnä L-koordinaatissa eli valoisuudessa. Suurimman muutoksen sai aikaan käsin levitettävä vaha, joka laski L-koordinaattia 6,99 yksiköllä (taulukko 3).

Taulukko 3. Väriarvojen muutokset vahatun ja vahaamattoman levyn välillä.

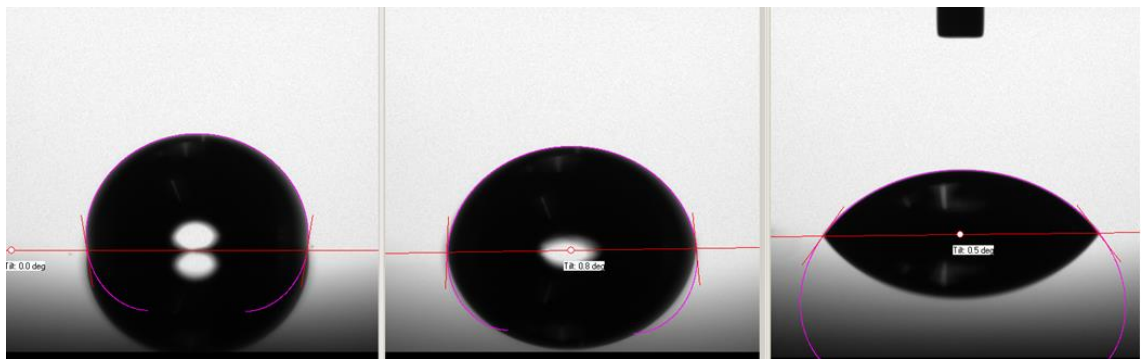
| | | kiillolla | ilman |
|--------------------------|---|-----------|-------|
| <i>Käsin levitettävä</i> | | | |
| | L | -1,68 | -6,99 |
| | a | 0,11 | 0,18 |
| | b | 0,85 | 1,65 |
| <i>Ilmalevitteinen</i> | | | |
| | L | -1,45 | -4,93 |
| | a | 0,13 | 0,19 |
| | b | 0,62 | 1,26 |
| <i>Vesilevitteinen</i> | | | |
| | L | -0,22 | -3,63 |
| | a | 0,07 | 0,04 |
| | b | 0,13 | 0,45 |

Ensimmäisessä vaiheessa vastaavan mustan levyn L-arvoksi mitattiin 0,52 (ilman kiiltoa), mikä on erittäin lähellä nollaa eli mustaa. Nyt esimerkiksi käsin levitettävän vahan

arvot olivat karhennuksen jälkeen 12,54 ja vahauksen jälkeen se putosi 5,55:een. Vahaus palautti siis jälleen väriarvoa takaisin kohti alkuperäistä arvoa. Kiillon kanssa mitatut arvot muuttuivat kaikilla näytteillä vähemmän, mutta vesilevitteisen vahan kohdalla se korostui.

5.4.4 Kontaktikulma

Käsin levitettävän vahan muutos oli jälleen suurin. Kontaktikulma kasvoi 67,49°:sta 99,23°:seen. Ilmalevitteisellä vahallakin kasvua tuli 12,56°. Vesilevitteisellä vahalla tapahtui puolestaan varsin merkittävä kontaktikulman pieneneminen: arvo putosi 71,88°:sta 54,71°:seen. Tämä johtuu vesilevitteisen vahan kemiallisista ominaisuuksista, jotka muokkaavat pinnasta hydrofiilisen, jolloin vesi poistuu pinnasta ns. sheeting efektin avulla sekä haihtumalla [34].



Kuva 25. Vahavertailun kontaktikulmakuvat vahausten jälkeen.

Kuten kuvasta 25 nähdään, käsin levitettävä vaha (oikealla) tuotti kaikkein hydrofobisimman pinnan, kun taas vesilevitteisen vahan pinnalle (vasemmalla) pisara levisi jo melko laakeaksi.

6 Johtopäätökset

Insinööriyössä tutkittiin pinnankarheuden sekä siihen aplikoidun vahakerroksen vaikutusta auton maalipinnan ominaisuuksiin. Työssä myös vertailtiin kolmea erilaista vahatyyppiä. Pinnankarheuden ja maalipinnan iän vaikutuksen osalta saatiin hyviä ja johdonmukaisia tuloksia. Pintaa karhennettaessa ja auton maalipinnan ollessa vanhempi Ra-

arvot kasvavat. Kiilto pienenee varsin lineaarisesti pintaa karhennettaessa. Ennakkoarvioista poiketen kontaktikulmat kasvoivat karhentamisen myötä, jopa varsin paljon. Labväriarvoissa muutokset kohdistuivat lähinnä kyseisen värin koordinaattiin, mutta suunta oli selkeä: karhentaminen hävittää maalipinnan ominaista väripigmenttiä ja vahaus taas palauttaa sitä. Karhentamiset tehtiin manuaalisesti, mikä osaltaan saattoi aiheuttaa hieman epätarkkuutta tuloksiin. Jos käytössä olisi ollut jokin koneellinen rasiutusmenetelmä, olisi karhennukset saatu vielä paremmin vakioitua, mutta kokonaisuudessaan karhennukset onnistuivat melko hyvin.

Vahatutkimuksissa havaittiin selkeästi, että vahaus kasvattaa kiiltoa heti kun pinta on hiemankin kulunut. Täysin uutta vastaavalla maalipinnalla vahauksesta ei ollut juurikaan merkitystä kiillolle. Useimmiten suurimmat muutokset ominaisuuksissa tapahtuivat jo ensimmäisen vahauksen jälkeen, mutta etenkin karkeammille pinnoille myös seuraavilla vahakerroksilla oli vaikutusta, pois lukien kontaktikulma jonka suurimmat arvot saavutettiin jo yhden vahaukserran jälkeen, joten jo yhdellä vahauksella on suuri merkitys pinnan hydrofobisuuteen. Vahakerrostesteissä vahaus vaikutti pinnankarheuteen laskevasti, eli pinta tasoittui vahakerrosten myötä. Vahavertailuissa tuli kuitenkin jonkin verran heittoa ja epäjohtonmukaisuutta tässä suhteessa. Mittauksissa liikuttiin useimmiten pinnankarheusmittarin mittaskaalan alarajoilla, mikä saattoi tehdä erojen havaitsemisesta vähän vaikeampaa.

Vahojen keskinäisessä vertailussa käsin levitettävä ja ilmalevitteinen erottuivat selkeästi edukseen verrattuna vesilevitteiseen vahaan. Vesilevitteinen vaha palautti kiiltoa yllättävänkin hyvin, mutta muilta osin tulokset jäivät kahta muuta selvästi heikommiksi. Vahan tasapuolinen levitys ja kiillotus olivat työssä yksi haasteellisimpia osia. Ensimmäistä vahausta tehtäessä levitetty määrä jäi melko paljon suuremmaksi kuin muissa tapauksissa johtuen siitä, ettei ollut tarkkaa tietoa, paljonko vaha olisi hyvä levittää. Myöhemmissä vahauksissa määrät vakioituivat melko hyvin. Levittäminen tehtiin käsin niin vakiolla tavalla kuin se vain oli mahdollista. Lopputulos kiillotuksen jälkeen näytti ainakin silmämääräisesti hyvältä, mutta toki tämänkin olisi voinut saada paremmin vakioitua jollakin koneellisella menetelmällä.

Kaiken kaikkiaan kokeet onnistuivat varsin hyvin ja työstä saatiin järkevää tietoa vahoista ja pinnankarheuden vaikutuksesta.

Lähteet

- 1 Sukunimi, Etunimi. 2015. Tekninen tuki, Alalla toimiva yritys, Sähköpostikeskustelu. 8.1.2016.
- 2 Pikaopas pinnankarheuden mittaukseen. Verkkodokumentti. <http://mitutoyo.fi/files/5814/2599/2605/Quick_Guide_to_Surface_Roughness_FI_WEB.pdf>. Luettu 1.2.2016.
- 3 Seubert, Christopher. 2012. An Overview of the Scratch Resistance of Automotive Coatings: Exterior Clearcoats and Polycarbonate Hardcoats. Ford Motor Company. Luettu 8.2.2016.
- 4 Understand your car paints material make of? Verkkodokumentti. <<http://www.ecoat.com.my/news/car-paints-material-make-of/>>. Luettu 15.2.2016.
- 5 Phosphating; Advanced Corrosion Protection. Verkkodokumentti. <<https://web.archive.org/web/20110716164906/http://www.surfacepretreatment.com/default.asp?id=2>>. Luettu 15.2.2016.
- 6 Heather Wansbrough. The Surface Coating of Car Bodies. Verkkodokumentti. <<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10F.pdf>>. Luettu 15.2.2016.
- 7 Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa I. 2003. Suomen Galvanotekninen yhdistys. Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi.
- 8 Silanization. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Silanization>>. Luettu 29.4.2016.
- 9 Electrophoretic deposition. Verkkodokumentti. <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrophoretic_deposition>. Luettu 15.2.2016.
- 10 Automotive paint. Verkkodokumentti. <https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_paint>. Luettu 17.2.2016.
- 11 Evans, Andrew. 50 Shades of “eh?” – car paint types explained. Verkkodokumentti. <<https://www.carwow.co.uk/guides/glossary/car-paint-types-guide>>. Luettu 17.2.2016.
- 12 Kuva helmiäismaalista. Verkkodokumentti. <<http://coolestcarpaint.com/pearllescent-car-paint-parts-best-tips-on-spraying-a-pearl-paint-for-your-car/>>. Luettu 17.2.2016.
- 13 1K Coating vs. 2K Coatings. Verkkodokumentti. <<http://www.eastwood.com/1k-coating-vs-2k-coatings>>. Luettu 17.2.2016.

- 14 T. A. Trezza, J. M. Krochta. 2000. Specular Reflection, Gloss, Roughness and Surface Heterogeneity of Biopolymer Coatings. 2001 John Wiley & Sons, Inc. Luettu 8.2.2016.
- 15 Makiko Yonehara. 2004. Experimental Relationships between Surface Roughness, Glossiness and Color of Chromatic Colored Metals. Verkkodokumentti. <<https://www.jim.or.jp/journal/e/pdf3/45/04/1027.pdf>>. Luettu 8.2.2016.
- 16 Gloss (optics). Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Gloss_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gloss_(optics))>. Luettu 2.3.2016.
- 17 Basic Theory of Physically-Based Rendering. Verkkodokumentti. <<https://www.marmoset.co/toolbag/learn/pbr-theory>>. Luettu 3.3.2016.
- 18 W. A. Zisman. 1964. Relation of the Equilibrium Contact Angle to Liquid and Solid Constitution. U. S. Naval Research Laboratory. Luettu 3.3.2016.
- 19 Kuva kontaktikulmasta. Verkkodokumentti. <<http://www.intechopen.com/source/html/43736/media/image3.jpeg>>. Luettu 3.3.2016.
- 20 Contact Angle. Verkkodokumentti. <http://membranes.edu.au/wiki/index.php/Contact_Angle>. Luettu 3.3.2016.
- 21 Wetting. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Wetting>>. Luettu 10.3.2016.
- 22 Ultrahydrophobicity. Verkkodokumentti. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrahydrophobicity>>. Luettu 29.4.2016.
- 23 Lesson: Superhydrophobicity - The Lotus Effect. Verkkodokumentti. <https://www.teachengineering.org/view_lesson.php?url=collection/duk_/lessons/duk_surfacetensionunit_lessons/duk_surfacetensionunit_lesson4.xml>. Luettu 10.3.2016.
- 24 Kostakos, John. 2013. Relation between Surface Roughness and Adhesion as studied with AFM. University of Twente. Luettu 21.3.2016.
- 25 Sukunimi, Etunimi. 2016. Tekninen tuki, Alalla toimiva yritys, Sähköpostikeskustelu. 27.4.2016.
- 26 Intermolecular Bonding – Van Der Waals Forces. Verkkodokumentti. <<http://www.chemguide.co.uk/atoms/bonding/vdw.html>>. Luettu. 22.3.2016.
- 27 Kuva Wan Der Waalsin voimasta. Verkkodokumentti. <<http://socratic.org/questions/how-does-the-size-of-a-molecule-affect-the-forces-of-attraction-between-molecule>>. Luettu 22.3.2016.

- 28 Mäntyvaara, Tanja. 2011. Refraktometrin prisman likaantuminen. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu. Diplomityö. Luettu 22.3.2016.
- 29 Surface Tension and Surface Energy. Verkkodokumentti. <<http://www.insula.com.au/physics/1279/L8.html>>. Luettu 31.3.2016.
- 30 Värisanasto. Verkkodokumentti. <<http://www.sarjakuvanteko.fi/wiki/index.php?title=V%C3%A4risanasto>>. Luettu 15.3.2016.
- 31 Äikäs, Veikko. 2012. Värin ja Kiillon mittaaminen. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Tutkimusraportti. Luettu 15.3.2016.
- 32 CIE-Lab Color Space. Verkkodokumentti. <<http://sheriffblathur.blogspot.fi/2013/07/cie-lab-color-space.html>>. Luettu 15.3.2016.
- 33 A Guide to Understanding Color Communication. 2007. X-Rite. Verkkodokumentti. <https://www.xrite.com/documents/literature/en/L10-001_Understand_Color_en.pdf>. Luettu 15.3.2016.
- 34 Sukunimi, Etunimi. 2016. Tekninen tuki, Alalla toimiva yritys, Sähköpostikeskustelu. 21.4.2016.

Ensimmäisen vaiheen mittaustulokset

| Pinnankarheusmittaukset | | (μm) | 5 mittausta | | | |
|-------------------------|------|-------------------|-------------|-----|-----|-----|
| Ennen karhennusta | | | | | | |
| <i>Punainen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,28 | 0,36 | 2,3 | 2,9 | 2,7 | 44 |
| | 0,34 | 0,44 | 2,4 | 2,8 | 2,8 | 55 |
| | 0,34 | 0,44 | 2,3 | 3,2 | 3,0 | 66 |
| | 0,28 | 0,38 | 2 | 2,5 | 2,3 | 45 |
| | 0,30 | 0,4 | 2,2 | 2,6 | 2,5 | 50 |
| <i>Sininen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,18 | 0,32 | 1,7 | 2,7 | 2,6 | 284 |
| | 0,14 | 0,26 | 1,5 | 4,2 | 4,2 | 322 |
| | 0,12 | 0,20 | 1,3 | 2,1 | 1,8 | 163 |
| | 0,12 | 0,18 | 1,2 | 2,3 | 2,0 | 162 |
| | 0,14 | 0,22 | 1,2 | 2,5 | 2,5 | 211 |

| | | | | | | |
|--------------|------|------|-------|-----|-----|-----|
| <i>Musta</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,14 | 0,26 | 0,7 | 2,0 | 2,0 | 709 |
| | 0,06 | 0,08 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 556 |
| | 0,08 | 0,12 | 0,4 | 0,7 | 0,7 | 722 |
| | 0,12 | 0,18 | 0,6 | 1,4 | 1,4 | 592 |
| | 0,08 | 0,12 | 0,6 | 2,0 | 1,5 | 653 |

| Karhennus 1 | | | | | | |
|-----------------|------|------|-------|-----|-----|-----|
| <i>Punainen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,42 | 0,56 | 3,2 | 3,5 | 3,4 | 46 |
| | 0,38 | 0,52 | 2,8 | 4,2 | 4,2 | 42 |
| | 0,44 | 0,60 | 3,4 | 4,6 | 4,6 | 47 |
| | 0,46 | 0,62 | 3,1 | 4,3 | 4,3 | 60 |
| | 0,50 | 0,66 | 3,4 | 4,1 | 4,0 | 46 |
| <i>Sininen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,20 | 0,30 | 1,8 | 2,8 | 2,6 | 160 |
| | 0,28 | 0,40 | 2,1 | 2,7 | 2,5 | 48 |
| | 0,26 | 0,38 | 2,2 | 3,3 | 3,3 | 92 |
| | 0,22 | 0,34 | 1,7 | 2,8 | 2,8 | 78 |
| | 0,20 | 0,30 | 2,1 | 2,7 | 2,6 | 65 |

| <i>Musta</i> | | | | | | |
|--------------|------|------|-------|-----|-----|-----|
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,12 | 0,22 | 1,8 | 2,6 | 2,4 | 105 |
| | 0,10 | 0,14 | 1,0 | 3,0 | 1,9 | 323 |
| | 0,14 | 0,22 | 1,4 | 2,5 | 2,0 | 212 |
| | 0,10 | 0,16 | 0,9 | 1,9 | 1,5 | 344 |
| | 0,14 | 0,22 | 1,3 | 2,3 | 2,1 | 325 |

| Karhennus 2 | | | | | | |
|-----------------|------|------|-------|-----|-----|----|
| <i>Punainen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,52 | 0,66 | 3,6 | 4,3 | 4,3 | 42 |
| | 0,50 | 0,66 | 3,7 | 4,6 | 4,4 | 55 |
| | 0,50 | 0,64 | 3,2 | 3,5 | 3,4 | 49 |
| | 0,54 | 0,68 | 3,5 | 4,4 | 4,4 | 52 |
| | 0,50 | 0,64 | 3,2 | 4,3 | 4,3 | 37 |
| <i>Sininen</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,50 | 0,64 | 3,2 | 4,1 | 3,5 | 52 |
| | 0,50 | 0,64 | 3,6 | 4,6 | 4,6 | 49 |
| | 0,52 | 0,64 | 3,2 | 3,9 | 3,8 | 56 |
| | 0,54 | 0,68 | 3,3 | 4,2 | 4,0 | 54 |
| | 0,52 | 0,66 | 3,1 | 3,7 | 3,4 | 62 |

| <i>Musta</i> | | | | | | |
|--------------|------|------|-------|-----|-----|----|
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,30 | 0,44 | 2,4 | 3,2 | 3,1 | 41 |
| | 0,38 | 0,54 | 3,0 | 4,4 | 4,4 | 41 |
| | 0,30 | 0,40 | 2,5 | 3,2 | 3,1 | 36 |
| | 0,32 | 0,46 | 2,3 | 2,9 | 2,7 | 44 |
| | 0,26 | 0,36 | 2,0 | 2,3 | 2,3 | 48 |

| Keskiarvot | | | | | | | |
|---------------------|--|-------|-------|-------|------|------|-----|
| | | | | | | | |
| Ennen karhennusta | | | | | | | |
| | | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| <i>Punainen</i> | | 0,308 | 0,404 | 2,24 | 2,80 | 2,66 | 52 |
| <i>Sininen</i> | | 0,140 | 0,236 | 1,38 | 2,76 | 2,62 | 228 |
| <i>Musta</i> | | 0,096 | 0,152 | 0,52 | 1,30 | 1,20 | 646 |
| | | | | | | | |
| Karhennus 1 (10+10) | | | | | | | |
| | | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| <i>Punainen</i> | | 0,440 | 0,592 | 3,18 | 4,14 | 4,10 | 48 |
| <i>Sininen</i> | | 0,232 | 0,344 | 1,98 | 2,86 | 2,76 | 89 |
| <i>Musta</i> | | 0,120 | 0,192 | 1,28 | 2,46 | 1,98 | 262 |
| | | | | | | | |
| Karhennus 2 (30+30) | | | | | | | |
| | | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| <i>Punainen</i> | | 0,512 | 0,656 | 3,44 | 4,22 | 4,16 | 47 |
| <i>Sininen</i> | | 0,516 | 0,652 | 3,28 | 4,10 | 3,86 | 55 |
| <i>Musta</i> | | 0,312 | 0,440 | 2,44 | 3,20 | 3,12 | 42 |

| Kiilto mittaukset | | (kiiltoyksikköä) | 5 mittausta, 60 ° | | | | | | |
|-------------------|-----|------------------|---------------------|-------|---------------------|-----|-------|--|--|
| Ennen karhennusta | | | Karhennus 1 (10+10) | | Karhennus 2 (30+30) | | | | |
| <i>Punainen</i> | | 14,6 | <i>Punainen</i> | 14,2 | <i>Punainen</i> | | 7,7 | | |
| | | 15,0 | | 10,8 | | | 8,4 | | |
| | | 14,5 | | 13,9 | | | 7,6 | | |
| | | 15,1 | | 13,1 | | | 8,9 | | |
| | | 15,0 | | 10,6 | | | 9,6 | | |
| | ka. | 14,84 | | 12,52 | | ka. | 8,44 | | |
| <i>Sininen</i> | | 61,5 | <i>Sininen</i> | 52,1 | <i>Sininen</i> | | 8,1 | | |
| | | 59,2 | | 49,0 | | | 8,6 | | |
| | | 61,0 | | 44,2 | | | 8,2 | | |
| | | 61,4 | | 51,9 | | | 11,2 | | |
| | | 59,2 | | 49,4 | | | 9,7 | | |
| | ka. | 60,46 | | 49,32 | | ka. | 9,16 | | |
| <i>Musta</i> | | 91,2 | <i>Musta</i> | 69,7 | <i>Musta</i> | | 15,3 | | |
| | | 91,2 | | 71,0 | | | 10,3 | | |
| | | 91,2 | | 76,0 | | | 17,2 | | |
| | | 90,9 | | 76,3 | | | 12,9 | | |
| | | 91,3 | | 70,8 | | | 14,1 | | |
| | ka. | 91,16 | | 72,76 | | ka. | 13,96 | | |

| Värimittaus | | 3 mittausta 10 °/D65 | | | | | | | |
|-------------------|---|----------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|--------------|
| Ennen karhennusta | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
| Punainen | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 38,50 | 38,08 | 38,30 | 38,04 | 38,52 | 38,09 | 38,44 | 38,07 |
| | a | 41,36 | 41,85 | 41,88 | 42,20 | 41,34 | 41,83 | 41,53 | 41,96 |
| | b | 22,37 | 22,60 | 22,84 | 22,93 | 22,43 | 22,67 | 22,55 | 22,73 |
| Sininen | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 33,36 | 25,59 | 32,91 | 25,11 | 33,39 | 26,00 | 33,22 | 25,57 |
| | a | -4,58 | -5,89 | -4,56 | -5,94 | -4,53 | -5,69 | -4,56 | -5,84 |
| | b | -7,23 | -9,43 | -7,27 | -9,54 | -7,08 | -9,16 | -7,19 | -9,38 |
| Musta | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 24,96 | 0,48 | 24,98 | 0,50 | 24,98 | 0,59 | 24,97 | 0,52 |
| | a | -0,04 | 0,24 | -0,01 | 0,30 | 0,00 | 0,24 | -0,02 | 0,26 |
| | b | -0,74 | 0,65 | -0,75 | 0,70 | -0,77 | 0,88 | -0,75 | 0,74 |

| Karhennus 1 (10+10) | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---------------------|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|--------------|
| Punainen | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 39,67 | 38,36 | 39,65 | 37,87 | 39,6 | 37,84 | 39,64 | 38,02 |
| | a | 38,08 | 39,57 | 38,79 | 40,84 | 38,36 | 40,41 | 38,41 | 40,27 |
| | b | 18,14 | 19,43 | 19,46 | 21,47 | 18,73 | 20,60 | 18,78 | 20,5 |
| Sininen | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 32,91 | 27,37 | 32,85 | 27,62 | 33,39 | 26,30 | 33,05 | 27,10 |
| | a | -4,30 | -5,06 | -4,22 | -4,83 | -4,46 | -5,58 | -4,33 | -5,16 |
| | b | -7,21 | -8,71 | -7,13 | -8,49 | -7,24 | -9,09 | -7,19 | -8,76 |
| Musta | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 24,74 | 7,16 | 24,62 | 8,15 | 24,62 | 8,43 | 24,66 | 7,91 |
| | a | -0,01 | -0,29 | -0,03 | -0,30 | -0,03 | -0,46 | -0,02 | -0,35 |
| | b | -0,75 | -0,08 | -0,75 | -0,20 | -0,78 | -0,46 | -0,76 | -0,25 |

| Karhennus 2 (30+30) | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
| <i>Punainen</i> | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 39,69 | 38,29 | 39,62 | 38,53 | 39,74 | 38,65 | 39,68 | 38,49 |
| | a | 37,96 | 39,53 | 37,85 | 39,08 | 38,62 | 39,85 | 38,14 | 39,49 |
| | b | 18,23 | 19,46 | 17,88 | 18,72 | 18,9 | 19,93 | 18,34 | 19,37 |
| | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
| <i>Sininen</i> | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 33,24 | 30,19 | 33,12 | 31,59 | 32,93 | 30,35 | 33,10 | 30,71 |
| | a | -3,87 | -4,06 | -3,6 | -3,62 | -3,76 | -3,91 | -3,74 | -3,86 |
| | b | -6,97 | -7,65 | -6,93 | -7,32 | -6,93 | -7,52 | -6,94 | -7,50 |
| | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
| <i>Musta</i> | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| | L | 24,91 | 20,66 | 24,96 | 20,80 | 25,24 | 22,41 | 25,04 | 21,29 |
| | a | -0,15 | -0,35 | -0,14 | -0,31 | -0,17 | -0,25 | -0,15 | -0,30 |
| | b | -1,22 | -1,52 | -1,13 | -1,41 | -1,27 | -1,62 | -1,21 | -1,52 |

| Kontaktikulma | | 2 mittaus, 5 min leviäminen | | (^) | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----------------------------|-----|---------------------|-----|---------------|-----|---------------------|-----|---------------|-----|--|--|
| Ennen karhennusta | | kaltevuus (°) | | Karhennus 1 (10+10) | | kaltevuus (°) | | Karhennus 2 (30+30) | | kaltevuus (°) | | | |
| <i>Punainen</i> | | 60,77 | 0,9 | <i>Punainen</i> | | 88,19 | 0,3 | <i>Punainen</i> | | 82,54 | 0,8 | | |
| | | 62,73 | 0,9 | | | 76,39 | 1,0 | | | 84,02 | 0,6 | | |
| | ka. | 61,75 | | | ka. | 82,29 | | | ka. | 83,28 | | | |
| <i>Sininen</i> | | 55,14 | 0,9 | <i>Sininen</i> | | 54,87 | 0,8 | <i>Sininen</i> | | 93,46 | 0,0 | | |
| | | 58,15 | 0,9 | | | 51,81 | 1,0 | | | 84,69 | 0,8 | | |
| | ka. | 56,645 | | | ka. | 53,34 | | | ka. | 89,075 | | | |
| <i>Musta</i> | | 67,29 | 0,9 | <i>Musta</i> | | 77,22 | 0,9 | <i>Musta</i> | | 85,47 | 0,7 | | |
| | | 70,39 | 0,9 | | | 75,79 | 0,9 | | | 95,99 | 0,0 | | |
| | ka. | 68,84 | | | ka. | 76,51 | | | ka. | 90,73 | | | |

Toisen vaiheen mittaustulokset

| Testi2: vahattu vs. tyhjä levy | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|--------|----------------|------------------|--|
| Pinnankarheus | | (µm) | | | | | | Kiilto | | (kiiltoyksikköä) | |
| Vahattu | | | | | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | Vahattu | | | | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 1157 | 92,0 | | | | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 596 | 92,4 | | | | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,3 | 0,8 | 0,7 | 1507 | 92,2 | | | | |
| | 0,04 | 0,06 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 1774 | 92,0 | | | | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 900 | 92,3 | | | | |
| ka. | 0,056 | 0,076 | 0,2 | 0,44 | 0,38 | 1187 | ka. | | 92,2 | | |
| Tyhjä | | | | | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | Tyhjä | | | | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 821 | 91,7 | | | | |
| | 0,08 | 0,08 | 0,2 | 0,5 | 0,5 | 957 | 92,1 | | | | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 1777 | 92,1 | | | | |
| | 0,08 | 0,1 | 0,3 | 1,0 | 1 | 803 | 92,2 | | | | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 1594 | 92,1 | | | | |
| ka. | 0,068 | 0,084 | 0,18 | 0,54 | 0,50 | 1190 | ka. | | 92,0 | | |
| Värimittaus | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Kontaktikulma | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Vahattu | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | | Vahattu | | |
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | 89,43 | 0,0 | |
| | | | | | | | | | 91,83 | 0,0 | |
| L | 33,54 | 21,66 | 33,49 | 21,66 | 33,57 | 21,77 | 33,53 | 21,70 | ka. 90,63 | | |
| a | 26,95 | 41,35 | 26,85 | 41,12 | 27,05 | 41,34 | 26,95 | 41,27 | | | |
| b | 13,80 | 36,64 | 13,67 | 36,08 | 13,90 | 36,42 | 13,79 | 36,38 | | | |
| Tyhjä | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | | Tyhjä | | |
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | 65,98 | 0,8 | |
| | | | | | | | | | 63,10 | 0,9 | |
| L | 33,54 | 21,81 | 33,67 | 21,86 | 33,58 | 21,63 | 33,60 | 21,77 | ka. 64,54 | | |
| a | 26,70 | 40,71 | 26,77 | 40,92 | 26,60 | 40,92 | 26,69 | 40,85 | | | |
| b | 13,44 | 35,14 | 13,52 | 35,81 | 13,38 | 35,94 | 13,45 | 35,63 | | | |

Kolmannen vaiheen mittaustulokset

| Vaihe 3: vahakerroksen paksuus: kevyt ja raskas karhennus | | | | | | | |
|---|-------------------|------|-------|-----|-----|-----|--|
| Pinnankarheus | (μm) | | | | | | |
| Pelkkä karhennus, ei vahausta | | | | | | | |
| <i>Kevyt (20+20)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,08 | 0,14 | 0,8 | 1,7 | 1,7 | 468 | |
| | 0,08 | 0,12 | 0,7 | 1,2 | 1,1 | 230 | |
| | 0,10 | 0,14 | 0,9 | 1,7 | 1,6 | 192 | |
| | 0,16 | 0,24 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 231 | |
| | 0,10 | 0,16 | 1,0 | 1,7 | 1,7 | 191 | |
| <i>Raskas (80+80)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,20 | 0,30 | 2,0 | 3,1 | 2,5 | 78 | |
| | 0,24 | 0,38 | 2,4 | 3,8 | 3,8 | 42 | |
| | 0,18 | 0,32 | 2,6 | 3,8 | 3,8 | 59 | |
| | 0,18 | 0,32 | 2,3 | 3,2 | 3,2 | 59 | |
| | 0,28 | 0,40 | 2,5 | 3,1 | 2,8 | 40 | |

| 1 vahakerros | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|-------|-----|-----|-----|--|
| <i>Kevyt (20+20)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,4 | 0,9 | 0,8 | 280 | |
| | 0,06 | 0,10 | 0,8 | 1,3 | 1,2 | 223 | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 343 | |
| | 0,06 | 0,10 | 0,6 | 1,6 | 1,5 | 459 | |
| | 0,06 | 0,10 | 0,8 | 1,6 | 1,6 | 262 | |
| <i>Raskas (80+80)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,20 | 0,32 | 2,1 | 2,5 | 2,4 | 95 | |
| | 0,16 | 0,26 | 1,7 | 2,1 | 2,0 | 77 | |
| | 0,18 | 0,30 | 2,1 | 2,6 | 2,4 | 49 | |
| | 0,14 | 0,24 | 1,6 | 2,3 | 2,1 | 72 | |
| | 0,16 | 0,28 | 2,3 | 2,9 | 2,7 | 59 | |

| 2 vahakerrosta | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|-------|-----|-----|-----|--|
| <i>Kevyt (20+20)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,06 | 0,12 | 0,7 | 1,4 | 1,3 | 404 | |
| | 0,06 | 0,10 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 521 | |
| | 0,06 | 0,10 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 467 | |
| | 0,08 | 0,20 | 1,0 | 1,8 | 1,7 | 185 | |
| | 0,08 | 0,18 | 0,6 | 2,2 | 2,2 | 456 | |
| <i>Raskas (80+80)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,20 | 0,32 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 58 | |
| | 0,10 | 0,20 | 1,4 | 2,3 | 2,2 | 66 | |
| | 0,20 | 0,30 | 2,0 | 2,8 | 2,2 | 44 | |
| | 0,14 | 0,26 | 2,2 | 3,3 | 3,1 | 69 | |
| | 0,14 | 0,22 | 1,7 | 2,4 | 2,2 | 69 | |

| 3 vahakerrosta | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|-------|-----|-----|-----|--|
| <i>Kevyt (20+20)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,06 | 0,12 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 382 | |
| | 0,06 | 0,10 | 0,4 | 0,8 | 0,7 | 563 | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,6 | 1,1 | 1,0 | 426 | |
| | 0,06 | 0,08 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 592 | |
| | 0,04 | 0,08 | 0,5 | 1,2 | 0,8 | 250 | |
| <i>Raskas (80+80)</i> | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | |
| | 0,10 | 0,18 | 1,2 | 1,5 | 1,4 | 92 | |
| | 0,16 | 0,28 | 1,7 | 2,2 | 2,0 | 64 | |
| | 0,20 | 0,30 | 1,9 | 2,4 | 2,3 | 43 | |
| | 0,12 | 0,18 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 53 | |
| | 0,18 | 0,30 | 2,2 | 2,9 | 2,7 | 73 | |

| Keskiarvot | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| <i>Kevyt (20+20)</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| 0 vahausta | 0,104 | 0,160 | 0,78 | 1,46 | 1,42 | 262 |
| 1 vahaus | 0,060 | 0,092 | 0,58 | 1,20 | 1,14 | 313 |
| 2 vahausta | 0,068 | 0,140 | 0,72 | 1,44 | 1,38 | 407 |
| 3 vahausta | 0,056 | 0,092 | 0,56 | 1,12 | 0,98 | 443 |
| <i>Raskas (80+80)</i> | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| 0 vahausta | 0,216 | 0,344 | 2,36 | 3,40 | 3,22 | 55,6 |
| 1 vahaus | 0,168 | 0,280 | 1,96 | 2,48 | 2,32 | 70,4 |
| 2 vahausta | 0,156 | 0,260 | 1,86 | 2,66 | 2,44 | 61,2 |
| 3 vahausta | 0,152 | 0,248 | 1,64 | 2,10 | 1,98 | 65,0 |

| Testi3, vahakerroksen paksuus: kevyt ja raskas karhennus | | | |
|--|-----------------------|--------------|-----------------------|
| Kiilto | (kiiltoyksikköä) | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Pelkkä karhennus, ei vahausta | | 1 vahakerros | |
| | <i>Kevyt (20+20)</i> | | <i>Kevyt (20+20)</i> |
| | | 70,8 | 84,6 |
| | | 75,0 | 82,8 |
| | | 72,1 | 82,3 |
| | | 72,0 | 84,6 |
| | | 73,1 | 82,8 |
| | ka. | 72,6 | ka. 83,4 |
| | | | |
| | | | |
| | <i>Raskas (80+80)</i> | | <i>Raskas (80+80)</i> |
| | | 41,5 | 51 |
| | | 47,0 | 47,2 |
| | | 48,4 | 48,3 |
| | | 45,7 | 46,0 |
| | | 48,5 | 50,4 |
| | ka. | 46,2 | ka. 48,6 |

| 2 vahakerrosta | | | | 3 vahakerrosta | | | |
|----------------|-----|--|------|----------------|-----|--|------|
| Kevyt (20+20) | | | | Kevyt (20+20) | | | |
| | | | 84,9 | | | | 84,8 |
| | | | 83,9 | | | | 82,6 |
| | | | 83,7 | | | | 82,6 |
| | | | 84,7 | | | | 85,0 |
| | | | 83,7 | | | | 83,0 |
| | ka. | | 84,2 | | ka. | | 83,6 |
| Raskas (80+80) | | | | Raskas (80+80) | | | |
| | | | 58,7 | | | | 61,4 |
| | | | 53,0 | | | | 57,9 |
| | | | 51,3 | | | | 56,5 |
| | | | 57,3 | | | | 55,9 |
| | | | 52,6 | | | | 60,4 |
| | ka. | | 54,6 | | ka. | | 58,4 |

Testi3, vahakerroksen paksuus: kevyt ja raskas karhennus

Värimittaus

Pelkkä karhennus, ei vahausta

Kevyt (20+20)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 33,58 | 25,60 | 33,57 | 26,01 | 33,51 | 24,37 | 33,55 | 25,33 |
| a | 26,52 | 35,10 | 26,65 | 34,78 | 26,77 | 36,96 | 26,65 | 35,61 |
| b | 13,23 | 22,97 | 13,36 | 22,40 | 13,47 | 26,43 | 13,35 | 23,93 |

Raskas (80+80)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 34,36 | 31,65 | 33,94 | 29,18 | 34,25 | 31,54 | 34,18 | 30,79 |
| a | 26,71 | 29,29 | 26,88 | 31,63 | 26,27 | 28,83 | 26,62 | 29,92 |
| b | 12,73 | 14,79 | 13,25 | 17,63 | 12,44 | 14,44 | 12,81 | 15,62 |

1 vahakerros

Kevyt (20+20)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 32,49 | 22,63 | 32,65 | 23,29 | 32,48 | 23,74 | 32,54 | 23,22 |
| a | 27,69 | 39,43 | 27,85 | 38,83 | 27,81 | 37,97 | 27,78 | 38,74 |
| b | 15,07 | 32,80 | 15,07 | 31,16 | 15,12 | 29,30 | 15,09 | 31,09 |

Raskas (80+80)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 32,44 | 28,09 | 32,75 | 28,18 | 32,57 | 27,10 | 32,59 | 27,79 |
| a | 28,08 | 32,68 | 28,01 | 32,81 | 28,10 | 34,03 | 28,06 | 33,17 |
| b | 14,91 | 19,63 | 14,69 | 19,62 | 14,91 | 21,42 | 14,84 | 20,22 |

2 vahakerrosta

Kevyt (20+20)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 32,82 | 23,43 | 32,97 | 23,21 | 32,79 | 22,87 | 32,86 | 23,17 |
| a | 27,50 | 38,42 | 27,48 | 38,94 | 27,40 | 39,09 | 27,46 | 38,82 |
| b | 14,64 | 30,48 | 14,58 | 31,51 | 14,59 | 32,14 | 14,60 | 31,38 |

Raskas (80+80)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 32,22 | 26,56 | 32,56 | 26,18 | 32,36 | 26,76 | 32,38 | 26,50 |
| a | 28,22 | 34,44 | 27,98 | 35,00 | 28,17 | 34,29 | 28,12 | 34,58 |
| b | 15,14 | 22,22 | 14,90 | 23,17 | 15,13 | 22,07 | 15,06 | 22,49 |

3 vahakerrosta

Kevyt (20+20)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 32,34 | 22,97 | 32,57 | 23,25 | 32,33 | 23,13 | 32,41 | 23,12 |
| a | 27,95 | 39,06 | 28,12 | 39,18 | 28,14 | 39,04 | 28,07 | 39,09 |
| b | 15,35 | 31,61 | 15,39 | 31,74 | 15,46 | 31,67 | 15,40 | 31,67 |

Raskas (80+80)

| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 32,64 | 26,81 | 32,60 | 25,81 | 32,65 | 27,25 | 32,63 | 26,62 |
| a | 27,67 | 33,97 | 27,98 | 35,51 | 28,26 | 34,14 | 27,97 | 34,54 |
| b | 14,57 | 21,56 | 14,83 | 23,89 | 15,01 | 21,43 | 14,80 | 22,29 |

| Testi3, vahakerroksen paksuus: kevyt ja raskas karhennus | | | |
|--|----------------|-----------------------|----------------|
| Kontaktikulma | | | |
| Pelkkä karhennus, ei vahausta | | 1 vahakerros | |
| <i>Kevyt (20+20)</i> | kaltevuus (°) | <i>Kevyt (20+20)</i> | kaltevuus (°) |
| | 68,15 0,8 | | 95,64 0,0 |
| | 68,62 0,8 | | 95,69 0,0 |
| ka. | 68,39 | ka. | 95,67 |
| <i>Raskas (80+80)</i> | kaltevuus (°) | <i>Raskas (80+80)</i> | kaltevuus (°) |
| | 71,94 1,0 | | 95,81 0,0 |
| | 67,23 0,9 | | 95,56 0,0 |
| ka. | 69,59 | ka. | 95,69 |

| | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| 2 vahakerrosta | | 3 vahakerrosta | |
| <i>Kevyt (20+20)</i> | kaltevuus (°) | <i>Kevyt (20+20)</i> | kaltevuus (°) |
| | 95,43 0,0 | | 94,65 0,0 |
| | 96,70 0,0 | | 94,14 0,0 |
| ka. | 96,07 | ka. | 94,40 |
| <i>Raskas (80+80)</i> | kaltevuus (°) | <i>Raskas (80+80)</i> | kaltevuus (°) |
| | 97,69 0,0 | | 92,35 0,0 |
| | 95,71 0,0 | | 92,61 0,0 |
| ka. | 96,70 | ka. | 92,48 |

Vahamäärät, kolmas vaihe

| Pintojen vahamäärät (g), kolmas vaihe | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|---|
| <i>Kevyt karhennus (20+20)</i> | | | | | | | |
| | Sieni, kuiva | Sieni, vahan kanssa | Sieni, levityksen jälkeen | Liina, kuiva | Liina, kiillotuksen jälkeen | Vahaa pinnalle | Vahamäärä/pinta-ala (g/cm ²) |
| vahaus 1 | 3,618 | 6,852 | 6,265 | 3,247 | 3,293 | 0,541 | 0,00481 |
| vahaus 2 | 3,863 | 6,820 | 6,536 | 2,45 | 2,495 | 0,239 | 0,00212 |
| vahaus 3 | 4,375 | 7,317 | 6,908 | 2,603 | 2,715 | 0,297 | 0,00264 |
| yhteensä (g) | | | | | | 1,077 | 0,00957 |
| <i>Raskas karhennus (80+80)</i> | | | | | | | |
| | Sieni, kuiva | Sieni, vahan kanssa | Sieni, levityksen jälkeen | Liina, kuiva | Liina, kiillotuksen jälkeen | Vahaa pinnalle | Vahamäärä/pinta-ala (g/cm ²) |
| vahaus 1 | 2,974 | 5,826 | 5,572 | 1,971 | 2,003 | 0,222 | 0,00197 |
| vahaus 2 | 2,699 | 5,652 | 5,36 | 2,377 | 2,433 | 0,236 | 0,00210 |
| vahaus 3 | 2,853 | 5,797 | 5,622 | 2,73 | 2,756 | 0,149 | 0,00132 |
| yhteensä (g) | | | | | | 0,607 | 0,00540 |
| | | Näytelevyn pinta-ala | | 112,5 cm ² | | | |

Neljännen vaiheen mittaustulokset

| Vaihe 4: vahavertailu | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| Pinnankarheus | | | | | | | | | | | | | |
| Karhennettu (20+20), ilman vahaa | | | | | | | Vahattuna | | | | | | |
| Käsin levitettävä | | | | | | | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,10 | 0,18 | 1,5 | 1,9 | 1,6 | 125 | | 0,10 | 0,16 | 1,1 | 2,2 | 1,9 | 230 |
| | 0,10 | 0,14 | 0,9 | 1,3 | 1,3 | 348 | | 0,08 | 0,18 | 1,3 | 3,0 | 2,8 | 157 |
| | 0,08 | 0,14 | 0,9 | 1,5 | 1,3 | 171 | | 0,06 | 0,10 | 0,6 | 0,9 | 0,8 | 223 |
| | 0,08 | 0,20 | 1,9 | 2,7 | 2,4 | 151 | | 0,08 | 0,16 | 1,4 | 2,5 | 1,9 | 169 |
| | 0,12 | 0,22 | 1,3 | 2,0 | 1,8 | 99 | | 0,08 | 0,16 | 1,5 | 2,5 | 2,3 | 169 |
| ka. | 0,096 | 0,176 | 1,3 | 1,9 | 1,7 | 179 | | 0,080 | 0,152 | 1,2 | 2,2 | 1,9 | 190 |
| Ilmalevitteinen | | | | | | | | | | | | | |
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,12 | 0,24 | 1,3 | 2,7 | 2,7 | 191 | | 0,08 | 0,14 | 1,0 | 1,6 | 1,6 | 163 |
| | 0,10 | 0,14 | 0,9 | 1,4 | 1,4 | 179 | | 0,10 | 0,14 | 0,9 | 1,5 | 1,5 | 176 |
| | 0,10 | 0,18 | 1,6 | 2,4 | 2,2 | 110 | | 0,10 | 0,18 | 1,6 | 2,2 | 2,2 | 94 |
| | 0,10 | 0,16 | 1,1 | 2,1 | 1,9 | 155 | | 0,08 | 0,16 | 1,2 | 1,9 | 1,8 | 151 |
| | 0,10 | 0,14 | 0,8 | 1,1 | 1,0 | 132 | | 0,08 | 0,18 | 1,4 | 2,2 | 2,2 | 146 |
| ka. | 0,104 | 0,172 | 1,1 | 1,9 | 1,8 | 153 | | 0,088 | 0,160 | 1,2 | 1,9 | 1,9 | 146 |

| Vesilevitteinen | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|--|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm | | Ra | Rq | RzDIN | Rt | Ry | Sm |
| | 0,10 | 0,18 | 1,5 | 3,0 | 2,3 | 137 | | 0,10 | 0,18 | 1,3 | 2,2 | 2,0 | 225 |
| | 0,14 | 0,26 | 1,8 | 3,0 | 2,3 | 150 | | 0,16 | 0,24 | 1,6 | 2,6 | 2,6 | 158 |
| | 0,12 | 0,20 | 1,3 | 2,1 | 2,0 | 115 | | 0,14 | 0,20 | 1,6 | 2,3 | 2,3 | 158 |
| | 0,10 | 0,20 | 1,8 | 2,5 | 2,3 | 75 | | 0,10 | 0,14 | 0,7 | 1,3 | 1,3 | 218 |
| | 0,10 | 0,16 | 1,4 | 2,6 | 2,6 | 93 | | 0,08 | 0,12 | 1,0 | 1,9 | 1,9 | 185 |
| ka. | 0,112 | 0,200 | 1,6 | 2,6 | 2,3 | 114 | | 0,116 | 0,176 | 1,2 | 2,1 | 2,0 | 189 |

| Testi 4: vahavertailu | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|--|------|--|--|--|-----------|--|--|------|----------|--|-------|
| Kiilto (kiiltoyksikköä) | | | | | | | | | | | | | |
| Karhennettu (20+20), ilman vahaa | | | | | | | Vahattuna | | | | | | |
| Käsin levitettävä | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 72,6 | | | | | | | 79,6 | | | |
| | | | 74,6 | | | | | | | 78,9 | | | |
| | | | 75,7 | | | | | | | 80,7 | | | |
| | | | 76,0 | | | | | | | 79,5 | | | |
| | | | 75,1 | | | | | | | 81,6 | erotus | | 5,3 |
| ka. | | | 74,8 | | | | ka. | | | 80,1 | muutos-% | | 7,03 |
| Ilmalevitteinen | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 64,1 | | | | | | | 73,8 | | | |
| | | | 60,9 | | | | | | | 67,2 | | | |
| | | | 55,5 | | | | | | | 76,3 | | | |
| | | | 63,8 | | | | | | | 71,5 | | | |
| | | | 65,2 | | | | | | | 72,1 | erotus | | 10,3 |
| ka. | | | 61,9 | | | | ka. | | | 72,2 | muutos-% | | 16,61 |

| Vesilevitteinen | | | | | | | | | |
|-----------------|------|--|--|--|--|------|--|----------|------|
| | 63,5 | | | | | 68,7 | | | |
| | 62,9 | | | | | 67,8 | | | |
| | 66,3 | | | | | 71,8 | | | |
| | 67,4 | | | | | 71,1 | | | |
| | 69,3 | | | | | 74,5 | | erotus | 4,9 |
| ka. | 65,9 | | | | | 70,8 | | muutos-% | 7,44 |

Testi 4: vahavertailu
Värimittaus

| Karhennettu (20+20), ilman vahaa | | | | | | | | Vahattuna | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-----------|--|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| Käsin levitettävä | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 24,59 | 12,82 | 25,73 | 11,35 | 24,74 | 13,45 | 25,02 | 12,54 | | 23,27 | 4,40 | 23,41 | 5,49 | 23,34 | 6,75 | 23,34 | 5,55 |
| a | -0,08 | -0,34 | -0,03 | -0,44 | -0,06 | -0,28 | -0,06 | -0,35 | | 0,07 | -0,21 | 0,04 | -0,13 | 0,06 | -0,19 | 0,06 | -0,18 |
| b | -0,96 | -1,38 | -0,90 | -0,99 | -0,93 | -1,27 | -0,93 | -1,21 | | -0,01 | 0,52 | -0,12 | 0,42 | -0,11 | 0,36 | -0,08 | 0,43 |

| Ilmalevitteinen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 24,87 | 14,67 | 24,72 | 11,50 | 24,63 | 14,43 | 24,74 | 13,53 | | 22,93 | 12,54 | 23,62 | 6,17 | 23,33 | 7,11 | 23,29 | 8,61 |
| a | -0,08 | -0,26 | -0,07 | -0,37 | -0,13 | -0,44 | -0,09 | -0,36 | | 0,02 | -0,18 | 0,04 | -0,07 | 0,04 | -0,26 | 0,03 | -0,17 |
| b | -0,96 | -1,03 | -0,88 | -0,83 | -0,98 | -0,90 | -0,94 | -0,92 | | -0,35 | -0,05 | -0,36 | 0,55 | -0,26 | 0,51 | -0,32 | 0,34 |

| Vesilevitteinen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | | | 1 | | 2 | | 3 | | ka. | |
| | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman | kiillolla | ilman |
| L | 24,66 | 15,86 | 24,43 | 13,28 | 24,02 | 13,82 | 24,37 | 14,32 | | 23,77 | 11,80 | 24,43 | 8,31 | 24,24 | 11,96 | 24,15 | 10,69 |
| a | -0,10 | -0,27 | -0,06 | -0,30 | -0,06 | -0,22 | -0,07 | -0,26 | | -0,01 | -0,24 | 0,01 | -0,22 | -0,02 | -0,22 | -0,01 | -0,23 |
| b | -0,94 | -0,95 | -0,81 | -0,94 | -0,86 | -0,79 | -0,87 | -0,89 | | -0,76 | -0,56 | -0,71 | -0,14 | -0,74 | -0,63 | -0,74 | -0,44 |

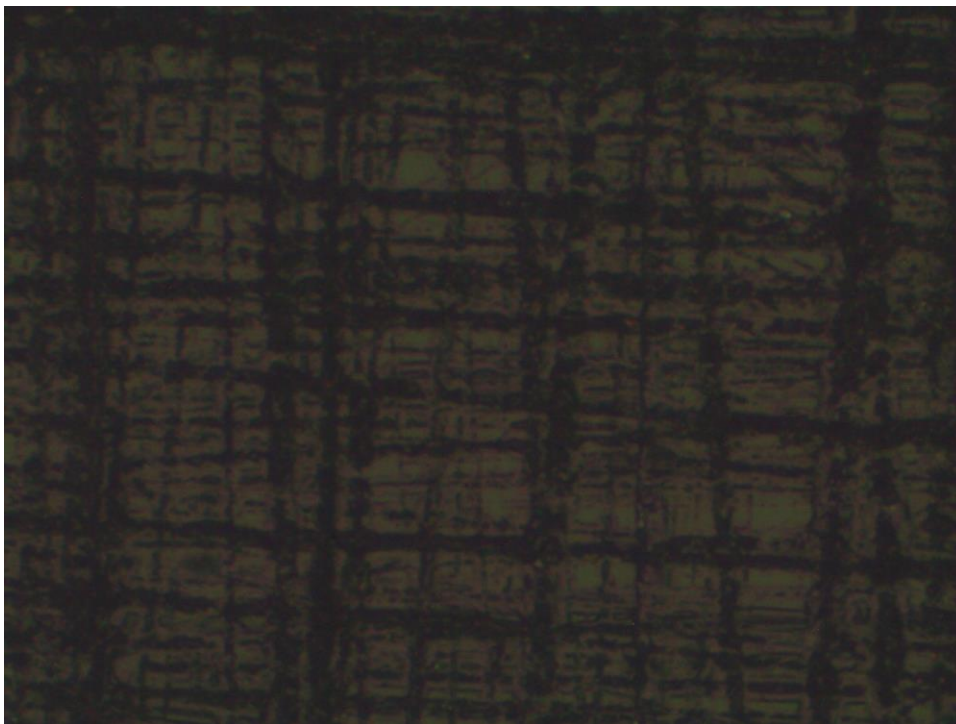
| Testi 4: vahavertailu | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|-----|-------|---------------|--|--|-----|-----------|--|-----|--|---------------|-------|----------|--|--------|
| Kontaktikulma (°) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Karhennettu (20+20), ilman vahaa | | | | | | | | Vahattuna | | | | | | | | |
| Käsin levitettävä | | | | kaltevuus (°) | | | | Käsivaha | | | | kaltevuus (°) | | | | |
| | | | 69,19 | | | | 0,9 | | | | | | 98,89 | | | 0,0 |
| | | | 65,79 | | | | 0,8 | | | | | | 99,56 | | | 0,0 |
| | | ka. | 67,49 | | | | | | | ka. | | | 99,23 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | erotus | | 31,74 |
| | | | | | | | | | | | | | | %-muutos | | 47,02 |
| Ilmalevitteinen | | | | kaltevuus (°) | | | | Ilmavaha | | | | kaltevuus (°) | | | | |
| | | | 74,13 | | | | 0,8 | | | | | | 85,82 | | | 0,8 |
| | | | 73,38 | | | | 0,9 | | | | | | 86,81 | | | 1,0 |
| | | ka. | 73,76 | | | | | | | ka. | | | 86,32 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | erotus | | 12,56 |
| | | | | | | | | | | | | | | %-muutos | | 17,03 |
| Vesilevitteinen | | | | kaltevuus (°) | | | | Vesivaha | | | | kaltevuus (°) | | | | |
| | | | 72,93 | | | | 0,8 | | | | | | 56,18 | | | 0,4 |
| | | | 70,82 | | | | 0,9 | | | | | | 53,24 | | | 0,5 |
| | | ka. | 71,88 | | | | | | | ka. | | | 54,71 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | erotus | | -17,17 |
| | | | | | | | | | | | | | | %-muutos | | -23,88 |

Vahamäärät, neljäs vaihe

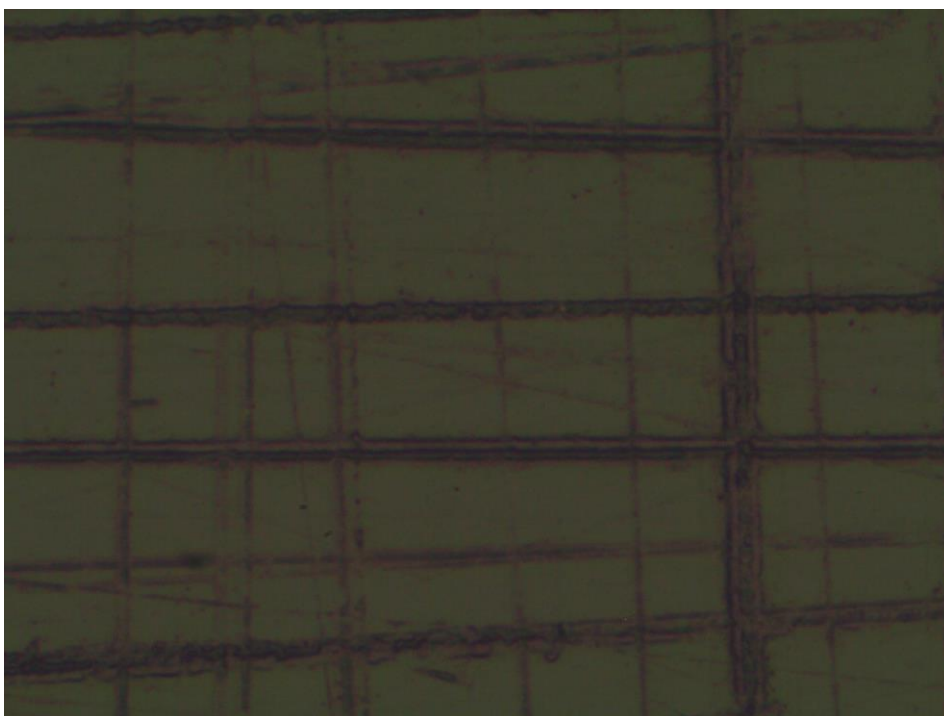
| Pintojen vahamäärät (g), neljäs vaihe | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------|---|
| <i>Käsin levitettävä</i> | | | | | | |
| Sieni, kuiva | Sieni, vahan kanssa | Sieni, levityksen jälkeen | Liina, kuiva | Liina, kiillotuksen jälkeen | Vahaa pinnalle | Vahamäärä/pinta-ala (g/cm ²) |
| 2,675 | 6,199 | 5,814 | 1,923 | 1,959 | 0,349 | 0,00206 |
| <i>Ilmalevitteinen</i> | | | | | | |
| | Levy, tyhjä | Levy, vaha levitetty | Liina, kuiva | Liina, kiillotuksen jälkeen | Vahaa pinnalle | Vahamäärä/pinta-ala (g/cm ²) |
| | 133,715 | 134,085 | 2,658 | 2,703 | 0,325 | 0,00192 |

| <i>Vesilevitteinen</i> | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|---|
| | Levy, tyhjä | Levy, vaha levitetty | Laimennus kerroin | Liina, kuiva | Liina, kiillotuksen jälkeen | Vahaa pinnalle | Vahamäärä/pinta-ala (g/cm ²) |
| | 131,727 | 132,118 | 0,01 | 2,820 | 2,838 | 0,00373 | 0,0000220 |
| | Näytelevyn pinta-ala | | | 169,5 cm ² | | | |

Käänteismikroskooppikuvat



Kuva 1. 30+30 – karhennettu musta, vahaamaton näytelevy.



Kuva 2. 20+20 – karhennettu musta, käsin levitettävällä vahattu näytelevy.