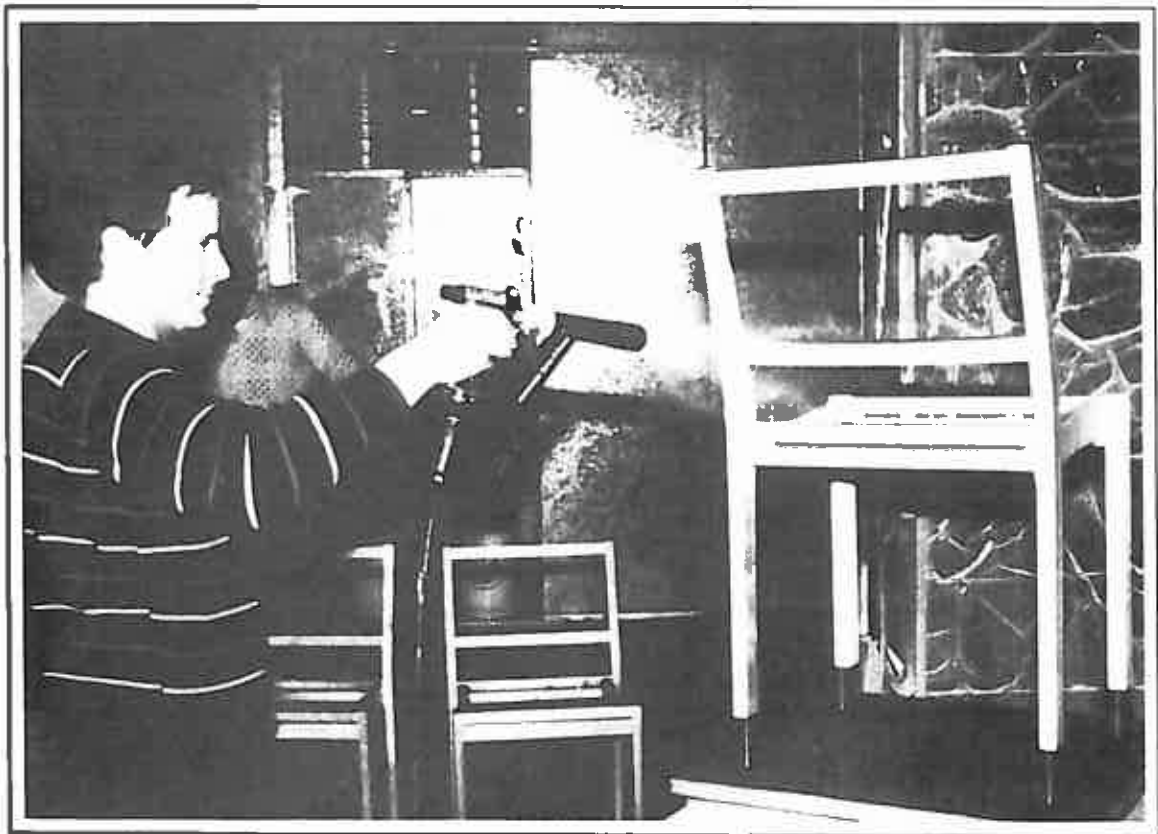


TUTKIMUKSIA
FORSKNINGSRAPPORTER 459
RESEARCH REPORTS

Saila Jämsä
Jaakko Muilu

Puun ja puulevyjen elektro- staattinen pintakäsittely



VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
STATENS TEKNISKA FORSKNINGSCENTRAL
TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND
ESPOO 1987



Puun ja puulevyjen elektro- staattinen pintakäsittely

Saila Jämsä
Jaakko Muilu
Puulaboratorio

ISBN 951-38-2741-0
ISSN 0358-5077
Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1987

JULKAISIJA - UTGIVARE - PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, 02150 Espoo
puh. vaihde (90) 4561, teleks 122972 vttha sf

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, 02150 Esbo
tel. växel (90) 4561, telex 122972 vttha sf

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, SF-02150 Espoo, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telex 122972 vttha sf

VTT, Puulaboratorio, Puumiehenkuja 2 A, 02150 Espoo
puh. vaihde (90) 4561

VTT, Trälaboratoriet, Träkarlsgränden 2 A, 02150 Esbo
tel. växel (90) 4561

VTT, Forest Products Laboratory, Puumiehenkuja 2 A, SF-02150 Espoo, Finland
phone internat. + 358 0 4561

JÄMSÄ, SAILA & MUILU, Jaakko. Puun ja puulevyjen elektrostaattinen pintakäsittely [Electrostatic coating of wood and wooden boards]. Espoo 1987. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia - Statens tekniska forskningscentral, Forskningsrapporter - Technical Research Centre of Finland, Research Reports 459. 91 s./p. + liitt. 12 s./app. 12 p.

UDK 621.795:674.04:667.634
691.11:624.011.1:674.81/.02
678.061:691.57

Keywords wood, electrostatic coating, wood panels, boards, paints, plywood, polyester resins, particle boards, surface finishing, weather resistance

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin puun elektrostaattista pintakäsittelyä liuos- ja jauhemaalilla.

Elektrostaattisessa menetelmässä sopivin puun kosteustaso on 8 - 10 %. Tätä kuivemman puun johtavuutta on parannettava joko kostuttamalla pintaa vedellä tai nostamalla työkentelytilan kosteutta. Ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla yli 50 %.

Elektrostaattisessa pohjalakkauksessa hyötysuhde oli 27 - 38 % (puun kosteus 8 %). Pintalakkauksessa hyötysuhde oli jonkin verran alhaisempi. Tuolien lakkauksessa oli hyötysuhde yli 30 %. Perinteisessä matalapaineruiskutuksessa se on 15 - 20 %. Elektrostaattisessa maalauksessa oli hyötysuhde parhaimmillaan 30 - 40 %. Ongelmallisia kohteita tekniikassa olivat kulmat ja syvennykset.

Jauhemaalitekniikassa oli varteenotettava kokonaisratkaisu polyesteripulverilla maalattu ja maalausohjapaperilla pinnoitettu vaneri. Tuotteen säänkestävyys oli hyvä, vaikakaan se ei yltänyt epoksi-pohjustetun ja polyuretaanilla maalatun vanerin tasolle.

Spaklatun lastulevyn jauhemaalaukseen soveltui epoksi-polyesteripulveri. Sen ominaisuudet olivat lähellä vertailutuotteen tasoa (uretaani-alkydimaali). Suurin este laajemmalle käytölle oli esteettinen. Tuotteen pinnassa oli kovettumistavasta (IR-kuumennus) johtuvia neulanpistoreikiä ja kraatereita.

JÄMSÄ, Saira & MUILU, Jaakko, Puun ja puulevyjen elektrostaattinen pintakasittely [Electrostatic coating of wood and wooden boards]. Espoo 1987. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia – Statens tekniska forskningscentral, Forskningsrapporter – Technical Research Centre of Finland, Research Reports 459. 91 s./p. + liitt. 12 s./app. 12 p.

UDC 621.795:674.04:667.634
691.11:624.011.1:674.81/.02
678.061:691.57

Keywords wood, electrostatic coating, wood panels, boards, paints, plywood, polyester resins, particle boards, surface finishing, weather resistance

ABSTRACT

The electrostatic coating of wood with solvent and powder paints was studied.

In electrostatic method the most suitable moisture level for wood is 8 - 10 %. The conductivity of drier wood has to be improved either by moistening the surface of the wood with water or by raising the moisture in the working environment. The relative humidity of air should be over 50 %.

In electrostatic priming the efficiency of priming varied from 27 to 38 % (wood moisture 8 %). In surface lacquering, the efficiency was somewhat lower. In chair lacquering the efficiency was 30 %. In traditional low pressure spraying it is 15 - 20 %. In electrostatic painting the efficiency was 30 - 40 % at best. The corners and recesses caused technical problems .

In powder paint technique a solution to be considered was plywood painted with polyester powder and coated with paint base paper. Its weather resistance was good although it did not reach the level of plywood primed with epoxy and painted with polyurethane,

Epoxy/polyester powder was suitable for the powder painting of filled particle board. Its properties were close to the level of the reference product (urethane-alkyd paint). The largest obstacle to more extensive use was aesthetic. Owing to the mode of hardening (IR-heating) the surface of the product had nail point holes and craters.

ALKUSANAT

Puutuotteiden elektrostaattinen pintakäsittely on yleisty-
mässä puusepän- ja huonekaluteollisuudessa. Siitä saadut
kokemukset ovat kuitenkin vaihtelevia. Menetelmää ei ilmei-
sestikään tunneta riittävän hyvin.

Tähän elektrostaattisen pintakäsittelymenetelmän perusteita
käsittelyvään tutkimukseen ovat VTT:n puulaboratorion li-
säksi osallistuneet Projecta Oy, Tikkurila Oy, Korhosen
huonekalutehdas ja Teknos-Maalit Oy (jauhemaalauus). Yhteis-
työkumppanien panos on ollut tietoa, tekemistä ja projektin
osarahoitusta.

Tekijät kiittävät kaikkia tutkimuksen onnistumiseen vaikut-
taneita. VTT:n puulaboratoriossa tutkimuksen käytännöllii-
sestä työstä vastasivat lähinnä tutkimusavustaja Pentti Ek
ja työtekniikko Rolf Wikström.

Espoo, syyskuu 1986

Saila Jämsä

Jaakko Muilu

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1 JOHDANTO	9
2 PUUN ELEKTROSTAATTISEN PINTAKÄSITTELYN PERUSTEET	10
2.1 Elektrostaattisen liuosmaalauksen periaate	10
2.2 Puun kosteus ja sähkönjohtavuus	12
2.3 Puun sähkönjohtokyvyn säätely	13
2.4 Maadoitus ja ripustaminen	14
2.5 Käyttökokemuksia elektrostaattisesta ruiskutuksesta	15
2.6 Elektrostaattisen jauhemaalauksen puu- levyille asettamat vaatimukset	17
2.6.1 Käytännön kokemuksia elektrostaattisesta jauhemaalauksesta	19
2.6.2 Elektrostaattisen jauhemaalauksen tulevaisuus	20
2.7 Elektrostaattisen menetelmän edut ja haitat	21
3 PUUN ELEKTROSTAATTINEN MAALAUUS	23
3.1 Pinnoitteet	23
3.1.1 Elektrostaattisen liuosmaalauksen pinnoitteet	23
3.1.2 Elektrostaattisen jauhemaalauksen pinnoitteet	24
3.2 Puun elektrostaattisen pintakäsittelyn laitteet	26
3.2.1 Elektrostaattisen liuosmaalauksen tekniikka	26
3.2.1.1 Pyörivä levy ja kupu	27
3.2.1.2 Elektrostaattiset ruisku- pistoolit	30

3.2.1.3	Liuosmaalauksen automati- sointi	31
3.2.2	Elektrostaattisen jauhemaalauksen tekniikka	32
4	KOKEELLINEN OSA - LIUOSMAALAUUS	34
4.1	Puun ominaisuuksien vaikutus	34
4.1.1	Kokeiden suoritus	34
4.1.2	Puun kosteuden vaikutus	38
4.1.3	Puun ja huoneilman kosteuden yhteis- vaikutus	42
4.1.4	Puun pintajohtavuuden lisääminen. Koekappaleiden kostutus vedellä ja suolaliuoksilla	45
4.2	Tuolien elektrostaattinen pintakäsittely	49
4.2.1	Kokeiden suoritus	50
4.2.2	Tulokset	50
4.3	Ikkunanpuitteiden elektrostaattinen pintakäsittely	56
4.3.1	Kokeiden suoritus	56
4.3.2	Tulokset	58
4.4	Yhteenveto kokeellisesta osasta	64
5	KOKEELLINEN OSA - JAUHEMAALAUUS	67
5.1	Jauhemaalauksen suoritus	68
5.2	Koetulokset	71
5.2.1	Koelevyjen testaus	71
5.2.2	Jauhemaalattujen levyjen pinnansileys, kiiltoarvo ja maalikerroksen paksuus	72
5.2.3	Pinnoitteiden halkeilu sääkoesyklissä sekä pinnoitteiden vedenläpäisy	74
5.2.4	Pinnoitteiden kulutuksenkestävyys ja kovuus	76
5.2.5	Pinnoitteiden naarmuuntuvuus ja tartunta	78
5.2.6	Jauhemaalattujen levyjen kemiallinen kestävyys	80
5.2.7	Jauhemaalattujen levyjen visuaalinen tarkastelu	81

5.2.8 Johtopäätökset koehavainnoista	84
6 PUUTUOTTEIDEN ELEKTROSTAATTINEN PINTAKÄSITTELY	
- JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	86
KIRJALLISUUSLUETTELO	90

1 JOHDANTO

Elektrostaattisen pintakäsittelytekniikan mahdollisuuksia ei ole riittävästi osattu hyödyntää, vaikkakin menetelmää käytetään jo jossain määrin suomalaisessa puuteollisuudessa. Osasyynä alan hitaaseen kehittymiseen on ollut tekniikan huonohko tuntemus. Käyttöön otossa on tullut takaiskuja, jotka ovat pahimmillaan johtaneet koko menetelmästä luopumiseen.

Usein kysymys on kuitenkin pelkästään siitä, että puun johtavuus (tai maadoitus) on hoidettu huonosti. Puuhan on itsessään eriste, joten se on tehtävä tavalla tai toisella riittävän johtavaksi elektrostaattista menetelmää varten.

Puuteollisuuden hankkiman kokemuksen mukaan elektrostaattika parantaa lakkauksen tai maalauksen hyötysuhdetta. Sen avulla voidaan myös vähentää pintakäsittelykertojen lukumäärää. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli etsiä elektrostaattisen menetelmän kannalta otollisia lakkaus- tai maalausolosuhteita.

Erityisen hyvin elektrostaattiseen pintakäsittelyyn soveltuvat vesiohenteiset lakat ja maalit. Toinen elektrostaattisen systeemin merkitystä korostava seikka on maalauksen ja lakkauksen automatisointi. Elektrostaatiikan erityispiirre eli pintakäsittelyaineen kulkeutuminen myös esineen takapinnoille korostuu maalausrobotitöskentelyssä.

Elektrostaattinen tekniikka lisää myös mahdollisuuksia suljettuihin maalauslinjoihin, joissa työskennellään täysin ilman ihmiskäden kosketusta. Tämä etu on merkittävä, mikäli joudutaan käyttämään liuotinpohjaisia (orgaanisiin liuottimiin pohjautuvia) pintakäsittelyaineita. Työsuojelulliset näkökohdat puoltavat suljettuja ratkaisuja. Lisäksi liuotinpohjaisten tuotteiden ominaisuudet ovat, ainakin vielä, parempia kuin vesiohenteisten.

Toisena tämän tutkimuksen kohteena oli puulevyjen elektros-
taattinen jauhemaalauus, jota on jo käytetty muutamissa
ulkomaisissa tuotantolaitoksissa. Suomessa ei käytetä teol-
lisuudessa puulevyjen jauhemaalauusta, vaikka tekninen val-
mius jauhemaalien ja myös puulevyjen osalta onkin olemassa.
Pääesteenä alan kehittymiselle on ko. tuotteiden mielek-
käden käyttökohteiden puuttuminen.

2 PUUN ELEKTROSTAATTISEN PINTAKÄSITTELYN PERUSTEET

Sovellettaessa elektrosstaattista menetelmää puun pintakä-
sittelyyn on sähkönjohtokyvyllä ratkaiseva merkitys. Puu on
huono johdin. Kuiva puukappale ei pysty toimimaan vastak-
kaisena napana. Puukappaleen ja ruiskutuslaitteen välille
ei synny sähkökenttää tai se jää liian heikoksi. Päällys-
tettävän puukappaleen pinta onkin tehtävä tavalla tai toi-
sella sähköä johtavaksi.

Seuraavissa kohdissa käsitellään tärkeimpiä puun elektros-
taattiseen pintakäsittelyyn vaikuttavia tekijöitä.

2.1 Elektrosstaattisen liuosmaalauksen periaate

Elektrosstaattisen pintakäsittelymenetelmän perustana on fy-
siikan laki, jonka mukaan samanmerkkiset varaukset hylkivät
toisiaan ja erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puo-
leensa.

Elektrosstaattisessa pintakäsittelymenetelmässä lakka tai
maali varautuu ruiskutuslaitteen suulakkeessa negatiivises-
ti. Varautuneet pinnoitepisarat kulkeutuvat kenttäviivoja
seuraten positiivisesti varattuun, maadoitettuun esinee-
seen.

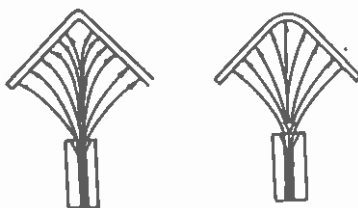
Jos voimakenttä on riittävän suuri, pinnoitehiukkaset kiin-
nittyvät myös esineen takapuolelle. Ilman voimakenttää ne

lentäisivät ohi ja pinnoiteliuos menisi hukkaan. Kiinnittyminen tapahtuu, mikäli pinnoitettava esine johtaa sähköä eikä pinnoitehiukkasten kineettinen energia ole suurempi kuin sähköinen vetovoima.

Syntyneen kentän voimakkuus riippuu jännitteen suuruudesta ja ruiskutuslaitteen ja kappaleen välisestä etäisyydestä. Jännite säädetään 60 - 100 kV:iin (Schäfer 1981). Jännitteen suuruus riippuu laitteen tyypistä, käsittelyn kohteena olevasta esineestä jne. Tosin toisissa tutkimuksissa on tuotu esiin näkökohtia, jotka puoltavat pienempiä jännite-tasoja. Hägglund ja Tell pitävät maksimiarvona 60 kV.

Kenttävoimakkuutta säädetään ruiskutusetäisyydellä. Mitä pienempi on etäisyys, sitä voimakkaampi on sähkökenttä. Laitteista riippuen sopivin ruiskutusetäisyys on 15 - 25 cm. Tätä pienempi ruiskutusetäisyys lisää ohiruiskutuksen määrää sekä aiheuttaa kipinöintivaaran.

Menetelmän ongelmallisia alueita ovat terävät kulmat ja raot, joihin voi muodostua sähköisesti neutraaleja alueita (niin kutsuttu Faradayn häkki-ilmiö). Kenttäviivat eivät ulotu syvennyksiin. Niihin ei tällöin mene maalia tai lakkaa. Toisaalta lähempänä ruiskutuslaitetta sijaitseville pinnoille muodostuu paksuhko kalvo. Esineen sopivalla muodolla voidaan Faradayn häkki-ilmiö välttää tai sen merkitystä vähentää. Esimerkiksi terävät kulmat voidaan pyöristää (Burckhardt 1983, Kuva 1).



Kuva 1. Esineen sopivalla muodolla saadaan kenttäviivat ulottumaan syvennyksiin.

2.2 Puun kosteus ja sähkönjohtavuus

Eristeiden sähkönjohtavuutta kuvataan yleensä niiden sähkönjohtavuuden käänteisarvon eli ominaisvastuksen (resistivisyys) avulla:

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = R \frac{A}{l}, \quad (1)$$

jossa

ρ	on ominaisvastus [Ωcm]
γ	johtavuus [$1/\Omega\text{cm}$]
R	resistanssi [Ω]
A	johtimen poikkipinta-ala [cm^2]
l	johtimen pituus [cm]

Uunikuivatun puun ominaisvastus on huoneen lämpötilassa $10^{15} - 10^{16} \Omega\text{m}$ (Spiller 1974). Ominaisvastus pienenee jyrkästi, kun kosteus kasvaa. Noin 7 %:n kosteuteen saakka on kosteuden ja ominaisvastuksen logaritmin välillä lineaarinen riippuvuus.

Lineaarisuuden katkeamisen aiheuttaa multimolekulaarisen vesikerroksen syntyminen soluseinän sisäpintaan. Sähkönjohtavuus siirtyy soluseinästä soluonteloihin ja sähkövirta etenee yhtenäistä vesikerrosta pitkin.

Myös puusyiden suunta vaikuttaa sähkönjohtavuuteen. Havupuilla on kohtisuoraan puusyitä vasten mitattu ominaisvastus 2,3 - 4,5 kertaa korkeampi kuin syiden suunnassa. Lehtipuilla se on 2,5 - 8,0 kertaa korkeampi (Kärkkäinen 1977). Tämä seikka voi aiheuttaa pinnoitteen epätasaista jakautumista.

Käytäntö on osoittanut, että puu pystyy johtamaan riittävästi sähköä, jos kosteus on 8 % (Jansson 1986). Myöhemmin kokeellisessa osassa esitetään, kuinka "kuivaa" puuta voidaan pinnoittaa elektrostaattisesti esimerkiksi kostuttamalla maadoituskohta vedellä. Puu elää kostuessaan ja kuivuuessaan. Tämän vuoksi elektrostaattisen menetelmänkään

yhteydessä ei voida sallia suuria kosteusmääriä. Sallittava maksimikosteus lienee noin 10 %.

Puulajien välisiä eroja sähkönjohtavuudessa on tutkittu vähän. Puulajista riippuva vastus on verrannollinen mm. tuhkapitoisuuteen ja ligniinipitoisuuteen (Kärkkäinen 1977). Sen sijaan puun tiheyden ja sähkövirran voimakkuuden välillä ei ole selvää yhteyttä. Ligniinipitoisuuden kasvaessa sähkönjohtavuus kasvaa. Kun ligniinipitoisuus kohoaa 20 %:sta 30 %:iin, lisääntyy sähkönjohtavuus kymmenkertaiseksi (Venkateswaran 1974).

Puun kosteuden jälkeen on lämpötila tärkein puun vastukseen vaikuttava tekijä. Lämpötilan kohoaminen pienentää ominaisvastusta. Alhaisissa kosteuksissa (kuiva puu) aleneminen on suurempaa kuin korkeissa kosteuksissa (Kärkkäinen 1977).

2.3 Puun sähkönjohtokyvyn säätely

Puun pinnan sähkönjohtavuutta voidaan parantaa kostuttamalla pintaa vedellä (vesihöyryllä) tai nostamalla ruiskutuskaapin ilman suhteellinen kosteus riittävän korkeaksi. Sopiva suhteellisen kosteuden (RH) taso on 50 - 70 % (Heberlein 1978).

Kaikki pinnoitteet eivät kuitenkaan sovellu käytettäväksi kostutetun puupinnan kanssa. Vesiohenteisten pinnoitteiden käytössä ei yleensä ole ongelmia, mutta jotkut öljypohjaiset pinnoitteet soveltuvat kostutetulle pinnalle huonosti.

Pinnan kostuttamisella on olennaista merkitystä vain pohjalakkauksessa. Pintalakkauksen tulosta vesikostutus voi jopa heikentää. Lisäksi kostutus muodostaa yhden hankalan lisätyövaiheen. Toisaalta jos pintalakkauksessa ei synny elektrostaattista kierto-ominaisuutta, synnä voi olla eristeenä toimiva pohjalakka. Tällaisessa tapauksessa vesikostutuksesta ennen pintalakkausta on ilmeisesti etua.

Puuteollisuudessa on havaittu, että happokovetteisella lakalla pohjustetut tuotteet on helppo pintalakata elektrostaattisesti muutaman vuorokauden sisällä, mutta kauan varastoitujen pohjalakattujen kappaleiden pintalakkaus on vaikeaa (Hägglund et al. 1986). Tämä johtunee kovettuneen pohjalakan puun sähkönjohtokykyä alentavasta vaikutuksesta.

Myös alhaalla kiehuvia orgaanisia liuottimia on käytetty pinnan kostuttamiseen. Kuitenkin puun eri alueet absorboivat liuotinta erilaisia määriä, mikä johtuu puun epähomogeenisuudesta. Kappaleen eri osiin syntyy erisuuruinen sähköinen varaus, mistä aiheutuu elektrostaattisessa ruiskutuksessa epätasainen pinnan laatu.

Puussa olevilla vesiliukoisilla elektrolyyteillä on huomattava vaikutus sähkönjohtavuuteen. Esimerkiksi NaCl-liuoksella (ruokasuola) kostuttaminen lisää puun johtavuutta, jos vertailukohtana on saman kosteuden omaava käsittelemätön puu. Myös puuhun lisätyt puunsuoja- tai palonestoaineet voivat koostumuksesta riippuen nostaa johtavuutta huomattavasti (Stamm 1964).

USA:ssa käytetään johtavuuden lisäämiseen yleisesti nk. Ransprep-kemikaalia, joka sisältää orgaanisiin liuottimiin liuotettua dodesyyli(trimetyyli)ammoniumkloridia (Venkateswaran 1977). Menetelmä ei ole yleistynyt Suomessa, koska se vaatii ylimääräisen työvaiheen.

2.4 Maadoitus ja ripustaminen

Puun huonon sähkönjohtavuuden vuoksi on koekappaleen maadoituksella tärkeä osuus elektrostaattisen pintakäsittelyn lopputulokselle. Pinnoitettaessa "kuivaa" puuta saadaan ainoastaan maadoituspisteisiin kunnon voimakenttä. Ruiskuttaminen aloitetaankin aina maadoituspisteistä. Maadoituskohdan kostuttaminen vedellä parantaa voimakenttää entisestään. Suuria esineitä sekä runsaasti liimaliitoksia sisäl-

täviä esineitä pinnoitettaessa on syytä käyttää useampia maadoituspisteitä (esimerkiksi tuoleista maadoitetaan jokainen jalka). Liimaliitosten vaikutusalue voi olla 1 - 2 cm. Tälle alueelle muodostuu yleensä tavallista ohuempi lakkakalvo.

Jos maadoitus tehdään ripustuskoukun kautta, on ripustimien kosketuspintojen oltava puhtaat. Ripustimet johtavat yleensä paremmin sähköä kuin puu, joten ne keräävät pinnoitetta. Ripustimien onkin oltava pieniä ja koukun mahdollisimman ohut. Ripustimessa ei myöskään saa olla puuosien kanssa samansuuntaisia pitkiä rakenteita. Ripustinta ei saa asettaa liian lähelle lakattavaa esinettä, koska se vaikuttaa kenttävoimakkuuteen heikentävästi.

2.5 Käyttökokemuksia elektrostaattisesta ruiskutuksesta

Elektrostaattinen lakkaus tai maalaus aloitetaan aina maadoituspisteistä, joiden on oltava puhtaita. Hyvän johtavuuden varmistamiseksi kostutetaan maadoituskohdat vedellä. Esineet, joissa on runsaasti liimaliitoksia, vaativat useita maadoituspisteitä.

Pinnoitettava kappale ruiskutetaan vinottain kahdesta suunnasta. Ruiskutus aloitetaan pinnoitettavan esineen takapuolelta. Etupuolelle voi muuten muodostua liian paksu lakka tai maalikerros sekä haitallisia valumia. Pyöreät esineet on lakattava kahdelta puolelta. Lakan tai maalin huonomeytyminen kulmiin voidaan välttää ruiskuttamalla kappaleet kahdesta suunnasta. Paras ruiskutussuunta on vinottain kulmaa päin.

Elektrostaattista ruiskupistoolia liikutetaan hitaammin kuin perinteistä ruiskupistoolia. Elektrostaattisen ruiskupistoolin etäisyys pinnoitettavasta esineestä on melko lyhyt. Puun ja pistoolin väliin ei muuten synny riittävän voimakasta sähkökenttää, jota seuraten lakka tai maali kulkisi pinnoitettavaan esineeseen. Optimietäisyys on yleensä noin 20 - 25 cm (Hägglund et al. 1986).

Jos ruiskupistooli viedään liian lähelle kohdetta, syntyy kipinävaara. Elektrostaattisissa ruiskupistoolleissa onkin suojaussysteemi, joka pudottaa jännitteen automaattisesti, jos pistooli joutuu liian lähelle esinettä.

Ruiskupistoolin valinnassa on huomioitava pinnoitettavan esineen muoto. Korkeapaineruiskupistoolilla pinnoite tunkeutuu paremmin koloihin, kulmiin ja syvennyksiin kuin matalapaineruiskupistoolilla. Korkeapaineruiskupistoolilla lakkapisaroiden lähtönopeus suuttimesta voi tulla niin suureksi, että hiukkaset lentävät lakattavan esineen ohi. Matalapaineruiskupistoolissa lakka hajoaa hyvin pieniksi hiukkasiksi. Tällöinkin lakkapisaroilla on suuri nopeus suuttimen suuaukolla, joka lisää ohiruiskutusta ja lakkasumun leviämistä ympäröivään tilaan.

Matalapaineruiskussa säädetään ruiskutuslaitteen hajotusil-
mamäärä mahdollisimman pieneksi. Jos lakkaa ei saada tun-
keutumaan syvennyksiin alennetaan jännitettä tai otetaan
elektrostatiikka pois päältä.

Korkeajännitelähteen jännitettä voidaan säätää 40 - 150
kV:iin. Liian korkea jännite yhdessä kuivan, huonosti säh-
köä johtavan puun kanssa aiheuttaa lakan kulkeutumisen itse
lakkaajaa kohti. Ruotsissa suositellaan käytettäväksi 30 -
50 kV:n jännitettä puun pintakäsittelyssä (Hägglund et al.
1986). Suomen puusepänteollisuudessa käytetään yleisesti 80
- 90 kV:n jännitettä.

Ruiskutuskaapin ilmannopeus säädetään elektrostaattisessa
pinnoituksessa alhaisemmaksi (0,3 m/s) kuin perinteisessä
ruiskumaalauksessa (0,4 m/s), sillä liian suuri ilmannopeus
aiheuttaa ohiruiskutusta ja lakan kierto-ominaisuuksien
huononemista (Hägglund et al. 1986).

Puun pintakosteuden tulisi elektrostaattisessa pintakäsit-
telyssä olla 8 - 10 %. Ellei kosteus ole tällä tasolla on

käytettävä erityistoimia sähkönjohtokyvyn parantamiseksi. Kostutuksella on yleensä merkitystä vain pohjalakkauksessa (Hägglund et al. 1986). Ympäröivän ilman kosteuden olisi oltava vähintään 50 %, jolloin ilman oma sähkönjohtavuus on jo riittävän korkea. Erityisesti talvella on huolehdittava riittävästä kosteudesta esimerkiksi käyttämällä kostuttimia. Kosteutta voidaan lisätä käsittelemällä puun pintaa ennen lakkausta esimerkiksi vesihöyryllä.

Puulaboratoriossa tehtiin elektrostaattisella ruiskumenetelmällä sinistymänsuoja-aineen levityskoe (Viitanen et al. 1986). Menetelmä lisäsi pienimolekyylisten polaaristen aineiden saantoa. Paras ruiskutussuunta oli 45^o kulma laudan pintaan nähden.

Parhaimmillaan suoja-aineen saanto oli peräti 60 - 80 %. Tällaisessa tapauksessa oli kuitenkin ruiskutusteknisten tekijöiden merkitys sähköstatiikkaa suurempi normaaliin ruiskutekniikkaan verrattuna. Sähköstatiikan omaa saantoa nostava vaikutus ylsi eräissä tapauksissa 30 - 50 %:iin.

2.6 Elektrostaattisen jauhemaalauksen puulevyille asettamat vaatimukset

Vaikka metallien jauhemaalauksella onkin jo kauan ollut suhteellisen laajaa ja laajenevaa, ei puulevyille ole tuotettu montakaan toimivaa jauhemaalaukselinjaa.

Jauhemaalauksessa pulveri verkkoutetaan yleensä lämmön avulla. Verkkouttamisvaiheessa lämpiää myös itse puulevy. Se puolestaan johtaa puun uute- ja pihka-aineiden lämpiämiseen. Pihkaisissa puulajeissa pihka voi verkkoutumisvaiheessa kiehua ja kulkeutua maalikerroksen läpi, jolloin tuote pilaantuu. Pintaan tulee neulanpistoreikiä ja kraateita.

Käyttökelpoisen jauhemaalaukselinjan ensimmäinen edellytys on oikein valitut puulevytyypit. Levymateriaali ei saa päästää

lävitseen pihkaa tms. Esimerkiksi koivupintainen vanerituote on parempi jauhemaalauksen alusta kuin havupuuvaneri. Jauhemaalikerrosta edeltävän tiiviin pohjustan tai kalvon käyttö (esim. maalaus pohjapaperi) on tehokas keino estää pihkan läpikäytymistä.

Muuten jauhemaalauksen asettaa puulevyille melko vähän vaatimuksia. Levyn pinnan on tietenkin oltava puhdas ja sen on oltava hyvä adheesioalusta. Levyn kosteuspitoisuuden on oltava elektrostaattiseen menetelmään sopivalla tasolla.

Pulverimaalien huomattavin etu on, että ne eivät sisällä lainkaan liuotainaineita. Sen vuoksi niiden varastointi on helppoa ja tuotteet ovat paloturvallisia. Lisäksi ohiruis-kutetun maalin talteenotto on helppo järjestää käytännöllisesti katsoen 100-prosenttisellä hyötysuhteella.

Puutuotteiden jauhemaalauksessa voidaan käyttää mm. epoksi-pulvereita sekä epoksin ja polyestereiden yhdistelmäpulvereita.

Metallipintojen päälle sulatetusta (verkkoutetusta) jauhemaalikerroksesta tulee tiivis ja sileäpintainen. Puulevyissä ei ilmeisestikään päästä nykyisillä pulverityypeillä (ja jauhatusasteilla) pinnanlaatuun, joka vastaa metallipintojen tasoa.

Ihanteellinen kerrospaksuus jauhemaaliosalta on noin 120 - 150 μm . Tätä paksummasta kerroksesta muodostuu elektrostaattisessa pulveriruiskutuksessa kenttä, joka pyrkii estämään uusien pulverihiukkasten kiinnittymisen kerrokseen.

Puulevyissä ihanteellisen, tasapaksuisen kentän muodostuminen on vaikeaa. Sähköfysiikkaa ei saada toimimaan puulevyn elektrostaattisessa pulverimaalauksessa riittävän hyvin. Myös puulevyn maadoittaminen on vaikeampaa kuin metallikapaleen. Tämäkin muodostaa esteen hyvälaatuiselle lopputulokselle.

Jauhemaalien kovettuminen ja verkkoutuminen tapahtuu 150 - 220 °C lämpötilassa. Näin korkeassa lämpötilassa tihkuvat puun uuteaineet muodostuvan maalikerroksen läpi. Kovettuneen jauhemaalikerroksen pinta jää epätasaiseksi. Ongelma on voitettavissa esipinnoittamalla puulevy oikein ennen jauhemaalausta.

2.6.1 Käytännön kokemuksia elektrostaattisesta jauhemaalauslausesta

Yksi kaupallinen linja on toteutettu Englannissa (Ford 1982). Valmistajan mukaan linjalla voidaan maalata monia puulevytyyppejä ja myös vähän uuteaineita sisältäviä puita.

Prosessissa on rajoitteena maalattujen tuotteiden kosteus. Puu ei toisin sanoen saa olla liian kuivaa. Toinen rajoitus on itse maalattava tuote. Se ei saa olla liian kapea tai pinta-alaltaan liian pieni.

Jauheen sulatus tapahtui keskiaaltoisella IR-kuumentajalla. Tummillä pinnoilla käytettiin 30 - 50 sekunnin ja vaaleilla 1 - 2 minuutin kuumennusaika.

Valmistajan mukaan kovettunut jauhemaalikalvo on kova, joustava ja omaa hyvän naarmutuskestävyyden. Pinnoitettua tuotetta on myös helppo sahata (Ford 1982).

Verycote LTD on selvittänyt lastulevyn elektrostaattista jauhemaalausta (Anon. 1980). Prosessi sopii parhaiten lastulevylle, jonka tiheys on korkea. Lastulevyt pinnoitettiin ennen jauhemaalausta UV-kovetteisella hartsilla, joka esti lämmön vaikutuksen itse lastulevyyn ja tarjosi hyvän alustan jauhemaalauslauselle.

Esihartsauksen jälkeen levy hiottiin. Tämä paransi jauhemaalain adheesiota ja mahdollisti tasaisen levityksen. Maa-

lin levitysmäärän minimi oli 60 g/m². Jauhemaali verkkou-
tettiin konventionaalisessa uunissa 150 °C:n lämpötilassa.
Kokeita on tehty hyvin tuloksin myös 180 °C:n lämpötilassa,
mikä ei olisi mahdollista ilman jauhemaalausta edeltävää
esipinnoitusta.

Maalityyppi, jonka kemiallisesta koostumuksesta ei kerrot-
tu, oli valmistajan mukaan joustava ja sillä oli hyvä is-
kunkestävyys. Sahausjälki oli terävä.

Tässä tapauksessa oli IR-aseman pituus 15 m. Laitoskustan-
nukset olivat korkeammat kuin konventionaalisella kuivauk-
sella varustetulla, happokovettuvaa maalia käyttävällä
maalaukselinjalla. Etuna taas oli valmistajan mukaan paljon
kovempi ja jäykempi pinnoite.

Myös materiaalikustannukset olivat kyseisessä tapauksessa
jonkin verran korkeammat kuin happokovettuvilla maaleilla.
Tämän vastapainoksi oli jauhemaalauslinjan kokonaisnopeus
suurempi kuin traditionaaliseen tekniikkaan perustuvan
linjan. Verkkoonnuttamisvaiheen kesto oli noin 75 sekuntia
(Anon. 1980).

2.6.2 Elektrostaattisen jauhemaalauksen tulevaisuus

Eri puolilla maailmaa tehdään työtä toimivan puulevyjen
jauhemaalausjärjestelmän luomiseksi. Yksi voitettu vaikeus
on puulevyistä maalin verkkoutumisvaiheessa tihkuvat ai-
neet. Ongelman helpoin, mutta suhteellisen kallis ratkaisu
on puulevyn asianmukainen pinnoitus ennen jauhemaalausta.

Vanerin kanssa voidaan käyttää esimerkiksi fenolihartsipin-
taisia maalaus pohjapapereita. Lastulevyille sopiva jauhema-
lauksen alusta on esimerkiksi alkydispaklaus.

Alustan lisäpinnoitus vähentää tietenkin jauhemaalauksen
taloudellista liikkumavaraa. Levyjen ulkokäyttö vaatii

kuitenkin useimmissa tapauksissa riittävän pinnoituksen, joten pohjapinnoitus ei ole tästä näkökulmasta merkittävä ongelma.

Maalattut vanerituotteet ovat ulkokäytössä tunnetusti suhteellisen halkeiluerkkiä. VTT:n puulaboratorion tutkimuksissa epoksipohjustetut ja polyuretaanimaalatut koivuvanerit ovat kestäneet ulkokokeessa hyvin (Muilu 1985). Raportointihetkellä koe oli kestänyt yli kaksi vuotta (123 viikkoa). Uusintatarkastus tehtiin, kun kokeen aloittamisesta oli kulunut neljä vuotta. Levyjen kunto oli tässä vaiheessa edelleen hyvä.

Toinen tuotekehittelyn alue, joka on edellistä vaativampi on itse jauhemaali. Jauheiden koostumus, partikkelikoko, sulatustapa jne. on kehitettävä kutakin käyttötarkoitusta varten sopivaksi. Hyvin vartenotettava kehityshaaste voisi olla esimerkiksi ulkokäyttöön soveltuvan puulevyn jauhemaausmenetelmän kehittäminen. Tällaisia levyn käyttökohteita voisivat olla esimerkiksi ulkoseinäverhoukset ja erilaiset kilpirakenteet.

2.7 Elektrostaattisen menetelmän edut ja haitat

Elektrostaattista ruiskutuspuistoliteknikkaa käytetään mm. tuolien ja ikkunapuiden pinnoittamiseen. Menetelmän etuja ovat:

- Ohiruiskutuksen pieneneminen.
- Ajan- ja työvoiman säästö: esimerkiksi tuoli voidaan ruiskuttaa kahdesta suunnasta entisen neljän suunnan sijasta, ruiskutuskaapin puhdistamistarve vähenee.
- Energiansäästö: ruiskutuskaapin imuilmannopeutta voidaan pienentää
- Automatisointi- ja työsuojelunäkökohtien huomioonottaminen helpottuu.

Elektrostaattisen ruiskutuksen haittoja ovat:

- Tarvitaan erikoispinnoitteita: Lakan leimahduspisteen on oltava korkea (yli 21 °C, palovaarallisuusluokka 2 A). Lakan on johdettava sähköä.
- Pinnoitteiden hinta on korkeampi kuin "perinteisten" lakkojen.
- Esineen on oltava sopivan muotoinen.
- Esineessä olevat metallit tms. keräävät pinnoitetta paremmin kuin puu. Tästä saattaa aiheutua haitallista valumista. Lakan on ts. oltava tikstrooppinen.
- Elektrostaattiset ruiskutuspuistoolit ovat usein raskautensa ja kokonsa puolesta vaikeammin käsiteltäviä kuin "perinteisten" menetelmien ruiskutuspuistoolit.

Puulevyjen elektrostaattisen jauhemaalauksen etuina on mm:

- Maalin 100-prosenttinen talteenotto on mahdollista.
- Maalien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ovat hyvät.
- Suuret kerrospaksuudet ovat mahdollisia (esim. 500 µm) (Anon. 1975b).
- Maalit ovat ympäristöystävällisiä ja paloturvallisia.
- Työvaiheiden kulku on nopeaa ja varmaa.
- Linjojen automatisointi on helppoa.
- Energiakustannukset ovat alhaiset.

Haittapuolia ovat mm:

- Verkkoontumislämpötilat ovat korkeita (väh. 130 °C, usein 160 - 180 °C ja jopa 220 °C).
- Kerrospaksuuden alaraja on 30 - 50 µm (Anon. 1975b).
- Eri värien rinnakkaiskäyttö on hankalaa.

3 PUUN ELEKTROSTAATTINEN MAALAUS

3.1 Pinnoitteet

3.1.1 Elektrostaattisen liuosmaalauksen pinnoitteet

Puun elektrostaattisessa pintakäsittelyssä käytetään vesi- ja liuotinhenteisiä maaleja ja lakkoja. Liuotinhenteiset tuotteet ovat usein happokovetteisia.

Elektrostaattisesti levitettävän pinnoitteen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat pisaroiden sähkönjohtavuus, suuruus, dielektrisyysvakio ja viskositeetti.

Lakan tai maalin sähkönjohtavuus (ominaisvastus, kohta 2.2) kuvaa parhaiten sen sopivuutta elektrostaattiseen levitykseen. Pinnoitepisaroihin vaikuttava sähkökenttä jakaa lakan tai maalin pinnoitesumuksi. Mitä pienempiä pinnoitepisarat ovat, sitä voimakkaampaa on lakka- tai maalisumun sähköinen varautuminen ja sitä parempi pinnoitekalvosta tulee. Maalin ohentaminen pienentää pisarakokoa.

Liuotinhenteisten maalien johtavuuden on oltava tietyn vähähimmäisrajan yläpuolella, koska läpilyönneistä aiheutuu palovaara. Johtavuutta säädellään sopivien polaaristen liuottimien avulla. Niitä ovat esimerkiksi esterit, alkoholit ja ketonit. Myös kovettajan määrä vaikuttaa lakan sähkönjohtavuuteen. Vesiohenteisten pinnoitteiden sähkönjohtavuus on hyvä ja ne ruiskutetaan tähän tarkoitukseen vartavasten suunnitellulla laitteistolla.

Pinnoitteiden sähkönjohtavuuden mittaukseen on käytössä useita erilaisia mittalaitteita. Mikroampeeri- tai resistanssimittaus antaa tulokseksi lukeman, joka on riippuvainen mittausantureiden muodoista. Eri mittareilla saadut arvot voivat poiketa toisistaan paljonkin. Resisttiivisyys ilmoittaa suoraan sähkönjohtavuuden käänteisarvon ja on riippumaton mittausantureiden muodosta (Fagerholm 1983).

Sähköisistä ominaisuuksista dipolimomentti ja dielektrisyysvakio kuvaavat maalin polaroitumiskykyä. Jotta pinnoitehiukkaset voivat seurata sähkökentän voimaviivoja, on niiden oltava polaarisia. Heikosti polaariset hiukkaset saattavat olla massaansa nähden liian kookkaita, jolloin kenttävoimat eivät pysty kuljettamaan varautunutta hiukasta päällystettävän esineen pinnalle.

Pinnoitteen hajoaminen pieniksi pisaroiksi aiheuttaa yhdessä ilmanvastuksen kanssa liuotinaineiden huomattavaa haihtumista. Pinnoitepisaroiden tulee olla tarpeeksi kosteita (lakkapisarassa riittävästi liuotinta), jotta pinnoite ei kuivuisi ennen esineen pintaa ja jotta muodostuisi homogeeninen kalvo. Pinnoitteeseen lisätäänkin hitaasti haihtuvia liuotin- ja ohennuskomponentteja, vaikka ne pidentävätkin kuivumisaikaa.

3.1.2 Elektrostaattisen jauhemaalauksen pinnoitteet

Jauhemaalauksella on metalliteollisuuden tuntema korkealaatuisten tuotteiden maalaustapa. Hyvän pinnanlaadun lisäksi jauhemaaleille on tyypillistä hyvä säänkestävyys.

Puulevyjen jauhemaalauksella on vielä lähinnä kokeilun asteella. Ideat ja suuntaviivat siihen ovat tulleet ja tulevat metallien jauhemaalauksesta.

Jauhemaaleja valmistetaan sekä kerta- että kestopuoveista. Tässä yleisesti käytettyjä kestopuoveja ovat:

- epoksi,
- akrylaatti,
- polyesteri,
- polyuretaanimuovit.

Kestomuoveista käytetään mm:

- polyamidia,

- polyeteeniä,
- polyvinyleenikloridimuoveja.

Euroopassa käytetään jauhemaalauksessa yleensä kertamuoveja. Niitä käytetään puhtaina tai modifioituina tuotteina. Tunnettuja ovat esimerkiksi epoksihartsin ja polyesterien kopolymeraatit.

Myös puulevyjen elektrostaattisessa jauhemaalauksessa käytetään pääasiassa kertamuoveja. Polyesteripohjaiset jauhemaalit omaavat hyvät mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet ja niiden säänkestävyys on hyvä. Puulevyjen jauhemaalauksessa käytetään myös epoksijauhemaaleja tai sen sekapolymeereja, joiden säänkestävyys on myöskin hyvä.

Näiden ja eräiden muiden jauhemaalien ominaisuuksia on käsitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Jauhemaalien mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia (Anon. 1975a).

Ominaisuus	Epoksiharts	Akryyli	Polyesteri	PVC	Polyeteeni
Tarttuvuus	3 ⁽¹⁾	3	2	0	0
Kulutuskestävyys	3	2	2	3	1
Iskunkestävyys	3	2	2	3	1
Pinnan kovuus	3	3	3	1	1
Vedenkestävyys	3	2	2	3	3
Haponkestävyys	2	2	2	2	3
Alkaliinkestävyys	3	2	2	3	2
Mineraaliöljyjenkestävyys	3	3	3	1	0
Säänkestävyys	0 ⁽²⁾	3	3	3	0 ⁽³⁾

- Huom: 1) 0 = huono, 1 = tyydyttävä, 2 = hyvä,
3 = erittäin hyvä.
2) koskee liituuntumista.
3) koskee hajoamista.

Jauhemaalauksen varsinaisella käyttöalueella, metallien pulverimaalauksessa, kehitys kulkee kahteen suuntaan. Ensimmäkin pyritään lyhentämään verkkoonuttamisaikaa ja toisaalta on kehitetty maalaustapoja, jotka perustuvat tavanomaisen tai elektrostaattisen maalauksen ja jauhemaalauksen yhdistelmiin. Näistä kehityssuunnista puulevyille soveltuu lähinnä verkkoonuttamisajan lyhentäminen, koska se vähentää pinnan lämpiämistä.

Jauhemaaleilla on useita merkittäviä etuja liuosmaaleihin verrattuna, joita (kuten myös haittapuolia) käsiteltiin kohdassa 2.7.

Puulevyjen jauhemaalauksessa korostuu negatiivisten puolien merkitys. Hankala asia on ennen kaikkea verkkoontumislämpötilojen korkeus (väh. 130 °C). Ongelmat ovat silti hallittavissa, kuten myöhemmässä kokeellisessa osassa voidaan havaita.

3.2 Puun elektrostaattisen pintakäsittelyn laitteet

3.2.1 Elektrostaattisen liuosmaalauksen tekniikka

Lakan tai maalin hajoitukseen varautumisen ja sähkökentässä kulkeutumisen perusteella erotetaan eri menetelmiä.

Useimmissa elektrostaattiseen pintakäsittelyyn käytettävissä laitteissa on "terävä" reuna tai "terävä" johdinelektrodi, joka keskittää kenttäviivat kohti vastakkaisnapaista pinnoitettavaa esinettä. Lakka tai maali hajoaa sumuksi ja saa negatiivisen varauksen, jolloin se kulkeutuu kenttäviivoja pitkin positiivisesti varattuun maadoitettuun esineeseen. Lakka tai maali voidaan hajottaa tietenkin myös mekaanisesti ennen kuin se tuodaan sähkökentän vaikutukseen.

Seuraavissa kappaleissa on esitelty yleisesti puun elektrostaattisessa pintakäsittelyssä käytettäviä laitteita (Jämsä et al. 1983).

3.2.1.1 Pyörivä levy ja kupu

Eräs vanhimmista automaattisista ruiskutuslaitteista on ruiskutuslevy (kuva 2). Laitteessa muodostuu sähkökenttä teräväreunaisen pyörivän levyn ja maadoitetun kappaleen välille. Levy pyörii vaakasuorassa asennossa ja sitä voidaan liikuttaa akselin suunnassa ylös- ja alaspäin.

Esineiden kuljetushihna on omeganmuotoisesti ruiskutuslevyn ympärillä. Näin pystytään hyödyntämään ruiskutuslevyn pyörimisen aikaansaama säteittäinen pinnoitesumu tarkasti. Samalla kappaleen ja ruiskutuslevyn välisestä sähkökentästä muodostuu riittävän tiheä. Lisäksi pinnoitettavat kappaleet voidaan panna pyörimään ympäri, jolloin koko kappale voidaan pinnoittaa yhdessä työvaiheessa.

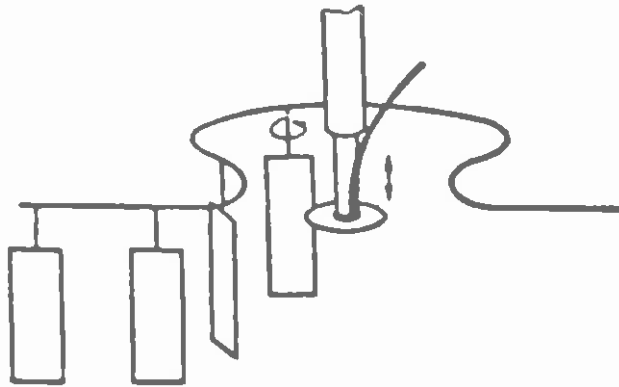
Ruiskutuslevytekniikassa maali tai lakka pumpataan pyörivän levyn keskusta. Pinnoite kulkeutuu keskipakoisvoimien avulla levyn reunalle, missä se hajoaa elektrostaattisten voimien vaikutuksesta hiukkasiksi ja varautuu sähköstaattisesti. Pinnoitteen hajoamiseen vaikuttavat pintajännitys ja levyn kulmanopeus. Ruiskutuslevyllä voidaan ruiskuttaa sekä yksi- että kaksikomponenttipinnoitteita. Jälkimmäisessä tapauksessa voidaan molemmat komponentit johtaa levylle samanaikaisesti (toinen levyn ylä-, toinen alapuolelta) niin, että sekoittuminen tapahtuu vasta levyllä.

Levyn koko on 70 - 250 mm. Pyörimisnopeus on noin 5000 kierrosta minuutissa alhaisen pyörimisnopeuden laitteissa. Korkean pyörimisnopeuden laitteissa se on noin 40000 kierrosta minuutissa.

Alhaisen pyörimisnopeuden laitteissa on lakan virtausnopeus noin 0,6 l/min. Korkean pyörimisnopeuden laitteissa se on

noin kaksi kertaa suurempi. Virtausnopeus sovitetaan pinnoitettavien kappaleiden määrän ja kuljettimen nopeuden mukaan.

Menetelmän käyttöä rajoittaa omeganmuotoinen kuljetusrata. Se rajoittaa pinnoitettavien kappaleiden kokoa ja muotoa. Lisäksi kyseessä on verraten kallis investointi. Menetelmää käytetään tuolien ja ikkunanpuitteiden elektrostaattisessa pinnoituksessa. Suomessa ei tällaista linjaa ole käytössä.



Kuva 2. Ruiskutuslevyä kiertävä omeganmuotoinen kuljetushihna.

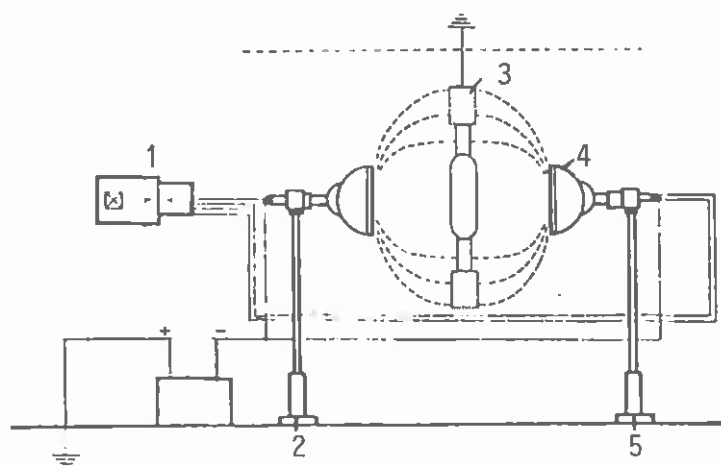
Toinen ruiskutuslaite on niin kutsuttu kupu (kuva 3). Tämän elektrostaattisen ruiskutussysteemin perusosana on teräväreunainen kuvunmuotoinen metallinen pyörimiskappale. Maali pumpataan kuvulle, josta se joutuu pyörimisen vaikutuksesta kuvun reunalle. Reunalla pinnoite hajoaa elektrostaattisessa kentässä ja pinnoitehiukkaset siirtyvät kenttäviivoja pitkin esineeseen. Pinnoitepisaroiden kokoon vaikuttavat kuvun pyörimisnopeus ja pinnoitteen pintajännitys.

Tässä menetelmässä esineet kulkevat suoraa kuljetushihnaa pitkin kuvun ohi. Hitaasti pyörivän kuvun pyörimisnopeus on 1000 - 6000 kierrosta minuutissa. Menetelmässä lakka ei hajoa kovin hienoksi. Niinpä pinnoitustulos saattaa jäädäkin heikoksi.

Nopeasti pyörivän kuvun pyörimisnopeus on (pienemmillä kuvuilla, lämpimillä 50 - 70 mm) noin 15000 - 60000 kierrosta minuutissa (Burckhardt 1983).

Nopeasti pyörivissä kuvuissa voidaan ruiskutuspinna-ala kaventaa ilmaohjauksen avulla. Ohjainilma puristuu ulos kuvun takaosan pienistä reistä. Suuri ilmamäärä lisää kuitenkin lakan kulutusta, koska lakkapartikkelien nopeus kasvaa. Tästä aiheutuu ohiruiskutusta. Samalla liuottimen haihtuminen lisääntyy (Hägglund et al. 1986).

Menetelmän etuna on lakan jakautuminen hienoksi korkean kierrosnopeuden ansiosta. Menetelmä sopii erikoisille esineille. Hyvän lopputuloksen saamiseksi täytyy ruiskutuksessa käyttää useampaa kupua.



1. Pinnoitteen annostelupumppu
2. Korkeajännitelähde
3. Pinnoitettava puukappale
4. Kupu
5. Eristetty kiinnitysstativi

Kuva 3. Pyörivä kupu.

3.2.1.2 Elektrostaattiset ruiskupistoolit

Elektrostaattisessa matalapaineruiskutusmenetelmässä on yhdistetty elektrostaattinen hajotus ja paineilma. Matalapaineruiskupistoolissa pinnoite varautuu sähköisesti joko pistoolin sisällä ennen hajotusta tai pistoolin ulkopuolelle asennetun elektrodin vaikutuksesta.

Elektrostaattisia matalapaineruiskupistooloja käytetään esimerkiksi tuolien pintakäsittelyssä. Menetelmän etuna on lakan hyvä hajoaminen. Ruiskutuspuoleen suuruutta ja muotoa voidaan säädellä suuttimien avulla. Menetelmän haittapuoleena on lakkapisaroiden suuri nopeus suuttimen suuaukolla. Tällöin lakkapisaroiden ja paineilman yhteisvaikutus on merkittävämpi tekijä kuin sähköinen voimakenttä, jolloin lakkaa menee esineen ohi ja leviää ruiskutussumuna ympäristöön. Hajotusilma voi myös estää lakan tunkeutumisen koloihin ja syvennyksiin.

Elektrostaattisessa korkeapaineruiskutuspuoleissa pinnoite hajoitetaan korkealla paineella (paine 100 - 250 bar). Pinnoitehiukkaset varautuvat pistoolin suulakkeessa olevan elektrodin vaikutuksesta tai niiden kulkiessa pistoolin läpi. Korkeapainetekniikassa pinnoitehiukkaset pystyvät tunkeutumaan paremmin kulmiin ja syvennyksiin kuin matalapainemenetelmässä. Pinnoitehiukkasten nopeus voi kuitenkin olla niin suuri, että ohiruiskutusta tapahtuu.

Airmix-menetelmässä on yhdistetty korkeapaine- ja ilmahajotusruiskutuksien edut. Hajotussuuttimessa paine on vain 40 - 60 bar ja lisäksi ruiskutuspuoleen muodostumiseen käytetään vähemmän ilmaa kuin normaalissa matalapaineruiskutuksessa (Hägglund et al. 1986).

Vesiohenteiset pinnoitteet ruiskutetaan niitä varten suunnitellulla laitteistolla. Se eroaa liuotinohenteisia pinnoitteita levittävistä pistoolista siten, että pinnoite

varautuu pistoolin suuttimen eteen asetettujen elektrodien vaikutuksesta (ts. laitteen ulkopuolella). Pistooli voi toimia korkea- tai matalapaineperiaatteella.

Vesiohenteisille pinnoitteille on kehitetty laitteisto, jossa lakka-astia ja/tai pumppu on asennettu eristetyn kuoren sisään. Kuori estää oikosulun syntymisen. Erona perinteiseen elektrostaattiseen systeemiin on se, että lakka varautuu kulkiessaan eristetyssä yksikössä olevan varausjärjestelmän läpi (Hägglund et al. 1986).

3.2.1.3 Liuosmaalauksen automatisointi

Maalarin (ja maalausrobotin) liikesarjat ovat elektrostaattisen menetelmän yhteydessä yksinkertaisempia kuin tavanomaisessa painemaalauksessa. Tämä etu on merkittävä maalaukselinjojen tulevan kehityksen kannalta. Elektrostaattista menetelmää käytettäessä voidaan maalausrobotin ominaisuuksia hyödyntää täysipainoisesti.

Automatisointi avaa myös mahdollisuuksia uusien lakka- ja maalityyppien käyttöönotolle. Ilmastointi- ja työsuojelukohdat on helpompi hoitaa, kun liuotinhöyrylle on maalarin sijasta alttiina robotti.

Onkin todennäköistä, että helppo automatisoitavuus on elektrostaattisen maalausmenetelmän suurin valtti - näin erityisesti tulevaisuuden kannalta.

Automatisoitu pistooli soveltuu parhaiten elektrostaattiseen maalaustyöskentelyyn. Nykyisten robottien kanssa voidaan käyttää samanaikaisesti useita ruiskutuspistooleja (Hägglund et al. 1986). Näin saadaan jokaiseen pinnan kohtaan halutun paksuinen lakka- tai maalikerros. Tällöin on erityistä hyötyä elektrostaattisen menetelmän kyvystä maalata kappaleen takapuolta.

Elektrostaattisen automaattipistoolin etuihin kuuluu (Hägglund et al. 1986):

- soveltuvuus monimutkaisten esineiden lakkaukseen,
- voidaan heittää pinnoiteseosta takapinnalle tai kuluihin,
- voidaan helposti liittää maalausrobottiin.

Sen haittapulia ovat (Hägglund et al. 1986):

- tavanomaiseen elektrostaattiseen lakkaukseen nähden huonompi hyötysuhde.
- automatisoidun pistoolin liikesarjat tulevat nykiviksi, koska joudutaan kiinnittämään huomiota pienien detallojen käsittelyyn,
- monimutkaiseen esineeseen ei todennäköisesti saada tyydyttävää pintaa automatisoidulla menetelmällä.

Lakkaus- tai maalausrobotit ovat pitkälle automatisoituja mekaanisia ruiskutus käsivarsia. Niihin pätee paljolti samat seikat kuin automatisoituihin ruiskutus pistooleihin. Selvimpana erona on robotin ohjausmahdollisuuksien monipuolisuus.

Robotissa on yleensä muistiyksikkö, joten erilaisten esineiden peräkkäinen maalaus on mahdollista. Robotti tekee kunkin esineen kohdalla erityiset, tätä varten ohjelmoitua liikkeitä.

Robotin varjopuolena on liikesarjojen suhteellinen hitaus. Elektrostaattiset menetelmät voivat pienentää tämän haitan merkitystä.

3.2.2 Elektrostaattisen jauhemaalauksen tekniikka

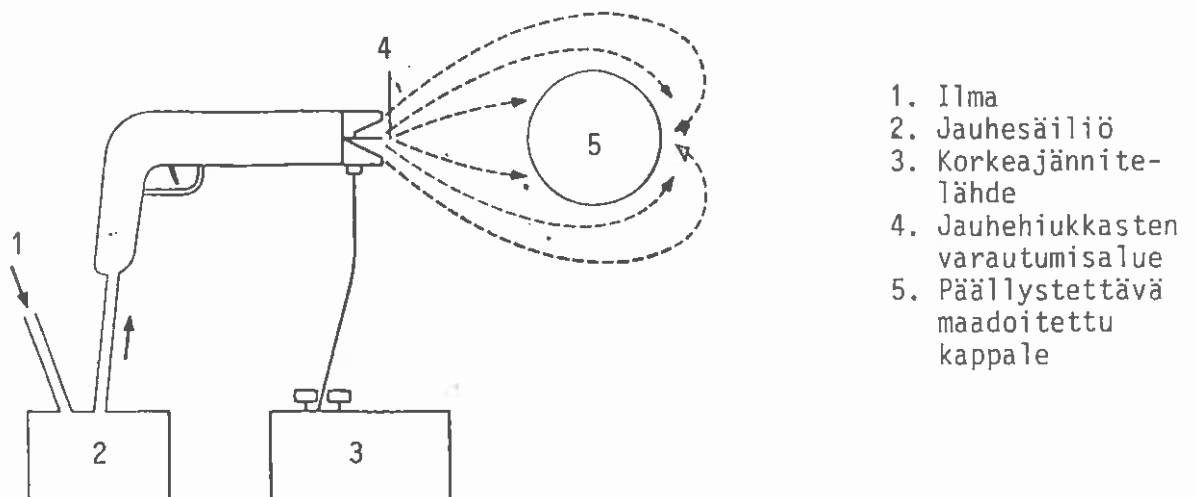
Suomen puulevyteollisuudessa ei ole elektrostaattiseen jauhemaalaukseen perustuvia maalauslinjoja.

Maalin tai lakan olomuodosta riippumatta on elektrostaattisen pintakäsittelyn perustekniikka sama. Pulverimaaleissa jauhe varataan elektrostaattisesti ja se kuljetetaan sähköstaattisten voimien ja paineilman avulla päällystettävän, maadoitetun esineen pintaan.

Elektrostaattisen jauheruiskutuksen välineistö on esitetty kuvassa 4. Korkeajännitelähde (3) varaa hiukkaset varautumisalueella (4). Maali kuljetetaan paineilman avulla (1) jauhesäiliöstä (2). Päällystettävä kappale (5) on maadoitettu. Kuvasta puuttuu talteenottolaitteisto, joka on olennainen osa toimivaa ja tehokasta jauhemaalausasemaa.

Jauhemaalauslinjaan kuuluu myös kuivaus- tai poltto-osa, vaikkakin jauhemaalit voidaan verkkoonnuttaa myös IR-kuivauksen avulla.

Jauhemaalausmenetelmää voidaankin kutsua polttomenetelmäksi, vaikkakin nimitys on tarkasti ottaen harhaanjohtava. Se kertoo kuitenkin jauhemaalain verkkoutumistavasta toisin sanoen kovetustavasta olennaisen puolen: pulveri sulatetaan lämmön avulla yhtenäiseksi kerrokseksi.



Kuva 4. Elektrostaattisen jauhemaalauksen laitteisto (Jämsä et al. 1985).

Jauheruiskutus pistoolissa on yleensä neulamainen elektrodi. Jauheen varautuminen tapahtuu sen kulkiessa pistoolin sisässä tai suulakkeessa olevan elektrodijärjestelmän läpi. Varautunut jauhe kulkeutuu tämän jälkeen sähköisiä voimaviivoja pitkin maalattavan tuotteen pintaan.

Joissain jauhepistoolityypeissä varaus saadaan aikaan pistoolissa olevan teräväreunaisen levyn avulla. Jauheen ruiskutukseen voidaan käyttää myös ns. Fischer-laitetta, jossa ei ole varsinaisesti sähköisiä osia. Siinä jauhe varautuu ristikkoelektrodien välisellä alueella.

Metallikappaleiden jauhemaalauksessa on käytössä useita muitakin tekniikoita, mutta puulevyjen jauhemaalauksessa käyttökelpoisin on ehdottomasti jauhepistooli. Polttomaalien yksi pulverimaalausta rajoittava tekijä on värinvaihdon hankaluus. Tästäkin näkökulmasta joustavin puulevyjen maalauslinja on jauhepistooliin (-pistooleihin) perustuva linja.

4 KOKEELLINEN OSA - LIUOSMAALAUUS

4.1 Puun ominaisuuksien vaikutus

4.1.1 Kokeiden suoritus

Puun elektrostaattista pintakäsittelyä tutkittiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen puulaboratoriossa ja teollisuudessa. Laboratoriokokeissa, joissa käytettiin pieniä, lähinnä tuolin jalkaa muistuttavia koekappaleita, tutkittiin puun kosteuden, puun kostuttamisen, huoneilman kosteuden ja lämpötilan vaikutusta lakan kulutukseen ja ohiruis-
kutuksen määrään. Yhdessä koesarjassa selvitettiin puun kosteuden vaikutusta ikkunanpuitteiden pintakäsittelyyn. Teollisuudessa tehdyissä kokeissa selvitettiin tuolien ja ikkunanpuitteiden elektrostaattista pintakäsittelyä.

Pinnoitetuista koekappaleista määritettiin pinnansileys ja kalvonpaksuus.

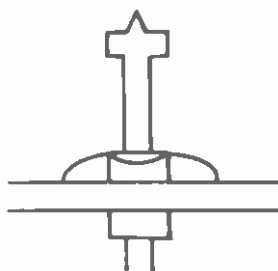
Koekappaleet olivat mäntyä, saarnea, tammea, pyökkiä ja koivua. Toisen sivun leveys oli 4 cm ja toisen 2,9 cm. Koivukappaleiden pituus oli 80 cm ja muiden 50 cm. Koekappaleiden reunat oli pyöristetty.

Koekappaleiden kapeat sivut (leveys 2,9 cm) hiottiin hiontapaperilla numero 150 ja leveät sivut (leveys 4 cm) hiomapaperilla numero 100. Välihiointa tehtiin hiontapaperilla numero 240. Hionnan jälkeen koekappaleita tasaannutettiin 25, 35 ja 65 %:n suhteellisessa kosteudessa.

Lakkana käytettiin happokovetteista ureamelamiiniformaldehydiin perustuvaa hartsia. Kovettajan määrä oli kaikissa kokeissa sama (6,2 % lakan määrästä). Lakan viskositeetti oli 22 s (DIN4/20 °C). Ominaisvastus oli 400 k Ω (mitattuna ominaisvastusmittarilla).

Ruiskutuksessa käytettiin korkeapaineruiskupistoolia. Lakkauksessa sen jännite oli 80 kV ja paine 4 kp/cm².

Koekappaleiden maadoitusta varten rakennettiin vanerista alusta, jonka läpi työnnettiin terävä piikki. Piikki eristettiin alustasta (kuva 5).



Kuva 5. Maadoitusaluista.

Maadoituskohta kostutettiin vedellä ja ruiskutus aloitettiin aina maadoituspisteestä. Koekappaleet ruiskutettiin yhdeltä sivulta vinottain (kuva 6).



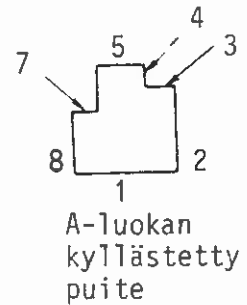
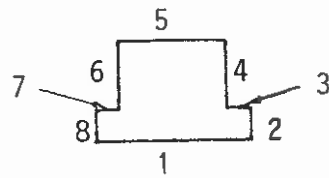
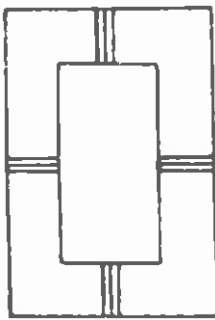
Kuva 6. Ruiskutus-suunta ja koekappaleen sivujen numerointi.

Mittausmenetelmät on kuvattu liitteessä 1

Ruiskutuksen aikaista lakan kulutusta seurattiin punnitsemalla lakka-astiaa ja koekappaleita ennen ja jälkeen pintakäsittelyn. Koekappaleisiin menneen lakan määrä ilmoitetaan prosentteina (lakan märkäpainosta).

Koesarjan koko oli 5 näytettä, joista neljä lakattiin vielä toiseen kertaan. Ikkunanpuitteissa sarjan koko oli 4 näytettä.

Pintakäsittellyistä koekappaleista mitattiin kalvon paksuus VTT:n puulaboratoriossa kehitetyn mikroskooppisen menetelmän avulla (liite 1, menetelmä 1). Mittaus tehtiin 10 cm:n päästä kappaleen yläosasta koekappaleen jokaiselta sivulta. Mittauspisteitä oli 3. Ikkunanpuitteen jokaisesta sivusta otettiin kaksi rinnakkaista koekappaletta.

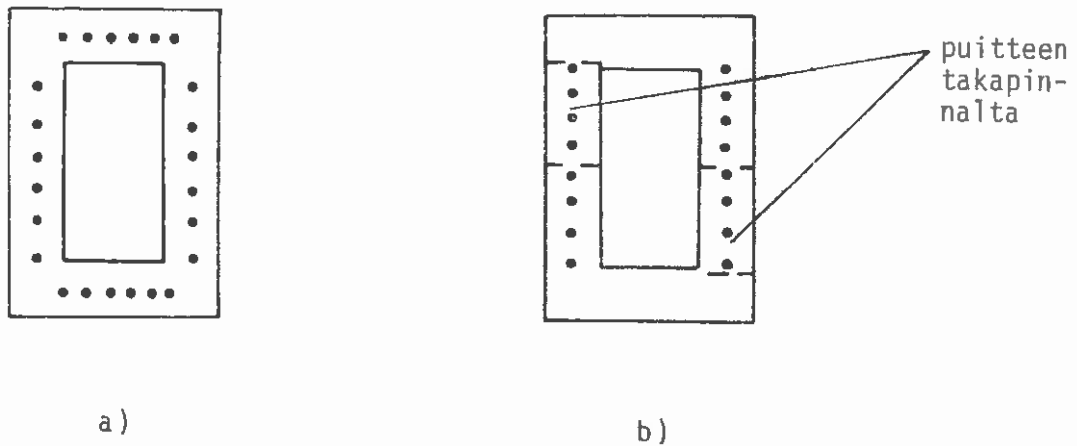


Kuva 7. Kalvon paksuuden mittapisteet ikkunanpuitteista.

Koekappaleiden pinnansileydet mitattiin Taylor-Hobsonin pinnansileydmittarilla (liite 1, menetelmä 2) lähinnä ruis-
kutussuuntaa olevalta leveältä pinnalta. Mittauspisteet
olivat koekappaleen keskeltä sekä 10 cm etäisyydellä kum-
mastakin päästä.

Muutamien ikkunanpuitteiden pinnansileydet mitattiin VTT:n
puulaboratoriossa kehitetyllä laitteistolla ennen ja jäl-
keen pintakäsittelyn. Mittalaitteessa pyöristetyn mittakär-
jen halkaisija oli $0,1 \text{ mm}/60^\circ$ ja mittausmatka 20 mm. Mit-
tausväli oli 0,52 mm.

Maalin tartuntaa ikkunanpuitteissa tutkittiin vetokokeen
avulla (liite 1, menetelmä 3). Tartunta mitattiin kuvan 8
osoittamista pisteistä.



Kuva 8. a) Pinnansileyden ja
b) tartuntakokeen mittauspisteet.

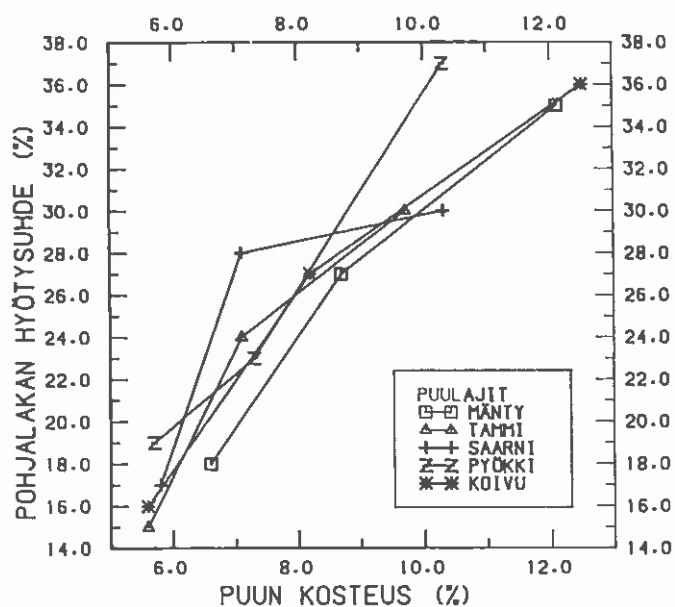
4.1.2 Puun kosteuden vaikutus

Puun kosteuden vaikutusta lakan kulutukseen seurattiin mänty-, koivu-, tammi-, saarni- ja pyökkikoekappaleilla. Koekappaleet tasaannutettiin ennen pintakäsittelyä 25, 35 ja 65 %:n suhteellisessa kosteudessa. Tasapainokosteudet määritettiin punnitsemalla. Huoneilman kosteus lakkausvaiheessa oli 45 - 50 % ja lämpötila 20 °C. Pintalakka ruiskutettiin pohjalakkausta seuraavana työpäivänä. Ennen tätä koekappaleet hiottiin. Välisäilytys oli normaalissa huoneilmassa (~ RH 50 %, 20 °C).

Taulukossa 2 sekä kuvassa 9 on esitetty kappaleisiin menneen lakan määrä (hyötysuhde).

Taulukko 2. Puun kosteuden vaikutus pohja- ja pintalakan hyötysuhteeseen.

Puulaji	Kosteus %	Levitysmäärä g/m ²				Hyötysuhde %	
		Pohja \bar{x}_5	akka s	Pinta \bar{x}_4	akka s	Pohjalakka	Pintalakka
Mänty	6,6	49,9	6,6	41,8	9,1	18	9
	8,7	91,3	14,2	60,0	5,5	27	24
	12,1	101,0	12,6	66,9	8,8	35	30
Tammi	5,6	43,1	9,8	57,1	22,4	15	20
	7,1	90,9	6,7	73,2	5,5	24	28
	9,7	93,3	13,4	79,5	5,7	30	29
Saarni	5,8	52,8	7,9	46,1	13,3	17	13
	7,1	82,1	8,0	68,8	9,7	28	26
	10,3	94,2	11,9	87,3	6,6	30	34
Pyökki	5,7	51,5	6,7	64,0	14,0	19	15
	7,3	67,6	14,5	56,6	6,7	23	20
	10,3	104,8	29,4	71,7	8,8	37	31
Koivu	5,6	50,3	6,7	63,5	30,6	16	19
	8,2	63,5	8,0	48,2	7,1	27	25
	12,5	100,9	28,0	68,7	8,4	36	30



Kuva 9. Puun kosteuden vaikutus pohjalakan hyötysuhteeseen.

Puun kosteuden nousu lisäsi lakan kulutusta ja paransi hyötysuhdetta. Kun puun kosteus oli noin 6 %, meni kappaleeseen lakkaa 15 - 19 % (märän lakan määrästä). 7 - 8 %:n kosteudessa koekappaleisiin meni noin 25 % lakasta. Yli 10 %:n kosteudessa oli kappaleisiin menneen lakan määrä 30 - 37 %. Se oli lähes kaksi kertaa suurempi kuin noin 6 %:n kosteudessa.

Teollisuudesta saatujen kokemusten mukaan matalapaineruis-kutuksessa (noin 6 - 8 %:n kosteudessa) lakan hyötysuhde on 15 - 20 %. Elektrostaattisella ruiskutusmenetelmällä ei siis saavuteta lakan säästöä, ennen kuin puun kosteus on noin 7 % tai enemmän.

Pintalakkauksessa hyötysuhde parani puun alkukosteuden funktiona. Kuitenkin se jäi yleensä jonkin verran pienemmäksi kuin pohjalakkauksessa.

Puulajien tasapainokosteus vaihtelee samassa ilmankosteudessa. Puulajit johtavat eri tavoin sähköä. Se johtuu mm. uuteaineiden erilaisuudesta ja määrästä. Tässä koesarjassa ei ollut suurta eroa eri puulajien käyttäytymisessä elektrostaattisen lakkauksen yhteydessä.

Tuloksia tarkasteltaessa on lisäksi huomioitava, että monet seikat vaikuttavat (esimerkiksi maadoituksen onnistuminen) lopputulokseen. Lakan tai maalin hyötysuhteen määrittämisessä arviointivirhe on 2 - 3 %.

Koekappaleiden kalvon paksuudet on esitetty taulukossa 3 (sivu 41).

Puun kosteus vaikutti lakan levitysmäärään. Tämä näkyi luonnollisesti kalvon paksuuksissa. Ruiskutussuuntaa lähinnä olevilla pinnoilla oli paksuin lakkakerros.

Puun kosteuden ja levitysmäärän kasvaessa pieneivät erot etu- ja takapintojen välillä. Koivulla, jonka kosteus oli

5,6 % tai 8,2 %, ei pohjalakka kiertänyt riittävästi taakse. Pohja- ja pintalakatuissa koekappaleissa oli kalvon paksuus takapinnalla matalassa kosteudessa (5,6 - 8,2 %) vain puolet etupinnan kalvon paksuudesta. Kosteuden ollessa korkea (12,5 %) oli koekappaleen takapinnan kalvon paksuus 2/3 etupinnan paksuudesta.

Taulukko 3. Puun kosteuden vaikutus pintakäsitteltyjen kappaleiden kalvon paksuuteen.

Puu- laji	Kosteus ennen pintakä- sittelyä %	Levitysmäärä g/m ²		Kalvon paksuus (μm)							
		Pohja- lakka	Pinta- lakka	Mittauspiste							
				1	s	2	s	3	s	4	s
				\bar{x}_3	s	\bar{x}_3	s	\bar{x}_3	s	\bar{x}_3	s
Mänty	6,6	47,5	-	13	2	20	2	7	1	4	6
		52,5	52,3	42	1	55	18	17	5	22	6
	8,7	89,1	-	35	5	36	3	18	6	26	5
		99,3	60,9	46	15	44	2	27	5	27	0
	12,1	108,7	-	46	5	44	3	34	3	37	4
114,1		72,9	55	9	46	14	33	7	44	8	
Tammi	5,6	35,2	-	17	2	19	3	12	6	9	1
		48,1	36,2	42	3	24	2	14	3	11	5
	7,1	89,1	-	22	7	17	1	15	3	22	4
		94,2	71,3	38	2	33	4	22	2	30	2
	9,7	110,3	-	31	2	22	5	18	4	21	3
103,2		89,0	46	3	58	10	44	7	23	12	
Saarni	5,8	49,4	-	14	2	18	2	14	1	11	2
		48,8	46,4	28	3	43	2	17	1	15	3
	7,1	89,1	-	20	1	16	3	19	1	16	2
		81,2	66,7	40	4	26	5	13	5	22	2
	10,3	107,5	-	18	1	13	4	8	2	19	4
102,9		88,6	37	4	34	1	17	3	14	6	
Pyökki	5,7	53,6	-	20	6	11	2	10	2	11	2
		48,6	61,9	57	19	32	5	14	3	17	2
	7,3	65,9	-	8	3	20	4	11	1	11	2
		63,8	47,1	21	5	34	8	22	3	12	1
	10,3	156,8	-	13	3	23	3	16	3	15	3
89,1		72,0	43	5	32	3	23	3	21	5	
Koivu	5,6	50,5	-	28	3	22	16	-	-	-	-
		56,6	85,1	67	8	50	1	30	4	25	5
	8,2	62,3	-	22	6	19	1	-	-	14	2
		61,1	58,4	33	3	33	1	15	3	21	2
	12,5	90,9	-	28	3	32	4	23	2	23	7
93,1		60,8	46	2	48	3	34	5	33	4	

Taulukossa 4 on esitetty puun kosteuden vaikutus koivukappaleiden pinnansileyteen.

Taulukko 4. Puun kosteuden vaikutus koivukappaleiden pinnansileyteen.

Koivun kosteus %	Levitysmäärä g/m ²				Pinnansileyys Ra (μm)			
	Pohjalakka \bar{x}_5	akka s	Pintalakka \bar{x}_4	akka s	Ennen pintakäsittelyä \bar{x}_{15}		Pintakäsittelyn jälkeen \bar{x}_{12}	
5,6	50,3	6,7	63,5	30,6	4,6	0,9	2,7	0,4
	50,5		-		5,2		0,7	
8,2	63,5	8,0	48,2	7,1	3,8	0,7	2,6	0,6
	62,3		-		4,9		0,9	
12,5	100,9	28,0	68,7	8,4	5,4	0,9	3,2	0,8
	90,9		-		5,0		0,8	

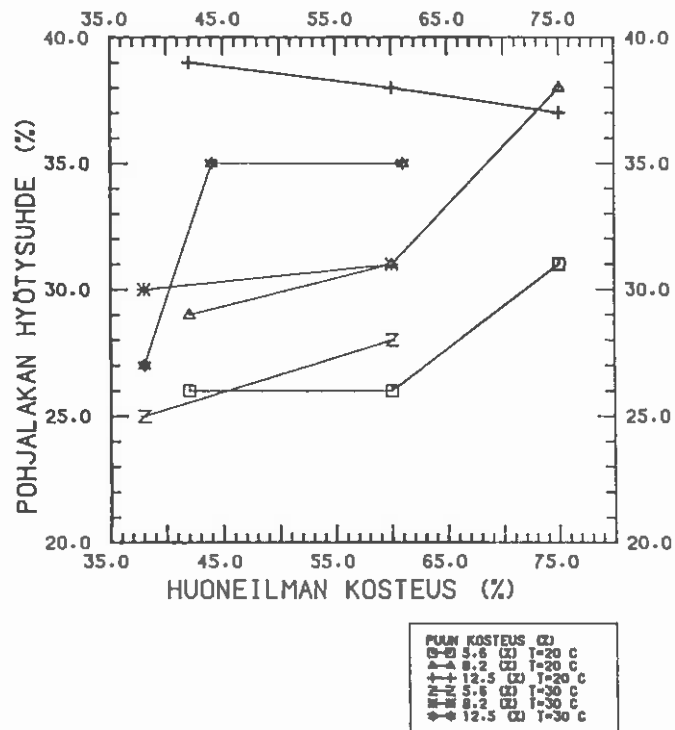
Pintakäsittely paransi selvästi pinnansileyksarvoja. Yhdistetty pohja- ja pintalakkaus antoi paremman tuloksen kuin pelkkä pohjalakkaus. Korkean puukosteuden olosuhteissa oli lopputulos hieman huonompi kuin alhaisessa kosteudessa.

4.1.3 Puun ja huoneilman kosteuden yhteisvaikutus

Koivukappaleita, joiden kosteudet olivat ~ 5,6, 8,2 ja 12,5 %, pintakäsiteltiin RH 42, 60 ja 75 %:n olosuhteissa. Lämpötila oli 20 °C. Pintalakan ruiskutusvaiheessa oli huoneilman kosteus 60 % ja lämpötila 20 °C. Koekappaleet olivat vain ruiskutuksen ajan (noin 30 min) kyseisessä huoneilman kosteudessa. Lakkauksen hyötysuhde on esitetty taulukossa 5 (sivu 43) ja kuvassa 10 (sivu 43). Koekappaleiden kalvon paksuudet ja pinnansileydet on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 5. Huoneilman kosteuden vaikutus lakan hyötysuhteeseen koivukappaleilla.

Koivun kosteus %	Huoneilman kosteus RH %	Levitysmäärä g/m ²				Hyötysuhde %	
		Pohjalakka \bar{x}_5	akka s	Pintalakka \bar{x}_4	akka s	Pohjalakka	Pintalakka
5,6	42	62,2	10,0	52,7	2,8	26	25
	60	55,4	17,4	66,9	7,3	26	24
	75	50,5	10,3	64,6	4,6	31	25
8,2	42	79,0	6,9	51,7	11,3	29	28
	60	59,8	10,1	73,0	1,8	31	28
	75	84,5	11,1	64,4	8,6	38	29
12,5	42	74,9	17,9	55,0	8,9	39	28
	60	76,4	4,8	63,7	11,6	38	30
	75	88,6	9,0	69,0	2,9	37	31



Kuva 10. Huoneilman kosteuden ja lämpötilan vaikutus pohjalakan hyötysuhteeseen.

Pohjalakkauksessa oli huoneilman kosteudella selvä vaikutus lakan hyötysuhteeseen, kun puun kosteus oli 5,6 - 8,2 %. Korkeassa kosteudessa (12,5 %) ei huoneilman kosteudella ollut enää merkitystä. Tässä kokeessa oli 5,6 %:n koivukappaleiden pohjalakkauksen hyötysuhde 26 % (huoneilman kosteus 42 %). Hyötysuhde 45 - 50 %:n suhteellisessa kosteudessa oli 16 % (taulukko 2). Yksiselitteistä syytä tulosten erilaisuuteen ei voi esittää. Ero voi johtua esimerkiksi maadoituksen epäonnistumisesta. Pintalakkauksen hyötysuhteeseen (RH 60 %) ei huoneilman kosteus vaikuttanut merkittävästi.

Tässä koesarjassa koekappaleet olivat vain ruiskutuksen kestoajan (noin 30 min) kyseisessä kosteusolosuhteessa. Tätä pidemmillä odotusajoilla olisivat pinnat kostuneet luonnollisestikin enemmän, jolloin korkean huoneilman kosteuden myönteinen vaikutus olisi tullut paremmin esiin - näin erityisesti "kuivassa" puussa (kosteus 5,6 %).

Lakkakerros oli paksumpi koekappaleen takana 75 %:n huoneilman kosteudessa kuin 42 %:n kosteudessa, vaikka levitysmäärät säilyivät samana (liite 2). Tämä tuli esiin myös puun kosteuden ollessa ~ 12,5 %. Muuten ei huoneilman kosteuden vaihtelulla ollut merkitystä lakkakerroksen paksuuteen.

Ruiskutuksen aikaisella huoneilman kosteudella ei ollut vaikutusta koekappaleiden pinnansileyteen (liite 2).

Toisessa koesarjassa nostettiin työhuoneen lämpötilaa pohjalakkauksen ajaksi. Lämpötilaksi valittiin 30 °C. Työtilan suhteellista kosteutta vaihdettiin RH 38 % - 60 % välillä. Tulokset hyötysuhteesta on taulukossa 6 (sivu 45) ja kuvassa 10 (sivu 43). Koekappaleiden kalvon paksuudet ja pinnansileydet on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 6. Huoneilman kosteuden vaikutus lakan hyötysuhteeseen koivukappaleilla + 30 °C lämpötilassa.

Koivun kosteus %	Huoneilman kosteus %	Levitysmäärä g/m ²		Hyötysuhde %
		Pohjalakka \bar{x}_5	s	Pohjalakka
5,6	38	67,6	7,6	25
	60	61,6	21,3	28
8,2	38	71,1	10,3	30
	60	67,2	20,6	31
12,5	38	83,6	11,4	27
	44	66,4	7,6	35
	60	76,3	5,4	35

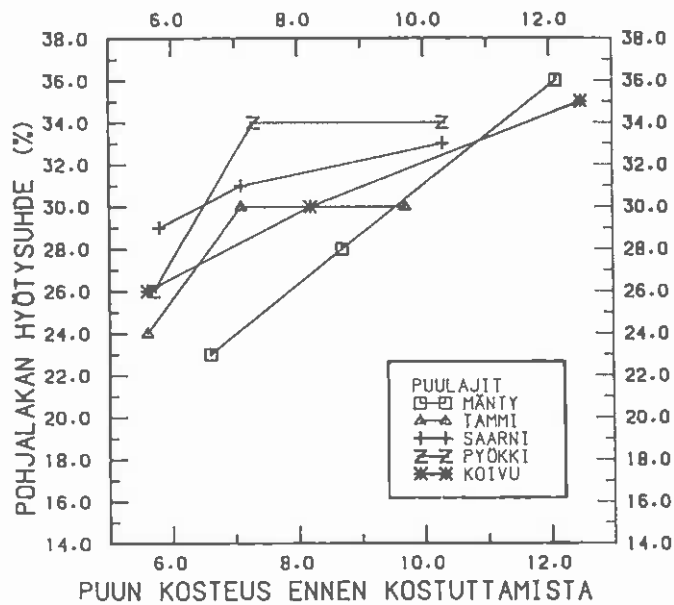
Tuloksista selviää, että lämpötilan nostolla ei ollut selvää vaikutusta hyötysuhteeseen.

4.1.4 Puun pintajohtavuuden lisääminen. Koekappaleiden kostutus vedellä ja suolaliuoksilla

Mänty-, tammi-, saarni-, pyökki- ja koivukoekappaleilla tutkittiin puun kostuttamisen vaikutusta lakan kulutukseen. Ennen pohjalakkausta koekappaleiden pinnalle ruiskutettiin ohut kerros vettä. Pintalakkaus tehtiin seuraavana työpäivänä. Puu oli tällöin vielä jonkin verran kosteata. Kostutusta ei tehty pintalakkauksen yhteydessä. Huoneilman kosteus oli 45 - 50 % ja lämpötila 20 °C. Tulokset on esitetty taulukossa 7 (sivu 46) ja kuvassa 11 (sivu 46). Liitteessä 4 on esitetty koekappaleiden kalvon paksuus.

Taulukko 7. Kostutuksen vaikutus lakan hyötysuhteeseen.

Puu- laji	Tasapaino- kosteus ennen kostutta- mista %	Levitysmäärä g/m ²				Hyötysuhde %	
		Pohja- \bar{x}_5	akka s	Pinta- \bar{x}_4	akka s	Pohja- lakka	Pinta- lakka-
Mänty	6,6	78,4	11,5	72,0	9,9	23	26
	8,7	83,2	17,4	63,6	7,8	28	28
	12,1	95,5	7,9	66,3	8,9	36	28
Tammi	5,6	61,6	9,5	84,1	25,1	24	37
	7,1	75,7	14,2	59,8	5,5	30	30
	9,7	77,3	21,2	76,4	10,7	30	33
Saarni	5,8	72,0	14,0	72,7	22,5	29	25
	7,1	78,4	4,9	80,2	6,9	31	31
	10,3	75,3	5,2	75,7	13,4	33	30
Pyökki	5,7	76,5	20,6	89,4	14,2	26	29
	7,3	92,0	4,2	55,4	2,5	34	22
	10,3	97,2	26,6	78,9	5,8	34	27
Koivu	5,6	59,8	6,1	86,4	54,0	26	32
	8,2	75,8	6,3	62,6	5,0	30	26
	12,5	79,3	15,5	68,9	8,1	35	31



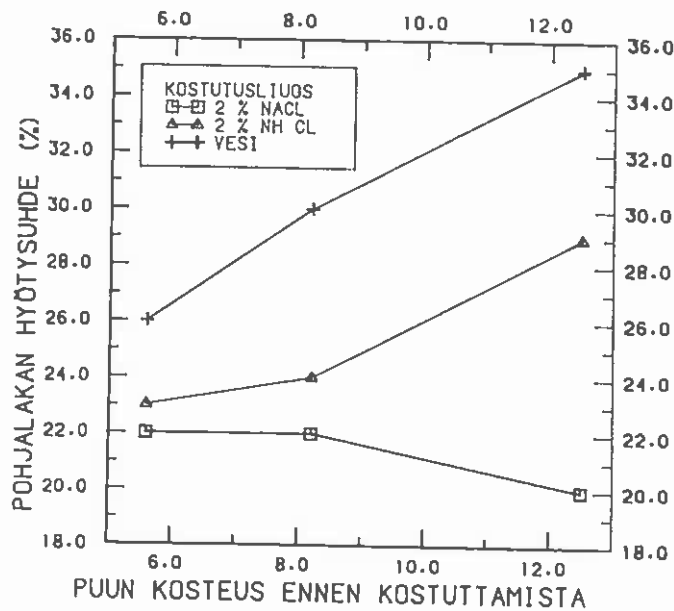
Kuva 11. Kostutuksen vaikutus pohjalakan hyötysuhteeseen.

Puun kostuttaminen vedellä paransi lakan hyötysuhdetta vertailukohtaan, taulukon 2 tuloksiin, nähden. Hyötysuhteen paraneminen oli selvintä, kun puun kosteus oli 6 %:n tasossa. Puun (oman) kosteuden lisääntyminen vähentää kostutuksen merkitystä lakan hyötysuhteeseen. Tämä raja-arvo on puulajikohtainen. 10 - 12 %:n kosteudessa ei pinnan kostuttamisella ollut enää vaikutusta kappaleeseen menneeseen lakan määrään.

Toisessa vaiheessa koivukappaleet kostutettiin pinnasta 2 % NaCl- ja NH₄Cl- liuoksella. Huoneilman kosteus ja lämpötilaolosuhteet olivat samat kuin vesikostutuksen yhteydessä. Lakan hyötysuhde on esitetty taulukossa 8 ja kuvassa 12 (sivu 48).

Taulukko 8. Suolaliuoskostutuksen vaikutus lakan hyötysuhteeseen koivulla.

Koivun kosteus %	Levitysmäärä g/m ²				Kostutusliuos	Hyötysuhde %	
	Pohjalakka \bar{x}_5	s	Pintalakka \bar{x}_4	s		Pohjalakka	Pintalakka-
5,6	72,0	20,6	65,4	6,3	2 % NaCl	22	28
8,2	74,1	11,8	58,3	7,2	"	22	29
12,5	59,2	4,5	72,2	10,2	"	20	27
5,6	56,1	5,9	56,8	4,1	2 % NH ₄ Cl	23	26
8,2	64,5	23,9	66,2	9,2	"	24	27
12,5	63,9	17,1	67,0	3,4	"	29	29



Kuva 12. Puun pinnan kostutuksen (vesi tai suola) vaikutus pohjalakan hyötysuhteeseen (koivukappaleet).

Tuloksista selviää, että vesikostutus oli tehokkaampaa kuin kostutus suolaliuoksilla.

Kostutuksen vaikutus pinnansileytsarvoihin on esitetty taulukossa 9 (sivu 49). Kalvon paksuuden tulokset ovat liitteessä 5.

Koekappaleiden pinnan kostuttaminen vedellä ei vaikuttanut lopputuotteen pinnansileyteen. Koekappaleiden tasaannutus eri kosteuksiin ei myöskään vaikuttanut pinnansileytsarvoihin.

Kostuttaminen suolaliuoksilla vaikutti sen sijaan selvästi pinnansileyteen. Pinnansileyts ensimmäisen pintakäsittelyn jälkeen oli lähes kaksinkertainen verrattuna käsittelemättömän puun arvoihin. Välihionnan ja toisen pintakäsittelyn jälkeen oli pinnansileyts samaa suuruusluokkaa kuin ennen pintakäsittelyä.

Taulukko 9. Koivukappaleiden pinnansileydet, vesi- ja suolaliuoskäsittelyn vaikutus.

Koivun kosteus %	Levitysmäärä g/m ²				Kostutusliuos	Pinnansileyden Ra (µm)			
	Pohjaakka \bar{x}_5 s		Pintaakka \bar{x}_4 s			Ennen pintakäsittelyä \bar{x}_5 s		Pintakäsittelyn jälkeensä \bar{x}_{12} s	
5,6	59,8	6,1	86,4	54,0	H ₂ O	4,7	1,1	3,3	0,8
	66,1		-			5,2		1,9	
8,2	75,8	6,3	62,6	5,0	"	4,0	0,6	2,7	0,8
	72,9		-			3,6		1,3	
12,5	79,3	15,5	68,9	8,1	"	4,9	0,8	2,9	0,9
	61,6		-			5,2		0,4	
5,6	72,0	20,6	65,4	6,3	2 % NaCl	5,3	0,5	4,4	1,1
	77,0		-			4,0		0,2	
8,2	74,1	11,8	58,3	7,2	"	4,6	0,8	5,7	1,8
	80,6		-			5,1		0,9	
12,5	59,2	4,5	72,2	10,2	"	5,7	1,3	15,2	2,2
	62,8		-			5,0		1,2	
5,6	56,1	5,9	56,8	4,1	2 % NH ₄ Cl	4,6	0,7	5,3	3,0
	52,4		-			4,9		0,6	
8,2	64,5	6,5	66,2	9,2	"	4,1	0,7	5,3	1,1
	55,8		-			3,9		0,3	
12,5	63,9	17,1	67,0	3,4	"	5,2	0,7	6,0	1,3
	58,2		-			5,7		0,6	

Suolaliuoksilla kostuttaminen ei myöskään parantanut lakan kiertoa. Kalvon paksuuden vaihtelu etupinnoilla oli suurempaa kuin muissa koesarjoissa (liite 5).

4.2 Tuolien elektrostaattinen pintakäsittely

Tuolit lakattiin sekä elektrostaattisella että tavanomaisella matalapaineruiskutusmenetelmällä. 10 tuolia lakattiin elektrostaattisesti korkeapaineruiskupistoolilla. Matalapaineruiskutukset tehtiin erään tehtaan normaalilla laitteistolla. Tutkimuksen aikana seurattiin lakan kulutusta ja levitysmäärää. Kummastakin sarjasta valittiin 1 tuoli, josta mitattiin pinnansileyden ja kalvon paksuus.

4.2.1 Kokeiden suoritus

Matalapaineruiskutuksessa käytettiin ko. tehtaan normaalisti käyttämää lakkaa. Pohjalakan viskositeetti oli 19 s (DIN 4) ja kuiva-ainepitoisuus 11,4 %. Välilakan viskositeetti oli 24 s. Pintalakan viskositeetti oli 23 s ja kuiva-ainepitoisuus 41 %. Pintakäsittelyn vaiheet olivat:

- 1) pohjalakan ruiskutus,
- 2) tuolien kuivaus huoneilmassa,
- 3) välilakan ruiskutus,
- 4) kuivaus tunnelissa,
- 5) välihionta koneellisesti (320),
- 6) pintalakan ruiskutus,
- 7) kuivaus tunnelissa.

Ruiskutettaessa tuoli oli pyörivän telineen päällä. Tuoli ruiskutettiin joka suunnalta erikseen. Ruiskutusaika tuolia kohti oli ~ 35 - 40 s.

Elektrostaattisessa ruiskutuksessa pohja- ja pintalakkana oli happokovetteinen lakka. Lakan viskositeetti oli 21 s ja kuiva-ainepitoisuus 29 %. Lakan johtavuus oli 240 kΩ.

Ilman suhteellinen kosteus oli 40 % ja lämpötila 22,5 °C. Pohjalakan ruiskutuksen jälkeen tuolit kuivattiin tunnelissa, tehtiin välihionta koneellisesti (320), ruiskutettiin pintalakka ja kuivattiin tunnelissa. Tuoli oli maadoitettu jalkojen kautta ja maadoituskohdat kostutettiin vedellä ennen lakkausta.

Tuoli ruiskutettiin kahdesta suunnasta. Ruiskutusaika tuolia kohti oli ~ 45 s. Puun kosteus ennen lakkausta oli 7,9 % (mitattu kosteusmittarilla).

4.2.2 Tulokset

Taulukossa 10 (sivu 51) on esitetty lakan kulutus ja levi-tysmäärät.

Taulukko 10. Lakan hyötysuhde tuolien lakkauksessa.

Menetelmä ⁽¹⁾	Lakka	Levitysmäärä g/m ²		Hyötysuhde (%) tuoliin
M	Pohjalakka	24,0	1,4	15
	Välilakka	48,0	2,6	20
	Pintalakka	39,6	2,0	20
E	Pohjalakka	50,2	10,9	31
	Pintalakka	53,1	9,1	33

Huom: 1) M = matalapaineruiskutus
E = elektrostaattinen ruiskutus.

Tuloksista nähdään selvästi, että elektrostaattisessa menetelmässä lakkaa menee enemmän kohteeseen kuin matalapaine-
menetelmällä. Kymmenen tuolin sarjassa kohteeseen menneen lakan määrässä oli ~ 1,5-kertainen ero.

Menetelmissä käytettyjen lakkojen hintavertailu on esitetty taulukossa 11. Kustannukset on laskettu lakan valmistajan antamien ohjehinta-arvojen mukaan.

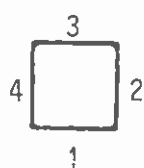
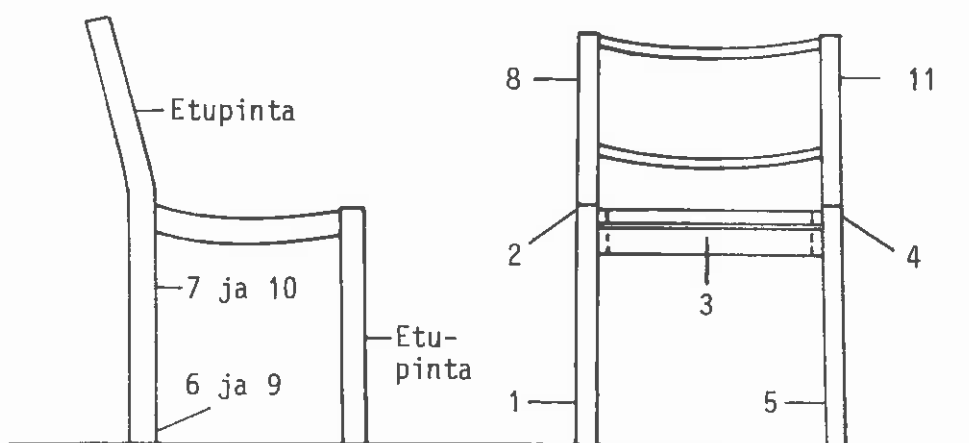
Taulukko 11. Matalapaine- ja elektrostaattisessa ruiskutuksessa käytettävien lakkojen hintavertailu.

Menetelmä	Lakka	Hinta ⁽²⁾ mk
Matalapaine- ruiskutus	Pohjalakka ⁽¹⁾	10,53
	Välilakka	23,51
	Pintalakka	18,92
		<u>52,96</u>
Elektrostaattinen ruiskutus	Pohjalakka	23,81
	Pintalakka	23,87
		<u>47,68</u>

Huom: 1) Oletettu sekoitussuhde lakka:ohenne = 1:1.
2) Lakan hinta 10 tuolin sarjaa kohti.

Matalapaineruiskutuksessa käytetyn lakkaustavan hinta 10 tuolin sarjassa oli noin 5 mk korkeampi kuin elektrostaattisessa menetelmässä.

Tuolien kalvon paksuus mitattiin kuvan 13 esittämistä mittapisteistä. Tulokset ovat taulukossa 12 (sivut 53 - 54).



Poikkileikkaus jalasta

- | | |
|-------------|---|
| Etupinnat | 1 |
| Vasen pinta | 2 |
| Takapinta | 3 |
| Oikea pinta | 4 |

Kuva 13. Kalvon paksuuden mittapisteet, missä

- 1 = vasen etujalka alhaalta
- 2 = vasen " yläosasta
- 3 = istuinosan edestä
- 4 = oikea etujalka yläosasta
- 5 = oikea etujalka alhaalta
- 6 = vasen takajalka alhaalta
- 7 = vasen takajalka istuimen alta
- 8 = vasen takajalka yläosasta
- 9 = oikea takajalka alaosasta
- 10 = oikea takajalka istuimen alta
- 11 = oikea takajalka yläosasta

Taulukko 12. Kalvon paksuus. Taulukko jatkuu.

Mittauspiste	Kalvon paksuus, mm	
	Matalapaineruiskutus ⁽¹⁾	Elektrostaattinen ruiskutus ⁽¹⁾
1.1.	0,043	0,036
1.2.	0,027	0,031
1.3.	0,056	0,024
1.4.	0,033	0,027
\bar{x}_4	0,040	0,030
s	0,013	0,005
2.1.	0,015	0,053
2.2.	0,025	0,047
2.3.	0,030	0,024
\bar{x}_3	0,023	0,041
s	0,008	0,015
3.1.	0,029	0,024
4.1.	0,030	0,046
4.3.	0,050	0,038
4.4.	0,033	0,033
\bar{x}_3	0,038	0,039
s	0,011	0,007
5.1.	0,030	0,035
5.2.	0,053	0,015
5.3.	0,049	0,020
5.4.	0,038	0,024
\bar{x}_4	0,043	0,024
s	0,011	0,009
6.1.	0,041	Sahauspinta epätasainen, lakkakerros < 0,01
6.2.	0,038	0,042
6.3.	0,031	0,026
6.4.	0,066	0,031
\bar{x}_3	0,044	0,033
s	0,015	0,008

Taulukko 12. Jatkoa.

Mittauspiste	Kalvon paksuus, mm	
	Matalapaineruiskutus	Elektrostaattinen ruiskutus
7.1.	0,028	0,050
7.2.	0,034	0,039
7.3.	0,030	0,038
7.4.	0,064	0,046
\bar{x}_4	0,039	0,043
s	0,017	0,006
8.1.	0,050	0,036
8.2.	0,032	0,025
8.3.	0,035	0,033
\bar{x}_3	0,039	0,031
s	0,010	0,006
9.1.	0,098	0,022
9.2.	0,036	0,022
9.3.	0,033	0,041
9.4.	0,026	0,039
\bar{x}_4	0,048	0,031
s	0,033	0,010
10.1.	0,048	0,048
10.2.	0,049	0,039
10.3.	0,027	0,062
10.4.	0,040	0,042
\bar{x}_4	0,041	0,046
s	0,010	0,011
11.1	0,046	0,029
11.3	0,033	0,041
11.4	0,042	0,036
\bar{x}_3	0,040	0,035
s	0,007	0,006

Huom: 1) Lakan levitysmäärät g/m² koetuoleissa

Matalapaineruiskutus	pohjalakka	22,6
	välilakka	48,4
Elektrostaattinen lakkaus	pintalakka	41,3
	pohjalakka	30,4
	pintalakka	63,0

Kalvon paksuus elektrostaattisesti lakatussa tuolissa oli etupuolella noin 0,04 - 0,05 mm. Kalvon paksuuden vaihtelu etu-, sivu- ja takapintojen välillä oli huomattavasti vähäisempää kuin esimerkiksi "vaikeanmuotoisissa" ikkunanpuutteissa. Lähellä maadoituskohtaa olevilla pinnoilla oli lähes sama kalvon paksuus kuin kauempana. Etäisyys maadoituskohdasta ei siis vaikuttanut lakan kierto-ominaisuuksiin.

Matalapaineruiskutuksessa ammattimaalari ruiskutti lakkaa tarkoituksella joihinkin kohtiin enemmän ja joihinkin vähemmän, joten lakkaustulosta ei voida suoraan verrata elektrostaattisen menetelmän tulokseen.

Tuolien pinnansileyys (R_a) mitattiin kohtisuoraan syitä vasten. Tulokset ovat taulukossa 13 (sivu 56).

Pinnansileyys oli elektrostaattisella menetelmällä lakatussa tuolissa jonkin verran huonompi kuin vertailutuotteella. Tosin erot olivat hyvin pieniä. Tuloksiin voi lisäksi vaikuttaa se, että elektrostaattisesti lakatun tuolin välilihionta epäonnistui osittain.

Kokonaisuutena kalvon paksuus- ja pinnansileyysarvot olivat molemmilla menetelmillä samaa suuruusluokkaa. Elektrostaattisen menetelmän etuja matalapaineruiskutukseen nähden olivat

- edullisempi hinta, lakan paremman hyötysuhteen takia,
- tuolia ei tarvinnut ruiskuttaa kuin kahdelta suunnalta,
- lakkauskertojen lukumäärää voitiin vähentää ilman, että lopputuotteen pinnan laatu kärsii.

Taulukko 13. Tuolien pinnansileydet.

Mittauspiste	Pinnansiley Ra μm				
	Tuoli MP (2)		Tuoli E		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Vasen takajalka, kapea sivu U (1)	2,8	0,6	3,7	0,9	
	S	2,1	0,4	2,3	0,7
	, leveä sivu U	1,8	0,1	1,5	0,3
	S	2,2	0,8	3,5	1,3
Oikea takajalka, kapea sivu U	2,8	0,7	4,1	0,5	
	S	2,4	0,5	3,2	1,3
	, leveä sivu U	1,8	0,5	1,8	0,1
	S	2,0	0,5	3,2	0,8
Vasen etujalka, kapea sivu U	1,5	0,2	2,7	1,0	
	S	1,6	0,3	1,7	0,3
	, leveä sivu U	1,6	0,3	2,3	1,0
	S	1,3	0,1	1,8	0,3
Oikea etujalka, kapea sivu U	1,8	0,4	2,8	0,4	
	S	1,3	0,5	2,0	0,8
	, leveä sivu U	2,0	0,3	1,8	0,4
	S	2,2	0,7	1,7	0,3
Istuinosan vasen sivu U	4,1	1,5	4,2	1,1	
	S	4,1	1,1	3,7	0,7
	oikea sivu U	3,6	0,8	3,7	0,5
	S	4,0	1,1	3,4	0,6
Vasen selkänoja, leveä sivu U	1,6	0,2	1,4	0,2	
	S	2,5	0,4	1,8	0,6
Oikea selkänoja, leveä sivu U	1,9	0,5	2,2	0,5	
	S	3,0	0,9	2,0	0,2
Selkänojan ylin poikkipuu S	3,1	0,9	4,3	0,9	
Istuinosan etusivu U	1,9	0,2	3,3	1,4	

Huom: 1) U = ulkopinta, S = sisäpinta.
 2) MP = matalapaineruiskutus, E = elektrostaattinen ruiskutus.

4.3 Ikkunanpuitteiden elektrostaattinen pintakäsittely

4.3.1 Kokeiden suoritus

Ikkunanpuitteiden elektrostaattista pintakäsittelyä selvitettiin laboratorioskokeilla sekä erään tehtaan koemaalamossa.

Kokeissa käytettiin kuusi- ja mäntypuuta. Mäntykappaleista osa kyllästettiin VTT:n puulaboratoriossa öljypohjaisella kyllästeellä tyhjiön avulla (B-luokka, kyllästeen vähimmäistunkeuma pintapuussa on 10 mm), osa oli tehtaalla painekyllästettyä mäntyä (A-luokka, koko pintapuun on oltava kyllästynyt).

A-luokan kyllästetyissä puitteissa sivujen pituudet olivat 20,2 cm ja 50,2 cm. Muiden puitteiden pituudet olivat vastaavasti 24,5 cm ja 54,5 cm. Puitteet koottiin VTT:n puulaboratoriossa.

Elektrostaattisessa korkeapainemaalauksessa pohjamaalina oli kaksikomponenttinen polyuretaanimaali ja pintamaalina happokovetteinen aminoalkydimaali. Pohjamaalin viskositeetti oli 16 s ja ominaisvastus 2,5 M Ω . Pintamaalin viskositeetti oli vastaavasti 19,5 s ja ominaisvastus 1 M Ω . Korkeapaineruiskupistoolin jännite oli 90 kV ja paine 3 kp/cm².

Elektrostaattisella matalapaineruiskupistoolilla koekappaleet maalattiin kolmella vesiohenteisella maalilla.

Kaikki puitteet maadoitettiin ripustuskoukun kautta.

Elektrostaattisessa korkeapainemaalauksessa puitteet ruiskutettiin vinottain kahdesta suunnasta.

Elektrostaattisessa matalapainemaalauksessa (tehdaskoe) ruiskutus aloitettiin maadoituspisteestä, josta siirryttiin sisäpuolisiin kulmiin. Pohjamaali ruiskutettiin ensin puitteen toiselle puolelle, jonka jälkeen puite kuivattiin kuivauslinjassa. Kuivauslinjan lämpötila nousi asteittain. Tämän jälkeen puite ruiskutettiin toiselta puolelta ja kuivattiin (kuivauslinjassa tai huoneilmassa).

Pintamaalaukseen otettiin kolme puitetta. Ne ruiskutettiin kertaalleen. Ruiskutustilan kosteus oli 30 - 40 %. Mänty-

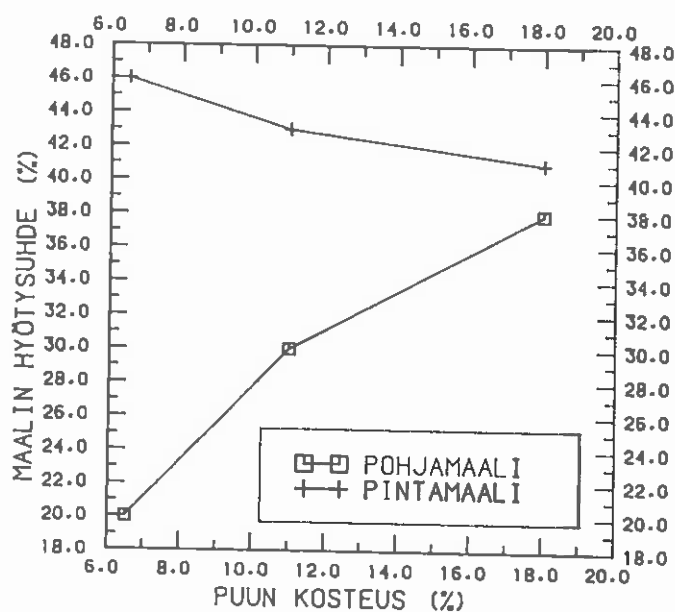
kappaleiden kosteus oli 7,8 - 8,7 % ja kuusikappaleiden 7,7 - 7,9 %.

4.3.2 Tulokset

Korkeapainemenetelmässä kuusipuisten ikkunanpuitteiden kosteudet ennen pintakäsittelyä olivat 6,5, 11 ja 18 %. Huoneilman kosteus oli 60 - 65 %. Lämpötila oli 20 °C. Maalin hyötysuhde on esitetty taulukossa 14 ja kuvassa 14.

Taulukko 14. Maalin hyötysuhde ikkunanpuitteiden (kuusi) elektrostaattisessa pintakäsittelyssä.

Kuusen kosteus %	Levitysmäärä g/m ²				Hyötysuhde %	
	Pohjamaali		Pintamaali		Pohjamaali	Pintamaali
	\bar{x}_4	s	\bar{x}_3	s		
6,5	73,3	24,0	120,8	19,3	20	46
11	133,8	6,8	121,7	12,1	30	43
18	146,0	2,4	110,9	25,6	38	41



Kuva 14. Maalin hyötysuhde ikkunanpuitteiden elektrostaattisessa pintakäsittelyssä.

Pohjamaalauksessa tuli selvästi esiin puun kosteuden vaikutus. Visuaalisessa tarkastelussa havaittiin, ettei pohjamaali kiertänyt, kun puun kosteus oli 6,5 %. Maali oli kuitenkin kiertänyt yksinkertaisen muotoisissa puokappaleissa, jotka oli maadoitettu pistemaadoituksilla (esikoheet). Maalin huono kierto johtuikin ilmeisesti koekappaleen monimutkaisesta muodosta. Lisäksi ripustuskoukkumaadoitus ei ollut yhtä tehokas kuin pistemaadoitus.

Kun puun kosteus oli ~ 11 %, parani pohjamaalin kierto puitteen takapuolelle. 18 %:n puun kosteudessa pohjamaali kiersi hyvin puitteen takapinnoille. Päätymuissa ei ollut vielä tällöinkään kovinkaan paksua maalikerrosta.

Pintamaalauksessa koekappaleisiin menneen maalin määrä oli yli 40 %.

Maalin kiertoa puitteissa tutkittiin mittaamalla kalvon paksuus liitteen 1, kohdan 1 mukaan. Koekappaleiden tunnuks-
set ja levitysmäärät on esitetty taulukossa 15 (sivu 60).
Korkeapainemenetelmän tulokset on esitetty taulukossa 16
(sivu 61). Matalapainemenetelmän tulokset ovat taulukossa
17 (61).

Taulukko 15. Näytteiden tunnuksset ja levitysmäärät.

Näyte	Tunnus	Levitysmäärä g/m ²	
		Pohja- maali	Pinta- maali
Liuotinhenteinen maali, alusta kuusi, puun kosteus 6,5 %	A1	56 ⁽¹⁾	133 ⁽²⁾
- " -, puun kosteus 11 %	A2	126	119
- " -, puun kosteus 18 %	A3	144	85
Vesiohenteinen maali A, alusta mänty	B1	141 ⁽³⁾	-
	B2	126	104
Vesiohenteinen maali A, alusta A-luokan kyllästetty mänty	B3	127	-
	B4	145	59
Vesiohenteinen maali B, alusta kuusi	C1	163 ⁽⁴⁾	-
	C2	137	89
Vesiohenteinen maali C, alusta B-luokan kyllästetty mänty	C3	152 ⁽⁵⁾	-
	C4	170	111

- Huom:
- 1) Pohjamaali kaksikomponenttinen polyuretaani.
 - 2) Pintamaali happokovetteinen aminoalkydimaali.
 - 3) Pohja- ja pintamaali vesiohenteinen polyuretaani.
 - 4) Pohja- ja pintamaali akrylaattimaali.
 - 5) Pohja- ja pintamaali öljypohjainen akrylaattilaketeksimaali.

Taulukko 16. Ikkunanpuitteiden kalvon paksuus, korkeapainemenetelmä.

Mittapiste	Kalvon paksuus (μm)					
	Kosteus (%)					
	6,5		11		18	
	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s
1	73	31	87	10	95	15
2	77	28	109	37	102	37
3	75	14	76	12	80	14
4	68	13	123	60	92	18
5	75	6	116	21	117	15
6	44	38	61	23	61	36
7	20	13	27	20	29	35
8	39	19	59	12	64	15

Taulukko 17. Matalapainemenetelmällä maalattujen puitteiden kalvon paksuus.

Mittapiste	Kalvon paksuus (μm)															
	Näytteen tunnus															
	B1		B2		B3		B4		C1		C2		C3		C4	
	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s
1	42	7	80	15	51	7	83	8	72	22	104	15	56	20	88	10
2	34	10	63	15	50	9	68	11	60	14	82	10	48	8	81	14
3	28	10	57	20	33	8	56	18	45	20	61	8	39	14	52	13
4	22	10	50	16	41	15	49	10	60	29	67	13	41	12	50	8
5	51	13	97	21	56	20	73	10	59	7	86	14	55	12	102	6
6	23	11	44	18	(1)				50	21	64	15	41	15	63	12
7	24	14	48	21	38	12	49	11	40	15	61	14	34	13	56	20
8	18	6	49	14	46	11	71	11	61	18	88	11	48	14	73	10

Huom: 1) A-luokan kyllästetty puite, tätä pistettä ei mitattu.

Kalvon paksuus ikkunanpuitteen takapinnalla oli samaa suuruusluokkaa kuin etupinnalla. Ongelmallisia kohtia olivat kulmat ja syvennykset (kohdat 7 ja 1), joissa kalvon paksuus oli vain puolet etupintojen arvoista. Korkeapainemennelmällä maalatussa symmetrisessä koekappaleessa oli toisessa kulmassa (mittauspiste 7) kalvon paksuus huomattavasti suurempi kuin toisessa kulmassa (mittauspiste 3). Matalapaineruiskutetuissa puitteissa tätä eroa ei ollut. Todennäköinen syy ilmenneeseen eroon oli ruiskutusteknisissä seikoissa.

Puualustalla (mänty, A-luokan kyllästetty mänty, B-luokan kyllästetty mänty) ei ollut vaikutusta maalin kiertoon (B2, B4, C4). Kalvon paksuus eri kohdissa ja eri alustoilla oli samaa suuruusluokkaa.

Maalin tartuntakokeiden tulokset on esitetty taulukossa 18 (sivu 63). Määrittäminen on kuvattu liitteessä 1, kohdassa 3.

Taulukko 18. Pinnoitteen tartunta ikkunanpuitteissa.

Näytteen tunnus	Pinnoitteen tartunta					
	Vetolujuus \bar{x}_{12}	N/mm ² s	Irtoamiskohta		% (1)	
			1	2	3	4
A1	2,0	0,6	8	36	8	48
A2	2,1	0,6	5	43	3	49
A3	1,6	0,6	12	82	1	5
B1	3,3	1,0	11	1	2	86
B2	2,9	0,9	11			89
B3	2,3	1,3	1	4	2	93
B4	4,1	1,2	17		3	80
C1	2,5	1,0	4	3		93
C2	2,5	0,9	9	3		88
C3	3,7	1,4	1		3	96
C4	4,5	0,6			21	79

Huom: 1) 1 = liiman ja maalin sauma, 2 = maalin sisäosa, 3 = maalin ja puupinnan sauma, 4 = puun sisäosa.

Korkeapainemenetelmällä maalatuissa kolmessa ensimmäisessä näytteessä (A1 - A3) pohja- ja pintamaali olivat erityyppisiä. Maalin murtuminen tapahtui pääasiassa maalin sisäosasta ja lisääntyi puun kosteuden funktiona. Pohja- ja pintamaalin välinen ahdeesio heikkeni tässä tapauksessa puun kosteuden lisääntymisen myötä.

Matalapainemenetelmällä maalatuissa puitteissa murtuminen tapahtui pääosin puun sisäosasta (murtumaprosentti 79 - 96). Mitatut vetolujuusarvot kuvaavatkin lähinnä puun lujuutta, koska lohkeaminen tapahtui puusta eikä maalien rajapinnalta. Lujuusarvoja voidaankin pitää kaikkien maalien ja alustojen kohdalla hyvinä.

Matalapainemenetelmällä maalatuista puitteista mitatut pinnansileysarvot on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. Ikkunanpuitteiden pinnansileys.

Näytteen tunnus	Pinnansileys Ra (μm)			
	Ennen pintakäsittelyä		Pintakäsittelyn jälkeen	
	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_{24}	s
B1	5,8	3,2	7,7	3,0
B2	6,8	1,4	7,6	2,3
B3	10,0	5,5	10,4	6,2
B4	6,5	1,4	8,8	0,8
C1	5,2	0,4	7,0	1,3
C2	5,8	0,7	7,1	0,7
C3	5,3	1,0	6,8	1,1
C4	6,0	3,0	7,3	3,3

Pinnansileysarvot olivat pintakäsittelyn jälkeen korkeampia (huonompia) kuin lähtökohta-arvot. Syynä tähän oli vesi-ohenteinen maali, joka nosti puun syyt pystyyn.

4.4 Yhteenveto kokeellisesta osasta

Puun kosteuden lisääntyminen paransi selvästi elektrostaattisen lakkauksen hyötysuhdetta. Menetelmän käyttökelpoisuuden raja on noin 7 % puun kosteudessa, jota alhaisemmassa kosteudessa eivät elektrostaattisen menetelmän edut tule esille. Parhaimmillaan elektrostaattisessa lakkauksessa päästiin noin 35 % hyötysuhteeseen. Tämä tapahtui, kun puun kosteus oli yli 10 %. Käytännössä näin suuriin kosteuksiin ei kuitenkaan voida mennä, koska puu kutistuu kuivuessaan. Tästä taas seuraa kalvopinnoitteen halkeilua tms.

Puun kosteuden lisääntyminen paransi myös lakkakalvon tassaaisuutta. Takapinnalle (ruiskutus suunnasta katsoen) menneen lakan määrä oli parhaimmillaan 2/3 etupinnan määrästä. Toisaalta korkea puun kosteus huononsi jonkin verran pinnansileysarvoja.

Työskentelytilan kosteuden kasvu paransi selvästi lakkauksen hyötysuhdetta, kun puun (koivu) kosteus oli alhainen. Korkeassa puun kosteudessa ei tuota eroa ollut.

Huoneilman lämpötilan kohottamisella ei ollut vaikutusta hyötysuhteeseen.

Myös vesikostutus paransi hyötysuhdetta selvästi alhaisen puun kosteuden tilanteessa. Suolaliuosten käyttö ei tuonut mukanaan erityisiä etuja vertailukohtaan, vesikostutukseen nähden.

Vesikostutuksella ei ollut kielteistä vaikutusta tuotteen pinnansileysarvoihin. Suolaliuokset heikensivät pinnansileyden tasoa.

Eri olosuhteiden vaikutusta pohjalakkauksen hyötysuhteeseen on koottu koivun osalta taulukkoon 20. Näitä tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että yksittäisessä tuloksessa analyysivirhe voi olla 2 - 3 %.

Taulukko 20. Elektrostaattisen lakkauksen hyötysuhde koivun pohjalakkauksessa, eri muuttujien vaikutus.

Koivun kosteus %	Lakkausolosuhde pohjalakkauksessa					Vesikostutus ⁽¹⁾	NaCl-liuos ^(1,2)	NH ₄ Cl-liuos ^(1,3)
	Perustila	Huoneilman kosteus + lämpötila						
	RH 45-50% +20 °C	RH 60 +20°C	RH 75 +20°C	RH 38 +30°C	RH 60 +30°C	RH 45 - 50 +20 °C	RH 45-50 +20 °C	RH45-50 +20 °C
5,6	16	26	31	25	28	26	22	23
8,2	27	31	38	30	31	30	22	24
12,5	36	38	37	27	35	35	20	29

- Huom: 1) Lakkausolosuhteet samat kuin "perustilassa"
 2) 2 % ruokasuolan vesiliuos, lakkausolosuhde perustilan mukainen
 3) 2 % ammoniumkloridin vesiliuos, lakkausolosuhde perustilan mukainen.

Parhain hyötysuhde (ilman liian suurta puun kosteutta) tavoitettiin koivulla, kun työskentelytilan kosteus oli korkea (RH 75 %).

Ihanteellinen olosuhde elektrostaattisessa pohjalakkauksessa voikin olla noin 8 % puun kosteus (puulajista riippuen) ja yli 60 % huoneilman suhteellinen kosteus. Näissä olosuhteissa elektrostaattinen lakkaus onnistuu hyvin ilman ylimääräisiä työvaiheita (vesikostutus tms.). Lisäkostutus on paikallaan ennen muuta silloin, kun puun kosteus on melko alhainen (alle 7 %).

Pintalakkauksen hyötysuhteet on koottu taulukkoon 21. Myös näissä tuloksissa on yksittäinen analyysivirhe ilmeisesti noin 2 - 3 %.

Taulukko 21. Elektrostaattisen lakkauksen hyötysuhde koivun pintalakkauksessa, eri muuttujien vaikutus.

Koivun kosteus %	Lakkausolosuhde pintalakkauksessa					
	Perustila RH 45-50% +20 °C	Huoneilman kosteus + lämpötila		Vesi-kostutus (1)	NaCl-liuos (1,2)	NH ₄ Cl-liuos (1,3)
		RH 60 +20°C	RH 75 +20°C	RH 45 - 50 +20 °C	RH 45-50 +20 °C	RH45-50 +20 °C
5,6	19	24	25	32	28	26
8,2	25	28	29	26	29	27
12,5	30	30	31	31	27	29

- Huom: 1) Lakkausolosuhteet samat kuin "perustilassa"
 2) 2 % ruokasuolan vesiliuos, lakkausolosuhde perustilan mukainen
 3) 2 % ammoniumkloridin vesiliuos, lakkausolosuhde perustilan mukainen.

Pintalakkauksen hyötysuhteeseen ei eri käsittelyillä ollut merkittävää myönteistä vaikutusta. Ihanteelliset lakkausolosuhteet tältäkin osin löytynevät noin 8 % puun kosteuden ja huoneilman korkean suhteellisen kosteuden alueelta.

Tuolien pintakäsittelyssä oli elektrostaattisen ruiskutusmenetelmän hyötysuhde yli 30 %. Matalapainemenetelmässä (ruiskupistooli) hyötysuhde jäi noin 20 %:iin. Myös lakkauskustannukset (lakka + työ) jäivät elektrostaattisella menetelmällä hieman pienemmäksi kuin matalapainemenetelmässä.

Ikkunanpuitteiden elektrostaattisessa maalauksessa saavutettiin pintamaalauksessa yli 40 %:n hyötysuhde, kun puun (kuusi) kosteus oli 11 %. Pohjamaalauksessakin päästiin 30 %:n hyötysuhteeseen.

Elektrostaattisessa maalauksessa oli maalin kierto yleensä hyvä. Takapintojen (ruiskutus suunnasta katsoen) kalvon paksuus oli etupintojen tasolla. Ongelmallisia alueita olivat jotkut kulmat ja syvennykset.

5 KOKEELLINEN OSA - JAUHEMAALAUUS

Tutkimuksessa selvitettiin muutaman, lähinnä metallimaalauksessa käytetyn jauhemaalityypin soveltuvuutta puulevyjen maalaukseen. Työssä olivat koemateriaalina vaneri, lastulevy ja kuitulevy. Osassa em. levytyypeistä käytettiin lisäksi erilaisia pinnoitteita. Tutkimuksen avulla haettiin vastausta kolmeen kysymykseen: 1) Mitkä jauhemaalit soveltuvat puulevyjen pinnoitukseen, 2) Onko olemassa säätäkettäviä puulevyjen jauhemaalaustapoja, 3) Millainen pinnanlaatu saadaan jauhemaalattuun puulevyyn ?

5.1 Jauhemaalauksen suoritus

Maalauskokeet suoritettiin erään maalitehtaan maalilaboratoriossa. Koekappaleiden koko oli 30 x 15 cm. Koekappaleita tehtiin testien laajuudesta riippuen 1 - 6 kpl. Yhdellä maalityypillä valmistettiin lisäksi n. 30 x 100 cm kokoiset näytekappaleet.

Maalien levitykseen käytettiin elektrostaattista jauheruiskua. Ruiskun jännite oli 80 kV. Työ tehtiin metallisessa ruiskutuskaapissa, jonka pohjalle maalattavat koekappaleet asetettiin.

Maalaus suoritettiin kuljettamalla jauheruiskua edestakaisin levyjen yläpuolella, kunnes levy oli visuaalisen arvion mukaan maalin peittämä. Ruiskun etäisyys maalattavasta levystä oli 20 - 30 cm.

Jauhemaalain levitysmäärä oli 60 - 120 g/m². Koelevyistä maalattiin yleensä molemmat puolet.

Maalien verkkoutuminen ts. kovettaminen tapahtui IR-säteilyä lähettävällä linjalla yksi puoli kerrallaan. Säteilijässä oli kuusi 3 kW:n putkea, joiden väli oli 10 cm. Putkista oli verkkouttamisvaiheessa päällä 3 - 4 kpl.

Koelevyä, jonka pintapuolelle oli levitetty verkoutettava jauhemaali, ajettiin IR-uunin läpi edestakaisin. Jauhemaali verkkoonnutettiin yleensä mahdollisimman pitkälle. Toisaalta haluttiin estää puulevyn liiallinen lämpiäminen, joka saattaisi aiheuttaa pihkan kiehumista tms. Sopiva verkkoutumisaika etsittiin esikokeiden avulla. Käytetyt verkkoutumisajat ilmenevät liitteestä 6.

Säätä kestäväää puulevyjen jauhemaalauksetapaa kokeiltiin taulukossa 22 mainittujen rakenteiden ja maalityyppien avulla.

Koelevyjen levypaksuus oli yleensä 12 mm. Koelevyjen reuna oli yleensä suora (joissain tapauksissa oli pyöristetty reuna). Jauhemaaliksi oli TGIC-kovetteinen karboksyyliiryhmiä sisältävä polyesteripulveri. Se oli jauhettu alle 100 µm:n kokoon. Partikkelikoon pääalue oli 30 - 35 µm (Mähönen 1984). Jauhemaaliksi oli valkoinen. Vertailutuote, polyuretaanimaali, oli väriltään harmaa.

Taulukko 22. Säästä kestävä jauhemaalauksen koelevyt ja maalityypit.

Tunnus	Vanerilaji	Pinnoitustapa ennen pintamaalausta	Pintamaalauksen suoritustapa ⁽¹⁾
K.1 (³)	koivuv.	-	2 x jauhemaaliksi, välihionta
H.1	kuusiv.	-	- " -
K.2	koivuv.	bet.kalvo (42/117) + maal.pohja.(150/214)	1 x jauhemaaliksi (polyesteri)
H.2	kuusiv.	- " -	- " -
K.3	koivuv.	Epoksipohjuste	- " -
H.3	kuusiv.	- " - (²)	- " -
K.4	koivuv.	Epoksipohjuste	Polyuretaanimaali
H.4	kuusiv.	- " - (²)	(PU) - " -

- Huom: 1) Tiedot verkkouttamisvaiheesta liitteessä 6.
 2) Vertailutuote, maalaus VTT:ssä, pohjusteen määrä 120 - 150 g/m² ja polyuretaanipintamaalin n. 120 g/m².
 3) Koelevyissä H1 ilmeni maalin verkkoutumisvaiheessa pihkan kuplimista ja maalipinnan epätasaisuutta. Kuusivaneri ei siis soveltunut jauhemaalauksen alustaksi.

Taulukossa 23 (sivu 70) on esitetty pinnanlaadultaan korkeatasoisen jauhemaalauksen koelevyt, maalityyppi ja vertailutuote.

Taulukko 23. Pinnanlaadultaan korkeatasoinen jauhemaalauus, koelevyt ja maalityypit.

Tunnus	Levytyyppi ja pinnoitustapa	Maalityyppi (1)
LL	lastulevy (LL) -	Epoksi-polyesteri-pulverim. (2)
KL	kuitulevy (KL) -	- " -
AS	LL + alkydispaklaus (AS)	- " -
PE	LL + polyesteritäyte (PE)	- " -
VO	LL + vesiohent. täyte (VO)	- " -
EP	LL + epoksipohjuste (EP)	- " -
UF	LL + UF-kalvo (UF)	- " -
LA	LL -	Ureetaani-alkydimaali(3)
KA	KL -	- " -

- Huom: 1) Verkkouttamisvaiheen tiedot liitteessä 6.
 2) Kiiltävä epoksi-polyesterijauhemaal, 50/50.
 3) Ureetaani-alkydimaali, levitys n. 300 g/m².

Taulukon 23 (sivu 70) levyistä tunnuksella UF valmistettua levyä ei valmistettu, koska maalikalvo kupli voimakkaasti verkkoutumisvaiheessa. Joistakin levytyypeistä maalattiin koelevyt vain toispuolisesti (esim. KA). Tutkimuksessa käytetty epoksi-polyesteripulveri oli valkoinen. Myös vertailutuote oli väriltään valkoinen.

Taulukossa 24 on tuotu esiin tietoja sellaisista jauhemaalauustavoista, joita kokeiltiin tutkimuksen yhteydessä alustavasti ja joista valmistettiin vain 1 - 2 koelevyä.

Taulukko 24. Pinnanlaadultaan korkeatasoinen jauhemaalaus, lisäkoheet, koelevyt ja maalityypit.

Tunnus	Levytyyppi ja pinnoitustapa ennen jauhemaalausta (kts. taul. 2)	Jauhemaalintyyppi ja väri (1)
PE2	LL + PE	Epoksipulveri, struktuuripinta 2)
V03	LL + VO	Fenolihartsikovetteinen epoksipulveri
AS4	LL + AS	Epoksi-polyesteripulveri, 50/50, matta
AS5	LL + AS	Epoksi-polyesteripulveri 50/50, raekoko alle 50 µm
EP4	LL + EP	Epoksi-polyesteripulveri, 50/50, matta

Huom: 1) Tiedot verkkouttamisvaiheesta liitteessä 6.
2) Pinnaltaan "ryppyinen", amiinikovete.

Käytettyjen pulverimaalien tilavuuspaino oli n. 1,6 - 1,7 kg/dm³. Levityksen normaali paksuus oli n. 80 µm. Mitä ohuempi jauhemaalikerros kyetään levittämään sitä parempi on ulkonäöllinen lopputulos, oli maalauksen pääsääntö. Muodostuvat kaasukuplat ehtivät tällöin poistua verkkouttamisvaiheessa, eikä maalipinta rikkoudu, siihen ei toisin sanoen muodostu neulanpistoreikiä.

5.2 Koetulokset

Jauhemaalattujen levyjen arvioinnissa kiinnitettiin ensisijaisesti huomiota pinnanlaatuun ja säänkestävyyteen. Sen lisäksi selvitettiin jauhemaalien fysikaalisia ominaisuuksia, kuten kulutuksen- ja iskunkestävyyttä jne.

5.2.1 Koelevyjen testaus

Taulukossa 25 esitetään koelevyistä testatut ominaisuudet.

Taulukko 25. Tutkimuksessa suoritettut testaukset.

Kokeen järj. numero	Testin	
	nimi	standardi tekotapa
1	Jauhemaalilin paksuus	VTT, SFS 3644
2	Pinnoitetun levyn pinnansileys	VTT, SFS 2038
3	Pinnoitteen tartunta	SFS 3765
4	Pinnan kiiltoarvo	SFS 3632
5	Pinnoitteen halkeilu sääkoesyklissä	VTT
6	Pinnoitteen vedenläpäisy	Gobbin testi
7	Pinnoitteen kulutuksenkestävyys	SIS 245820
8	Pinnoitteen kovuus	DIN 50351
9	Pinnoitteen iskunkestävyys	Nema LD 3-1980
10	Pinnoitteen naarmuuntuvuus	SFS 3634
11	Pinnoitteen kemikalionkestävyys	SFS 4969, kohta 6
12	Visuaalinen arvostelu ml ulkokokeen tulokset	VTT

Testien suoritustavasta ja muista yksityiskohdista on lisätietoja liitteessä 1.

5.2.2 Jauhemaalattujen levyjen pinnansileys, kiiltoarvo ja maalikerroksen paksuus

Pinnansileysmittauksen avulla verrattiin jauhemaalilla aikaansaataavaa pinnanlaatua vertailutuotteisiin (uretaani-alkydimaalatut levyt ja polyuretaanipintaiset levyt).

Pinnansileysmittaus tehtiin Taylor-Hobson pinnansileysmittarilla. Testaustapa on esitetty liitteessä 1, kohdassa 2.

Pinnankarheusarvojen suuruutta voi arvioida seuraavaa luokitteluehdotusta vasten (Fröblom 1984):

luokka:1	Ra < 1 μ m
luokka:2	1 < Ra < 2
luokka:3	2 < Ra < 5
luokka:4	5 < Ra < 10
luokka:5	10 < Ra < 25
luokka:6	25 < Ra

Pinnoitteiden kiiltoarvo mitattiin Gardner-kiiltomittarilla. Testaustapa on kuvattu liitteessä 1, kohdassa 4.

Vanerilevyissä pinnansileysmittaukset tehtiin levyjen pinta-tilojen pituussuunnassa ja poikkisuunnassa ja ilmoitettu tulos on siten kolmen pituus- ja leveyssuuntaisen tuloksen keskiarvo.

Koetulokset on esitetty taulukossa 26 (sivu 74).

Jauhemaalatuissa tuotteissa saavutettiin paras pinnansileys levytyypissä AS5. Tämä näkyi myös korkeana pinnan kiiltoarvona. Normaalaa kiiltävää pulveria (epoksi-polyesteri) ja sileää peruslevyä käytettäessä (esim. KL, AS) olivat pinnansileysarvot pieniä ja kiiltoarvot korkeita.

Pulverin luonteesta johtuva suurehko pinnankarkeus ja alhaiset kiiltoarvot tulivat esille levyissä PE2, AS4 ja EP4.

Alustan pinnansileyttä ja kiiltoa heikentävä vaikutus ilmenee mm. levyissä LL ja EP. Lastulevyssä (LL) oli syynä tähän todennäköisesti verkkoutumisen aikana haihtuvien komponenttien aikaansaama huokoisuus jauhemaalikalvossa. Tyypissä EP oli jo itse pohjuste huokoinen, eikä jauhemaalikerros kyennyt peittämään alustan virheitä.

Myös polyesteripulverilla maalatuissa tuotteissa saavutettiin pieni pinnankarkeus ja korkea kiiltoarvo, mikäli levyn pinta oli sileä ja riittävän tiivis (K2, H2).

Taulukko 26. Jauhemaalattujen levyjen pinnansileys, kiiltoarvo ja jauhemaalikerroksen paksuus.

Levytyypin						
tunnus	rakenne	pinnansileys		pinnoitteen kiiltoarvo		koko maalikerroksen paksuus mm
		μm		%		
		\bar{x}_6	s	\bar{x}_6	s	
K1	Koivuv.+PE ⁽¹⁾	3,8	0,8	40	8	0,09
K2	- - +MPP+PE	2,4	0,8	54	6	0,04
K3	+ epoksip.+PE	3,8	1,6	37	9	0,12
K4	- - +PU ⁽²⁾	0,7	0,3	90	5	0,14
H2	Havupuuv.+MPP+PE	2,6	0,5	48	11	0,07
H3	+ epoksip.+PE	6,1	0,9	35	8	0,15
H4	- - + PU	1,5	0,8	73	13	0,14
LL ⁽³⁾	LL + 1	5,4	1,6	40	9	0,11
KL	KL + 1	2,0	0,4	65	6	0,11
PE	LL + PE + 1	4,2	0,7	58	8	0,11
PE2	LL + PE + 2	6,7	0,8	15	3	0,09
VO	LL + VO + 1	2,8	1,1	62	5	0,10
VO3	LL + VO + 3	2,4	0,3	75	4	0,09
AS	LL + AS + 1	1,9	0,4	65	1	0,11
AS4	LL + AS + 4	3,0	0,7	29	5	0,17
AS5	LL + AS + 5	1,6	0,5	72	3	0,11
EP	LL + EP + 1	4,9	0,7	29	4	0,15
EP4	LL + EP + 4	4,5	0,5	30	5	0,11
LA	LL + UA ⁽⁴⁾	1,0	0,3	82	5	0,15
KA	KL + UA ⁽⁴⁾	1,8	0,7	76	2	0,19

- Huom: 1) Polyesteripulveri.
 2) Epoksipohjuste + polyuretaanimaali.
 3) Taulukon alaosa. Jauhemaalina yleensä epoksi-polyesteripulveri, 50/50, kiiltävä, raekoko alle 100 μm. Muut maalit, ks. taulukko 24.
 4) Uretaani-alkydimaali, n. 300 g/m².

5.2.3 Pinnoitteiden halkeilu sääkoesyklissä sekä pinnoitteiden vedenläpäisy

Säänkestävästi maalattuja levyjä (levyt K1-H4) altistettiin koesyklillä, joka on kuvattu liitteessä 1, kohdassa 5.

Levyjen tarkistus tehtiin yhden viikon välein, jolloin kiinnitettiin pääasiallinen huomio muodostuneiden halkeamien pituuteen.

Pinnanlaadultaan korkeatasoisen jauhemaalauksen levyjä (levyt LL - LA) altistettiin kosteus- ja lämpökäsittelyllä (liite 1, kohta 5). Koelevyjen vähäisen lukumäärän vuoksi halkeilunkestävyyttä ei voitu kokeilla kaikille levytyypeille. Vedenläpäisytesti suoritettiin ns. Gobbin menetelmällä (liite 1, kohta 6).

Koetulokset ovat taulukossa 27. Maalityyppien ja levyjen rakenteen osalta on selittäviä tietoja taulukoissa 22 - 24 ja 26.

Taulukko 27. Jauhemaalattujen levyjen halkeilu ja vedenläpäisy.

Levytyypin							
tunnus	rakenne	halkeilu (1)				vedenläpäisy g/m ²	
		AA	VS	AA	VS	\bar{x}_3	s
K1	Koivuv.	2	4,0	4	11,7	38	2
K2	-"- + MPP	0-1	26	0-1	42	30	3
K3	-"- + epoksi	2	4,5	4	13,0	25	8
K4	-"- + PU	2	16,3	4	22,0	22	2
H2	Havupuuv.+MPP	2	26	3	42	21	2
H3	-"- + epoksi	2	2,0	4	4,0	41(2)	3
H4	-"- +PU	2	4,7	4	11,0	15	1
LL	LL+1	0-1	7			123	29
KL	KL+1	0-1	7			14	8
PE	LL+PE+1	0	7			32(2)	-
PE2	LL+PE+2	-				7(3)	-
VO	LL+VO+1	0	7			18	9
VO3	LL+VO+3	0-1	7			35	4
AS	LL+AS+1	0	7			12	1
AS4	LL+AS+4	-				293(2,3)	-
AS5	LL+AS+5	-				71	-
EP	LL+EP+1	-				12	1
EP4	LL+EP+4	-				10(3)	-
LA	LL+AM	0	7			12	2
KA	KL+AM	0	7			7	1

- Huom: 1) Arvosteluasteikko (AA) oli seuraava:
- 0 ei lainkaan halkeamia
 - 0-1 pieniä halkeamia ja joitakin syviä (pinnoitteen läpi ulottuvia)
 - 2 jonkin verran myös syviä halkeamia (20-30 cm)
 - 3 paljon myös syviä halkeamia
 - 4 runsaasti syviä halkeamia (pinnoite halkeillut kauttaaltaan).
- VS on kyseiseen vaiheeseen tarvittujen (vaihe 2 tai 4) viikkosyklien lukumäärä. Levyjen K1-H4 osalta nopeutettu sääkoete keskeytettiin 42 viikkosyklin (VS) jälkeen. Levyjen LL-KA arvosteluasteikko oli sama kuin edellä.
- 2) Pinnoitteessa hiushalkeamia vesiabsorptiotestin jälkeen.
 - 3) Yksi vedenläpäisymääritys.
 - 4) Väri tummunut halkeilunkestävyytestestissä.

Halkeilunkestävyydessä osoittautuu vaikuttavammaksi tekijäksi peruslevyn rakenne. Rakenteet H2 ja erityisesti K2 kestivät hyvin nopeutetussa halkeilukokeessa.

Lastu- ja kuitulevypohjaisissa jauhemaalatuissa rakenteissa näkyi myös peruslevyn rakenteen halkeilua vähentävä vaikutus.

Pinnan vedenläpäisyn arvot olivat yleensä hyvin matalia. Jauhemaalatuun levyn (LL) kohtalaisen suuri vedenläpäisy osoittaa, että epoksi-polyesteripulveri on pinnaltaan suhteellisen huokoinen. Tyypin AS4 korkea vedenläpäisyarvo johtuu todennäköisesti maalikalvon halkeamisesta vedenläpäisytestissä.

5.2.4 Pinnoitteiden kulutuksenkestävyys ja kovuus

Jauhemaalipinnoitteiden kulutuksenkestävyys määritettiin Taber-Abraser-laitteella (liite 1, kohta 7).

Kovuus testattiin DIN-standardin 50351 edellyttämällä tavalla (liite 1, kohta 8).

Iskunkestävyydestä suoritettiin NEMA LD3-1980 mukaan (liite 1, kohta 9).

Koetulokset on koottu taulukkoon 28.

Taulukko 28. Jauhemaalattujen levyjen kulutuksenkestävyys, kovuus ja iskunkestävyys.

Levytyypin								
tunnus	rakenne	kulutuksenkestävyys ¹⁾				kovuus HBr		iskunkestävyys
		mg/100 r		puhkikuluma r		N/mm ²		cm
		\bar{x}_3	s	\bar{x}_3	s	\bar{x}_{24}	s	\bar{x}_2
K1	Koivuv.+PE	309	38	131	33	11,0	0,4	60
K2	- - +MPP+PE	293	44	42	8	18,8	0,3	40
K3	- - +epoksip.+PE	327	20	67	7	12,2	0,4	45
K4	- - +PU	184 ⁽²⁾	14	218	34	10,1	0,4	40
H2	Havupuuv.+MPP+PE	222	56	86	32	7,3	0,7	25
H3	- - +epoksi+PE	241	16	63	2	8,0	0,8	45
H4	- - +PU	190 ⁽²⁾	9	167	33	6,6	0,7	35
LL	LL+1	145	6	187	38	15,8	0,3	55
KL	KL+1	151	24	119	21	15,4	0,3	50
PE	LL+PE+1	144	25	186	27	13,0	0,2	40
PE2	LL+PE+2	-	-	-	-	12,6	0,2	-
VO	LL+VO+1	123 ⁽³⁾	25	227	27	15,0	0,3	40
VO3	LL+VO+3	-	-	-	-	12,6	0,2	40
AS	LL+AS+1	156	5	180	38	12,9	0,2	25
AS4	LL+AS+4	140	18	182	35	11,9	0,3	25
AS5	LL+AS+5	193 ⁽³⁾	10	43	1	15,0	0,3	25
EP4	LL+EP+4	159	4	203	17	15,0	0,4	50
EPY	LL+EP+4	131 ⁽⁴⁾	1	160	0	16,8	0,2	-
LA	LL+UA	260	36	188	56	15,3	0,3	50
KA	KL+UA	198	25	367	101	11,9	0,2	50

Huom: 1) Jauhemaalikerroksen kulutuksenkestävyys.
 2) Koko maalikerroksen kulutuksenkestävyys.
 3) Kaksi rinnakkaismääritystä.
 4) Yksi koe.

Polyesteripulverin kuluma oli koetulosten mukaan suurempi kuin seka- tai epoksipulverien. Jauhemaalipintojen puhkiku-

luma-arvoista näkyi selvästi kerrospaksuuden vaikutus. Esimerkiksi tuotteiden K2 ja H2 välillä oli jauhemaalikerroksen paksuuksissa ero, joka on lähes suoraan verrannollinen puhkikuluma-arvojen eroihin.

Kovuus- ja iskunkestävyytuloksissa tuli ennen muuta esiin peruslevyn rakenteen vaikutus ko. tuloksiin.

5.2.5 Pinnoitteiden naarmuuntuvuus ja tartunta

Naarmuuntumistesti tehtiin SFS-standardin 3634 mukaan (liite 1, kohta 10).

Pinnoitteen tarttuvuutta tutkittiin vetokokeen (SFS 3765) avulla (liite 1, kohta 3).

Koetulokset ilmenevät taulukosta 29 (sivu 79).

Koivuvanerin pinta on kovempi kuin havupuuvanerin. Kuitulevyn pinta on kovempi kuin lastulevyn. Peruslevyn rakenne ja jatkokäsittely vaikuttikin selvästi jauhemaalatus tuotteen naarmuuntuvuuskestävyyteen. Se kuitenkin ylitti selvästi jokaisessa tapauksessa SFS-standardin 4969 pöytälevypinnoilta edellytetyn naarmuuntuvuuskestävyytason (8N, jäljen leveys alle 0,5 mm).

Jauhemaalain tartunta (adheesio) peruslevyyn oli yleensä hyvä. Useimmissa tapauksissa tapahtui irtoaminen vetokokeessa pääasiallisesti maalikalvon ja levyn välisestä saumasta tai levyn pintaosasta. Tällaisia tuotteita olivat koivuvaneri (K1), lastulevy (LL), polyesteri- ja alkydi- spaklatut lastulevyt (PE, PE2, AS, AS4, AS5) ja vesiohen- teisellä täytteellä pohjustetut levyt (V0, V03).

Jauhemaalain tartunta kuitulevyyn (KL) oli vertailumaalin tasolla (KA), vaikka irtoamistapa olikin erilainen.

Taulukko 29. Jauhemaalattujen levyjen naarmuuntuvuus ja tartunta.

Levytyypin								
tun- nus	perusrakenne	pinnoit- teen naar- muuntuvuus	pinnoit- teen tar- tunta		irtoamis- kohta veto- kokeessa (1)			
		N	N/mm ²		%			
		Δ 6 (2)	\bar{x}	s	A	B	C	D
K1	Koivuv.+PE	13-14	1,4	0,8	2	36	43	19
K2	- " - + MPP+PE	16-17	1,1	0,3	6	50	44	
K3	- " - + epoksi+PE	12-13	0,9	0,3	8	92		
K4	- " - + PU	22-23	2,2	0,5				100
H2	Havupuuv.+MPP+PE	17-18	0,6	0,3	2	92	6	
H3	- " - + epoksi+PE	16-17	1,1	0,4	7	11	6	76
H4	- " - + PU	15-16	1,2	0,4				100
LL	LL+1	22-23	1,6	0,3	11	15		74
KL	KL+1	27-28	0,6	0,3	7	80		13
PE	LL+PE+1	16-17(3)	0,9	0,3			98	2
PE2	LL+PE+2	14-16(3)	1,2	0,3	3		80	17
VO	LL+VO+1	22-24(3)	1,1	0,2				100
VO3	LL+VO+3	20-22(3)	1,6	0,1	3			97
AS	LL+AS+1	20-21	1,1	0,2	2			98
AS4	LL+AS+4	17-18(4)	1,2	0,2	8	2		90
AS5	LL+AS+5	19-20(4)	1,2	0,1				100
EP	LL+EP+1	19-20	0,5	0,3	9	90		1
EP4	LL+EP+4	20-21(3)	0,7	0,1		98		2
LA	LL+UA	26-27	1,3	0,1				100
KA	KL+UA	16-17	0,5	0,0				100

- Huom:
- 1) A vetokappaleen liimaus
B maalikalvon sisältä
C maalikalvon ja levyn välinen sauma
D levyn sisäosa.
 - 2) Δ vaihteluväli.
 - 3) 4 rinnakkaiskoetta.
 - 4) 2 rinnakkaiskoetta.

Vanerien jauhemaalauksessa kiinnitti huomiota havupuuvaneri + MPP + PE-rakenteen (H2) suhteellisen huono tartunta, jos vertailukohtaksi otettiin vastaava koivuvanerininen tuote (K2). Ero tartuntatuloksissa johtuu pinnoitteen irtoamisesta, johon jauhemaalikerroksen erilainen paksuus saattaa myöskin vaikuttaa (ks. taul. 26). Olihan se H2:ssa lähes kaksi kertaa suurempi kuin K2:ssa.

5.2.6 Jauhemaalattujen levyjen kemiallinen kestävyys

Kemikaalienkestävyydestestissä liuosmuodossa olevat aineet imeytettiin suodatinpaperiin. Testaustapa on kuvattu liitteessä 1, kohdassa 11.

Rasvankestävyydestä on myöskin selvitetty liitteessä 1, kohdassa 11.

Koetulokset ovat taulukossa 30. Lämmönkestävyys- ja rasvankestävyydestesteissä sai jokainen koelevy korkeimman arvosanan 5, joten koetuloksia ei ole taulukoitu näiltä osin.

Taulukko 30. Jauhemaalattujen levyjen kemikaalienkestävyys.

Levytyypin						
tunnus	perusrakenne	pinnoitteen kemikaalienkestävyys (1)				
		vesi	kahvi	asetoni	alkoholi	kenkävaha ⁽³⁾
K1	koivuv.	5	5	1	5	5
K2	"- + MPP	5	5	1	2-3	5
K3	"- + epoksip.	5	5	1	5	5
K4	"- + PU	5	5	5	5	5
H2	havupuuv.+MPP	5	5	1	5	5
H3	"- + epoksi	5	5	1	5	5
H4	"- + PU	5	5	5	5	4
LL	LL+1	3	5	1-2	5	5
KL	KL+1	4	5	1	1-2	1
PE	LL+PE+1	4	5	1-2	5	4
PE2	LL+PE+2	5	5	4-5	5	5
VO	LL+VO+1	4	5	1-2	5	4-5
VO3	LL+VO+3	4	5	5	5	3-4
AS	LL+AS+1	5	5	5	5	4
AS4	LL+AS+4	- ⁽²⁾	-	-	-	5
AS5	LL+AS+5	3	5	2	2	4
EP	LL+EP+1	5	5	5	5	5
EP4	LL+EP+4	5	5	5	5	5
LA	LL+AM	5	3	5	5	1
KA	KL+AM	5	3	4	4	2

- Huom:
- 1) Arvosteluasteikko oli seuraava:
 - 5 Ei vahinkoja (ei näkyviä muutoksia).
 - 4 Heikko kiillon muutos, joka näkyy vain, kun valolähde heijastuu tässä kohdassa ja pintaa tarkastellaan valon heijastussuunnasta.
 - 3 Heikko muutos, mutta pinnan rakenne on pääasiassa muuttumaton.
 - 2 Voimakas muutos, mutta pinnan rakenne on pääasiassa muuttumaton.
 - 1 Voimakas muutos (pinnan rakenne muuttunut).
 - 2) Näytelevyä ei ollut riittävästi testin suorittamista varten.
 - 3) Värimuutos testin vaikutuksesta soveltaen edellistä arvosteluasteikkoa.

Polyesteripulverilla jauhemaalattujen levyjen kemikalienkestävyys oli yleensä hyvä, vaikka kuten odotettavissa olikin, kyseinen pulveri ei kestänyt asetonia. Levytyypin K2 ja H2 välinen ero alkalinkestävyystestissä johtunee eroista jauhemaalikerrosten paksuudessa.

Veden- ja kahvinkestävyydessä olivat epoksi- ja epoksi-polyesteripulverit jonkin verran huonompia kuin polyesteripulveri. Alkoholinkestävyudessa ei ollut merkittäviä eroja eri pulverilaatujen välillä. Asetoninkestävyudessa osoitettiin parhaaksi pulverityypiksi V03 ts. pulverimaali 3 (taulukko 23). Myös tyyppin PE2 asetoninkestävyys oli hyvä.

Kenkävahan kemikaalit muuttivat jauhemaalien väriä jonkin verran. Uretaani-alkydimaalatuissa vertailulevyissä (LA, KA) ilmeni kenkävahan vaikutuksesta punertava väri. PU-levyt selvisivät testissä lähes ilman muutosta.

5.2.7 Jauhemaalattujen levyjen visuaalinen tarkastelu

Säätäkestävästi maalatut levyt olivat sääkokeissa myös ulko-olosuhteissa. Levyt olivat pystysuorassa asennossa ja ilmansuunta oli etelä. Levyt tarkastettiin 52 koeviikon ja 3 vuoden jälkeen (kesä-kesä), jolloin kiinnitettiin pää-

asiallisesti huomiota halkeamien määrään. Tulokset on ilmoitettu taulukossa 31. Arvosteluasteikko oli taulukon 27 mukainen.

Taulukko 31. Säästäkeestävasti maalatut levyt ulkokokeessa.

Levytyypin			
tunnus	perusrakenne	pinnoitteen halkeilu ulkokokeessa	
		52 viikkoa	3 vuotta
K1	koivuv.+PE	1	2
K2	- - +MPP+PE	0 - 1	1
K3	- - +epoksi+PE	2	2 - 3
K4	- - +PE	0	0
H2	havupuuv.+MPP+PE	0 - 1	1
H3	- - +epoksi+PE	1 - 2	3 - 4
H4	- - +PU	0	2

Levyjen lisäreunansuojaus tehtiin levytyypeille K4 ja H4. Jauhemaalatuissa levyissä reunansuojauksena toimi se maali-määrä, joka verkkoontui levyn reunaan kuumennuksessa. Reunansuojaus ei siten ollut täysin peittävä.

Paras reunamaalin pysyvyys ulkokokeessa ja nopeutetussa sääkokeessa oli levytyypeissä K4 ja H4. Tyyppien K2 ja H2 osalta tutkittiin myös reunanpyörityksen vaikutusta reunamaalin pysyvyyteen. Kokeissa ei tullut ilmi eroa suoran ja pyöristetyn reunan käyttäytymisessä.

Levyjen visuaalinen tarkastelu suoritettiin pintavalomikroskoopilla (liite 1, kohta 11).

Ennen tutkimuksen tätä vaihetta koelevyille tehtiin kenkävahatesti SIS-standardin 245820 mukaan (liite 1, kohta 11).

Koetulokset ovat taulukossa 32 (sivu 83).

Kenkävahatestistä syntynyt yleisvaikutelma osoitti, että jauhemaalattut levyt likaantuvat enemmän kuin vertailutuotteet. Vertailutuotteiden, levyjen LA ja KA, huono arvosana johtui voimakkaasta maalipinnan värinmuutoksesta, joten tältä osin koehavainnot eivät ole yhteismitallisia.

Parhaimmillaan jauhemaalipintojen arvostelutulokset olivat kuitenkin sekä visuaalisessa arvostelussa että kenkävoide-testin jälkeen vertailutuotteiden tasolla. Pohjustetavan (esim. K2, PE, V0, AS) lisäksi tähän vaikutti jauhemaalityyppi (PE6, 1 ja 3). Koeaineisto on kuitenkin liian pieni pitkälle menevien johtopäätösten tekemiseksi.

Taulukko 32. Jauhemaalattujen levyjen pinnanlaatu mikroskooppisessa ja visuaalisessa tarkastelussa.

Levytyypin				
tunnus	perusrakenne	arvosana kenkävoide-testissä (1)	maalipinnan reikäisyys (2)	pinnan visuaalinen arvostelu (2)
K1	koivuv.+PE	3 - 4	3	3 - 4
K2	- - +MPP+PE	4 - 5	5	4
K3	- - +epoksip.+PE	2	3	3
K4	- - +PU	5	5	5
H2	havupuuv.+MPP+PE	3	3	3 - 4
H3	- - +epoksi+PE	1	2	2
H4	- - +PU	5	5	5
LL	LL+1	3	3	3 - 4
KL	KL+1	3 - 4	3	5
PE	LL+PE+1	3 - 4	4	3
PE2	LL+PE+2	3 - 4	4	3
V0	LL+V0+1	4 - 5	5	4 - 5
V03	LL+V0+3	4 - 5	5	4 - 5
AS	LL+AS+1	4 - 5	4 - 5	4 - 5
AS4	LL+AS+4	3 - 4	3	4 - 5
AS5	LL+AS+5	1 - 2	3 - 4	4
EP	LL+EP+1	3	3	3 - 4
EP4	LL+EP+4	3	3	3 - 4
LA	LL+UA	1	5	5
KA	KL+UA	1	5	5

- Huom: 1) Yleisvaikutelma kenkävahatestin jälkeen.
Arvosteluasteikko on sama kuin taulukossa 29.
2) Arvostelutavat on esitetty liitteessä 1, kohdassa 11.

5.2.8 Johtopäätökset koehavainnoista

Puulevyjen jauhemaalalaus on suhteellisen helppo toteuttaa teknisesti tässä työssä noudatetulla periaatteella. Maalataan yksi puoli kerrallaan, jolloin maalin levitystä seuraa välittömästi sulatus ts. polttovaihe.

Jauhemaalikerroksen oma paksuus oli 0,04 - 0,11 mm. Se riippui maalauskerrosten lukumäärästä ja peruslevyjen pinnoitustavasta. Parhaimmillaan oli jauhemaalatus levyn pinnansileys ja kiiltoarvo vertailutuotteiden tasolla (K2, KL, V03, AS, AS5). Yleisesti se jäi kuitenkin jonkin verran heikommaksi, mikä johtuu verkkoonnuttamisvaiheessa syntyneestä epätasaisuudesta.

Polyesterimaalin vedenläpäisy (K1 - H3) oli hyvin alhaisella tasolla. Epoksi-polyesteripulverimaalilla (LL) se oli korkeampi, vaikkakaan ei vielä hälyttävän suuri. Saman tuotteen mattapintaisella versiolla vedenläpäisyarvo oli jo hyvin suuri. Pelkän epoksipulverin (PE2) vedenläpäisy taas oli hyvin pieni.

Ulko-olosuhteisiin valmistettujen tuotteiden (K1 - H4) halkeilun kestävyys riippui pohjustustavasta. Parhaimmillaan se oli hyvä (K2 ja H2). Kyseinen maalausohjainnoite kestää itse erittäin hyvin säärasitusta, joten jauhemaalatus tuotteen hyvä kestävyys oli odotettavissa oleva asia. Muilta osin jauhemaalatus tuotteet jäävät jälkeen sääkokeen kestävyudessa vertailutuotteista (K4, H4).

Sisätarkoituksiin valmistetut levyt vaurioituivat vain vähän omassa, suhteellisen lyhytaikaisessa, kosteus- ja lämpösyklissä.

Jauhemaalien kulutuksenkestävyys oli parhaimmillaan jonkin verran parempi kuin vertailutuotteissa. Puhtaan polyesteripulverin (K1 - H3) kulutuksenkestävyys oli vähän huonompi kuin sekapolymeerien.

Kovuustuloksen suuruuteen vaikutti lähinnä levytyypin oma rakenne. Paras kovuus olikin maalaus pohjapaperilla pinnoitetulla ja jauhemaalatuilla koivuvanerilla (K2).

Iskunkestävyydet olivat kautta linjan suhteellisen korkeita. Näissäkin näkyi ennen muuta eri pohjustus- ja levytyyppien vaikutus lopputuloksiin.

Pinnoitteiden naarmuuntuvuus oli jauhemaalatuilla vanerilevyillä (K1 - H3) samaa tasoa. Jauhemaalattujen lastulevyjen naarmuuntumisen kestävyys oli hieman korkeammalla tasolla kuin vanerilevyillä.

Kaikkien pinnoitteiden tartunta alustaansa oli riittävän hyvä. Pienempien arvojen (esim. EP, EP4) syynä oli vetoko-keessa tapahtunut irtoaminen pinnoitteen sisältä.

Suppean kemikaalinkestävyydestin mukaan asetoni oli ongelmallinen liuote polyesteripulverille ja jossain määrin myös epoksi-polyesteripulverille. Alkoholitestissä oli kestävyys yleensä hyvä. Kahvia vastaan se oli erinomainen. Vesialtistus vaurioitti jonkin verran osaa epoksi-polyesteripulvereilla maalatuista tuotteista. Myös kenkävänan liuotteet saivat aikaan joitakin muutoksia samassa maalityypissä.

Polyesterimaalilla maalattujen levyjen ulkokoe osoitti samaa kuin nopeutettu saakoe. Jauhemaalien säänkestävyys on

kohtalainen, mikäli pohjustustapa itsessään on riittävästi säätökestävä. Koivupintaisten tuotteiden säänkestävyys oli parempi kuin havupuuvanerin. Säänkestävyys ei kuitenkaan yllä PU-maalatun tuotteen tasolle.

Visuaalinen tarkastelu nosti esiin puulevyjen jauhemaalauksen ehkä suurimman ongelman. Levyn pinta on yleensä täynnä pieniä "nuppineulanjälkiä". Joissain tapauksissa esiintyy myös kaasukuplan puhkeamisen aiheuttamia kraatereita.

Kokonaisuutena katsoen puulevyn pulverimaalaus etsiikin vasta omia muotojaan ja käyttöalueitaan. Valmiista, heti käyttöön otettavista maalityypeistä ei vielä voida puhua. Tässä tutkimuksessa havaitut ongelmat (reikäisyys, osittain heikko kemikaalinkestävyys) ovat varmasti voitettavissa maalityyppien ja prosessitekniikan kehitystyön avulla. Esimerkiksi levyjen esilämmitys ennen jauhemaalauksista on varteenotettava keino joidenkin ongelmien (reikäisyys) poistamiseksi.

6 PUUTUOTTEIDEN ELEKTROSTAATTINEN PINTAKÄSITTELY - JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Elektrostatiikka ei ole avain puutuotteiden kaikkiin lakkaus- tai maalausongelmiin. Oikein käytettynä sillä on kuitenkin myönteistä merkitystä vanhojen pintakäsittelytekniikoiden rinnalla ja osittain korvaavanakin menetelmänä. Lakansäästö, työsuojaus- ja automatisointinäkökohdat puoltavat elektrostatiikan käytön lisäämistä jatkossakin.

Mikäli pinnoiterintamalla tapahtuu samanaikaisesti kehitystä, ovat puun elektrostatiittisen pintakäsittelyn tulevaisuuden näkymät valoisat.

Elektrostaattinen lakkaus- ja maalausmenetelmä onkin tullut pysyvästi puuteollisuuteen. Useassa tapauksessa se on sovelias ja myös taloudellinen menetelmä.

Suomen oloissa, joissa valmistusmäärät ovat yleensä pieniä, eivät tule kysymykseen kalliit erityislinjat. Elektrostaattisesta tekniikasta parhaiten meillä hyödynnettävää aluetta ovatkin ruiskupistoolit.

Lakkauksen tai maalauksen hyötysuhdetta voidaan nostaa elektrostatiikan ansiosta. Tässä tutkimuksessa päästiin maalauksessa parhaimmillaan yli 40 % saantoon. Elektrostaattisessa lakkauksessa hyötysuhde ylitti 35 %. (Tavanomaisen matalapaineruiskutuksen hyötysuhde on 15 - 20 %).

Noin korkeiden hyötysuhteiden edellytyksenä on joko korkea puun kosteus (yli 10 %) tai puun sähkönjohtavuuden parantaminen jollakin muulla tavalla. Myös puun maadoitus on hoidettava huolella.

Erityisen sovelias keino sähkönjohtavuuden lisäämiseen on työskentelytilan suhteellisen kosteuden nostaminen (jonka on oltava vähintään 50 %). Jos puun oma kosteus on alhainen (alle 7 %), on syytä käyttää esimerkiksi vesikostutusta sähkönjohtokyvyn parantamiseen.

Elektrostaattisen pintakäsittelyn ihanneolosuhteet ovat 8 - 10 % puun kosteus ja riittävä työskentelytilan kosteus. Tätä tutkimuksen johtopäätöstä vahvistivat myös kirjallisuudesta saadut tiedot.

Elektrostaattisella menetelmällä päästään samantasoiseen lopputuotteen laatuun kuin tavallisella ruikutuspistoolitekniikalla. Elektrostatiikan etua, liuospisaroiden kiertymistä takapinnalle (ruikutussuunnasta katsoen), voidaan

parhaiten hyödyntää silloin, kun kappaleen muoto ei ole monimutkainen. Sopivalla työjärjestelyllä saadaan takapinnalle lähes samanpaksuinen kalvo kuin etupinnalle.

Kulmat ja eri tavalla "ahtaat" kohdat ovat elektrostatiikalle hankalia. Muodostuvan Faradayn häkki-ilmion torjumiseksi ei ole muuta hyvää keinoa kuin sähkökentän sulkeminen kyseisen lakkaushetken ajaksi. Tästäkin syystä ovat elektrostatiikan edut parhaimmillaan suhteellisen yksinkertaisten kappaleiden pintakäsittelyssä.

Tärkeistä elektrostaattiseen työskentelyyn vaikuttavista muuttujista jäi tämän tutkimuksen ulkopuolelle jännitteen vaikutus. Käytetty 80 kV:n jännite on todennäköisesti puunkannalta liian korkea - näin ainakin eräiden kirjallisuuslähteiden mukaan. Jatkotutkimuksissa olisikin kiinnitettävä huomiota ennen kaikkea tähän puoleen. Olisi selvitettävä, mitä jännitteen alentaminen vaikuttaa puun elektrostaattisen pintakäsittelymenetelmän tuloksellisuuteen.

Puulevyjen jauhemaalauستا ei maailmalla juurikaan suoriteta. Menetelmä on otettu käyttöön muutamissa tehtaissa, mutta se ei ole yleistynyt suhteellisen myönteisistä käytökokemuksista huolimatta. Suomessa puulevyjen jauhemaalauستا on toistaiseksi tehty vasta koemittakaavassa.

Nyt saatujen tutkimustulosten mukaan ei puulevyjen jauhemaalauksen yleistymisen esteenä ole tekniikka eikä jauhemaalityypit. Myös puulevyjen jauhemaalauستا edeltävä esipinnoitus hallitaan riittävän hyvin.

Menetelmä ei kuitenkaan tarjoa nykyisellään riittäviä etuja liuos pohjaisiin maalaustapoihin verrattuna. Jauhemaalauksen osalta asiaa pahentaa vielä se, että liuosmaalauksen puolella on viime vuosina tapahtunut ripeää edistymistä. Tästä eräänä osoituksena on epoksipohjusteisten polyuretaanimaalien hyvät säänkestävyysominaisuudet.

Jauhemaalattujen puulevyjen ominaisuudet ovat muihin maalauksella pinnoitettuihin levyihin nähden useimpien ominaisuuksien suhteen aivan vertailukelpoisia. Edellytyksenä tähän oli oikeantyyppinen puulevyn alkupohjustus. Säänkestävyyden suhteen jauhemaalit eivät kuitenkaan yllä samalle tasolle kuin esimerkiksi polyuretaanimaalit.

Jauhemaalien keskeiseksi ongelmaksi nousi tutkimuksessa kovettamistapa (verkkoonnuttaminen). Kovettumisvaiheessa (IR-kovetus) pintaan tuli neulanpistoreikiä tai kraatereita. Tämä yksin riittää rajaamaan jauhemaalit pois vaativista käyttökohteista.

Jauhemaalattujen puulevyjen kehitystyön pitäisikin ennen muuta lähteä liikkeelle sopivien käyttökohteiden etsimisestä. Potentiaalisia alueita voisivat olla esimerkiksi ulkoseinät tms.

Jatkotutkimukseen liittyviä kysymyksiä ovat mm. sopivien seossuhteiden löytäminen sekapolymeereille. Samalla olisi kiinnitettävä huomiota jauhemaalien hiukkaskokoon yms. fysikaalisiin ominaisuuksiin, joiden avulla voidaan kehittää, lopputuotteen pinnanlaatua nykyisestä tasosta.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Anon. 1980. Powder coating on wood based materials. Fira-Bulletin, 20, 70, s. 5.
- Anon. 1975a. Metallipintojen pinnoittaminen jauhevärillä. Helsinki, Suomen metalliteollisuusyhdistys, teknillinen tiedotus 5/75. 18 s.
- Anon. 1975b. Jauhemaalauksen automatisointi. Helsinki, Suomen metalliteollisuusyhdistys, teknillinen tiedotus 6/75. 145 s.
- Burckhardt, W. 1983. Alte und neue Lackierverfahren. Teil III, Industrie - Lackier - Betrieb 51, 10, s. 351 - 355.
- Fagerholm, K. 1983. Puun sähköstaattinen ruiskumaalaus. Ruutu 6, s. 10 - 13.
- Ford, E. 1982. Powder coating wood substrates. Wood & Wood products 87, 10, s. 12.
- Fröblom, J. 1984. Huonekaluteollisuuden tuotteiden pinnan karheus ja sen mittaaminen. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 288. 113 s. + liitt. 10 s.
- Heberlein, K. 1978. Elektrostatische Holzlackierung. Industrie-Lackier-Betrieb 46, 2, s. 64 - 67.
- Hägglund, G. & von Tell, B. 1986. Elektrostatisk lackering av trä. Stockholm, Träteknikcentrum, Rapport 7 8602016. 74 s.
- Jansson, L. 1986. Elektrostatisk lackering av massproducerade, svärmålade trädetaljer. Trä och Teknik -86. Göteborg, 4.9.1986. Stockholm, Träteknikcentrum. S. 18 - 22.

Jämsä, S. & Mansikkamäki, P. 1983. Puutuotteiden elektros-
taattinen pintakäsittely. Esitutkimus. Espoo, Valtion tek-
nillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 201. 28 s.

Kärkkäinen, M. 1977. Puu, sen rakenne ja ominaisuudet.
Helsinki, Helsingin yliopiston monistuspalvelu. 442 s.

Muilu, J. 1985. Pinnoitetun vanerin käyttö liikennemerkeis-
sä. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita
499. 51 s. + liitt. 15 s.

Mähönen, P. 1984. Suullinen tiedonanto. Teknos-Maalit Oy.
5.11.1984. Helsinki.

Schäfer, G. 1981. Weiterentwicklung und Automation bei
elektrostatischen Lackiergeräten für die Nasslackierung.
Industrie - Lackier - Betrieb 49, 6, s. 193 - 199.

Spiller, L. 1974. The basic principles of elektrostatic
coating. In: Chapman, B. & Andersson, J. (ed.). Science and
Technology of Surface Coating. London, Academic Press.
S. 29 - 51.

Stamm, A. 1964. Wood and Cellulose Science. North Carolina,
The Ronald Press Company. 549 s.

Venkateswaran, A. 1974. The interdependence of the ligning
content and electrical properties of wood. Wood and Fiber
6, 1, s. 46 - 52.

Venkateswaran, A. & Desai, R. L. 1977. Ammoniacal zink salt
preservatives as conductive bases for elektrostatic
coatings on wood. Journal of Coatings Technology
49, 630, s. 39 - 41.

Viitanen, H. & Nurmi, A. 1986. Sahatavaran sinistymänesto
sähköstaattisella ruiskutusmenetelmällä. Espoo, Valtion
teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 391. 33 s. + liitt.
2 s.

TUTKIMUKSESSA SUORITETUT TESTAUKSET

1. Pinnoitteen paksuus mitattiin VTT:n puulaboratoriossa kehitetyn mikroskooppisen menetelmän avulla, joka pohjautuu SFS-standardiin 3644 (VTT-test 1551-83, ks. liite 1/5, kohta 1).
2. Pinnansileys määritettiin laitteella, jonka liikkuva neulakärki seuraa pintaprofiilia. Kone jakaa tutkittavan alueen viiteen osaan, josta se mittaa korkeimman huippu- ja matalimman laaksokohdan. Tätä kutsutaan pinnan Ra-arvoksi. Ra-karheus kuvaa siis pinnan epäta-saisuuksien keskimääräistä poikkeamaa keskilinjalta, ns. keskipoikkeamaa.

Kunkin mittausalueen pituus oli 25 mm. Mittausnopeus oli 1 mm/sek. Mittakärjen puolipallon halkaisija oli 5 µm. Kokeen arviointi on SFS-standardin 2038 mukainen (liite 1/5, kohta 2).

3. Pinnoitteen tarttuvuutta tutkittiin SFS-standardin 3765 mukaisella vetokokeella (VTT-test 1577-83, liite 1/5, kohta 3).
4. Pinnoitteen kiiltoarvo määritettiin Gardner-kiiltomit-tarilla. Laitteessa on valosädekimppu, joka kohtaa tutkittavan pinnan 60^o kulmassa. Laite mittaa kohteesta takaisin mittausanturiin heijastuneen valon määrää. Koe on SFS-standardin 3632 mukainen (liite 1/4, kohta 4).
5. Säätä kestävästi maalattujen levyjen (levyt K1 - H4) pinnoitteen halkeiluvuuta analysoitiin VTT:ssa kehitet-tyllä menetelmällä. Siinä jakaantuu 7 vuorokauden mit-tainen koesykli kahteen osasykliin seuraavasti:

Vesialtistus	+20 °C	1 x 2 h	1 x 2 h
Pakkasaltistus	-12 °C	1 x 22 h	1 x 22 h
Lämpöaltistus	+50 °C	<u>1 x 48 h</u>	<u>1 x 72 h</u>
		72 h + 96 h = 168 h	

Halkeilukokeen kokonaiskesto-aika oli 42 viikkosykliä.

Pinnanlaadultaan korkeatasoisen jauhemaalauksen levyjä (levyt LL - LA) altistettiin kosteus- ja lämpökäsittelyllä. Levyjä pidettiin 5 vrk RH 95 %/20 °C olosuhteissa ja sen jälkeen niitä kuivattiin 2 vrk + 50 °C. Kokeen kesto-aika tältä osin oli vain 7 viikkoa. Koelevyjen vähäisen lukumäärän vuoksi halkeilukestävyyttä ei voitu tehdä kaikille levytyypeille.

6. Pinnoitteen vedenläpäisyä tutkittiin kuitulevyille tarkoitettua Gobb-menetelmää soveltaen. Kuitulevytestissä käytettiin 2 h:n imeytymisaikaa. Tämän tutkimuksen sovellutuksessa se oli 24 h, (VTT-test 1569-83, liite 1/5, kohta 5).
7. Pinnoitteen kulutuksenkesto määritettiin SIS-standardin 245820 mukaan Taber Abraser-laitteella santapaperinauhojen (S-33) avulla. Kummankin kulutuspyörän kuormitus oli 5,3 N (VTT-test 1555-80, liite 1/5, kohta 6).
8. Pinnoitteen kovuus selvitettiin Brinell-kovuusmittarin avulla. Kovuusmittarin puolipallokärjen halkaisija oli 10 mm ja käytetty mittausvoima 132 N. Testaustapa oli DIN-standardin 50351 mukainen (liite 1/5, kohta 7).
9. Iskunkestävyytestissä pudotettiin 225 g:n painoista (halkaisija 35 mm) teräskuulaa vaakatasoon sijoitetun vanerilevyn pintaan. Testattava levy oli vapaasti betonialustan päällä. Iskunkestävyyssarvoksi ilmoitettiin se pudotuskorkeus, missä pinnoite murtui iskujäljen reunaan. Testaus pohjautui Nema-standardiin LD3-1980 (liite 1/5 kohta 8).
10. Pinnoitteen naarmuuntuvuus testattiin käsikäyttöisellä laitteella, jonka terävä pallokärki naarmuttaa pinnoitetta liikkeen ja kuormituksen yhteisvaikutuksesta.

Tuloksena ilmoitettu naarmuuntumisvoima tarkoittaa tilannetta, missä yhtenäisen naarmuuntumisjäljen leveys oli 0,5 - 0,7 mm. Testaus suoritettiin SFS-standardin 3634 (VTT-test 1852-80, liite 1/5, kohta 9) mukaan.

11. Kemikaalien kestävyystestissä liuosmuodossa olevat aineet imeytyivät suodatinpaperiin. Haihtumista estettiin kellolasin avulla. Koeajat ja käytetyt kemikaalit selviävät tämän liitteen taulukosta 1. Kokeen suoritus-tapa oli SFS-standardin 4969 mukainen. Rinnakkaiskokeita oli 2 kpl.

Rasvankestävyydestä tehtiin kahdella tapaa. Siinä selvitettiin pelkän rasvan vaikutusta sekä naarmutetun pinnan kautta tapahtuvaa vaikutusta. Pinta naarmutettiin SFS-standardin 3634 mukaisella laitteella (ks. kohta 10).

Kenkävahatestissä hangattiin musta kiillote (Viking) levyjen pintaan. 24 h vaikutusajan jälkeen levyn pinta puhdistettiin ja tarkastettiin kenkävahan tunkeutumista pinnanhuokosiin ja "kraatereihin". Tarkastelu oli sekä visuaalista että mikroskooppista (pintavalomikroskooppi, suurennus ~ 10-kertainen). Testissä tarkastettiin värinmuutosta (taulukko 29, sivu 80), yleisvaikutelmaa, maalipinnan reikäisyyttä ja pinnan visuaalista laatua (taulukko 31, sivu 83). Menetelmä perustuu SIS-standardiin 245820 (liite 1/6, kohta 6).

Taulukko 1. Kemikaalinkestävyydestin suoritustapa.

Ominaisuus	Testausmenetelmä	Testausaika
Vedenkestävyys	SFS 3756	24 h
Rasvankestävyys	SFS 3756	24 h
Rasvankestävyys + naarmutus	SFS 4367	8N/24h
- " -	- " -	12N/24h
Kahvinkestävyys	SFS 3756	16 h
Asetoninkestävyys	SFS 3756	2 min
Alkoholinkestävyys	SFS 3756	16 h
Mustaviinimarja- mehunkestävyys	SFS 3756	16 h
Lämmönkestävyys	SFS 3757	85 ⁰ C+kosteus 15 min
- " -	- " -	85 ⁰ C
Kengänkiillokkeen tunkeuma pintaan	SIS 245820	24 h

Visuaalinen arvostelu nojautui mikroskooppiseen takaste-
luun. Käytetyn pintavalomikroskoopin suurennos oli 10-ker-
tainen.

Maalipinnan reikäisyyttä (taulukko 31, sivu 83) arvostel-
tiin seuraavasti:

- 5 ei lainkaan tai hyvin vähän pieniä reikiä (koko alle
0,2 mm),
- 4 vähän pieniä ja/tai erittäin vähän suuria (yli 0,2
mm) reikiä,
- 3 jonkin verran pieniä ja/tai vähän suuria reikiä,
- 2 runsaasti pieniä ja/tai jonkin verran suuria rei-
kiä,
- 1 koko pinnoitteen alalla pieniä ja/tai suuria rei-
kiä.

Visuaalisen arvostelun asteikko oli seuraava (taulukko 31, sivu 83):

- 5 visuaalisesti moitteeton tuote,
- 4 pientä pinnan epätasaisuutta tms. ulkonäköä häiritsevää, mutta ei mainittavaa vaikutusta käyttöön,
- 3 jonkin verran kraatereita, naulanpääreikiä tms. maalipinnassa, jotka tuntuvat käsin kosketettaessa epätasaisuutena ja jolla on vaikutusta levyn käyttöön tai käyttökohteen valintaan,
- 2 paljon erityyppisiä vikoja pinnassa,
- 1 visuaalisestikin arvostellen tuote on käyttökelpoton.

TESTAUKSISSA KÄYTETYT STANDARDIT

1. Maalit ja lakat. Kalvon paksuuden määrittäminen. Suomen Standardisoimisliitto. 1977. 12 s.
2. Pinnan karheuden käsitteet. Suomen Standardisoimisliitto. 1969. 3 s.
3. Maalit ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. Suomen Standardisoimisliitto. 1980. 6 s.
4. Maalit ja lakat. Kiillon mittaus. Suomen Standardisoimisliitto. 1977. 7 s.
5. Provmeter för fiberskivor vid wallboardindustrins centrallaboratorium. Stockholm. 1964. 3 s.
6. Plastlaminatskivor. Kvalitet och provning. Sveriges standardisering kommission. 1977. 10 s.
7. Prüfung metallischer Werkstoffe, Härteprüfung nach Brinell. Deutsche Normen. 1973. 5 s.
8. High-pressure decorative laminates. National electrical manufacturers association. 1980. 59 s.

9. Maalit ja lakat. Naarmutuskoee. Suomen Standardisoimisliitto. 1976. 5 s.
10. Asunnon kiintokalusteet. Toiminnalliset ominaisuudet. Testausmenetelmät ja vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto 1983. 4 s.

KOEKAPPALEIDEN KALVON PAKSUUS JA PINNANSILEYS

Taulukko 1. Huoneilman kosteuden vaikutus pintkäsiteltyjen koivukappaleiden kalvon paksuuteen.

Puun kosteus %	Huoneilman kosteus %	Levitysmäärä g/m ²		Σ	Kalvon paksuus (μm)							
		Pohjalakka x̄	Pintalakka x̄		Mittauspiste							
					1	s	2	s	3	s	4	s
5,6	42 "	61,4	53,9	115,3	42	5	37	2	15	2	10	2
	"	58,9	-	58,9	14	1	14	2	-	-	6	1
	60 "	49,8	73,4	123,2	32	11	37	6	21	10	22	0
	"	60,7	-	60,7	17	3	20	2	9	2	8	3
8,2	75 "	44,4	69,2	113,6	49	6	37	3	28	10	13	1
	"	51,9	-	51,9	15	1	7	6	7	2	5	2
	42 "	72,5	54,8	127,3	35	12	35	2	11	2	15	2
	"	77,5	-	77,5	15	6	17	2	6	5	5	4
12,5	60 "	58,0	72,9	130,9	31	5	31	4	15	3	14	1
	"	67,0	-	67,0	18	3	18	3	5	4	4	4
	75 "	70,7	52,1	122,8	30	3	31	14	14	6	27	12
	"	79,7	-	79,7	14	8	12	7	7	2	7	0
12,5	42 "	95,7	61,6	157,3	42	5	37	2	15	2	10	2
	"	51,6	-	51,6	11	4	12	1	7	3	10	1
	60 "	80,2	76,5	156,7	33	8	30	1	20	4	18	3
	"	81,5	-	81,5	17	3	16	4	15	2	12	2
12,5	75 "	81,5	72,9	154,4	49	6	37	3	28	10	18	1
	"	87,4	-	87,4	18	4	16	6	8	7	14	2

Taulukko 2. Huoneilman kosteuden vaikutus pintkäsiteltyjen koivukappaleiden pinnansileyteen.

Puun kosteus %	Huoneilman kosteus %	Levitysmäärä g/m ²				Pinnansileys Ra (μm)			
		Pohjalakka		Pintalakka		Ennen pintakäsittelyä		Pintakäsittelyn jälkeen	
		x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s
5,6	42 "	62,2	10,0	52,7	2,8	4,5	0,5	2,4	0,6
	"	58,9	-	-	-	4,2	0,2	3,7	0,9
	60 "	55,4	17,4	66,9	7,3	4,5	0,6	2,5	0,8
	"	60,7	-	-	-	4,9	0,4	5,5	1,0
8,2	75 "	50,5	10,3	64,6	4,6	5,0	1,2	2,3	0,8
	"	51,9	-	-	-	4,7	0,5	4,8	1,5
	42 "	79,0	6,9	51,7	11,3	4,3	0,8	2,8	0,8
	"	77,5	-	-	-	4,0	0,2	2,8	0,6
12,5	60 "	59,8	10,1	73,0	1,8	4,9	1,4	2,3	1,2
	"	67,0	-	-	-	5,1	0,8	6,0	2,1
	75 "	84,5	11,1	64,4	8,6	4,4	0,6	2,6	1,1
	"	79,7	-	-	-	3,9	0,3	3,1	0,3
12,5	42 "	74,9	17,9	55,0	8,9	4,3	0,5	2,0	0,4
	"	51,6	-	-	-	4,2	0,2	3,7	0,8
	60 "	76,4	4,8	63,7	11,6	4,3	0,7	2,4	0,6
	"	81,5	-	-	-	3,4	0,2	2,1	0,2
12,5	75 "	88,6	9,0	69,0	2,9	4,0	0,5	2,4	0,9
	"	87,4	-	-	-	4,1	0,5	3,7	0,7

KOEKAPPALEIDEN KALVON PAKSUUS JA PINNANSILEYS

Taulukko 1. Lämpötilan ja huoneilman kosteuden vaikutus pintakäsiteltyjen koivukappaleiden kalvon paksuuteen.

Puun kosteus %	Huoneilman kosteus %	Levitysmäärä g/m ²		Σ	Kalvon paksuus (μm)							
		Pohjalakka x̄	Pintalakka x̄		Mittapiste							
					1	s	2	s	3	s	4	s
5,6	38"	60,9	35,3	96,2	39	2	30	2	11	10	13	0
		73,6	-	73,6	26	5	20	3	11	3	12	1
	60"	65,2	63,2	128,4	40	9	37	5	14	3	18	4
		42,1	-	42,1	15	1	19	4	7	6	-	-
8,2	38"	61,6	69,5	131,1	48	3	30	4	14	5	14	4
		94,7	-	94,7	17	4	22	13	8	1	13	1
	60"	92,8	64,3	157,1	37	2	40	3	11	1	18	2
		82,0	-	82,0	25	6	20	1	5	5	5	4
12,5	38"	92,4	61,0	153,4	42	7	40	8	13	6	27	4
	"	83,8	-	83,8	13	2	18	3	6	5	12	1
	44"											
	61"	76,3	65,2	141,5	43	3	34	6	17	4	23	6
	"	70,7	-	70,7	19	2	17	1	9	1	7	7

Taulukko 2. Lämpötilan ja huoneilman kosteuden vaikutus pintakäsiteltyjen koivukappaleiden pinnansileyteen.

Puun kosteus %	Huoneilman kosteus %	Levitysmäärä g/m ²				Pinnansiley Ra (μm)			
		Pohjalakka		Pintalakka		Ennen pintakäsittelyä		Pintakäsittelyn jälkeen	
		x̄	s	x̄	s	x	s	x̄	s
5,6	38"	67,6	7,6	44,8	6,8	4,9	0,4	3,0	0,8
		62,5	-	-	-	4,8	0,7	4,8	0,6
	60"	61,6	21,3	61,3	10,8	4,6	0,7	2,4	0,6
		96,5	-	-	-	5,0	1,1	5,7	0,4
8,2	38"	71,1	10,3	62,4	7,6	4,5	0,6	2,9	0,6
		87,0	-	-	-	6,2	2,5	5,0	2,1
	60"	67,2	20,6	57,4	6,2	4,3	0,6	2,4	0,6
		82,0	-	-	-	5,2	0,8	4,8	1,0
12,5	38"	83,6	11,4	59,6	6,8	4,5	0,8	2,7	0,9
	"	83,8	-	-	-	4,2	0,2	3,5	1,0
	44"	66,4	7,6	59,6	4,9	5,7	1,3	4,9	0,8
	"	62,1	-	-	-	5,6	0,1	5,0	0,7
	61"	76,3	5,4	58,1	9,3	4,7	0,9	2,8	0,9
	"	70,7	-	-	-	5,6	2,0	4,5	1,8

KOEKAPPALEIDEN KALVON PAKSUUS

Taulukko 1. Koivukappaleiden kalvon paksuus. Ennen ponjalakkausta pintaa on kostutettu vedellä.

Puu- laji	Kosteus ennen pinnan kostutta- mista	Levitysmäärä g/m ²		Kalvon paksuus (μm)							
		Pohja- lakka \bar{x}	Pinta- lakka \bar{x}	Mittapiste							
				\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Mänty	6,6	92,5	-	30	5	38	1	20	4	29	2
"	"	64,5	81,2	38	2	50	2	28	3	22	3
Mänty	8,7	80,7	-	32	4	26	2	20	5	19	3
"	"	96,1	64,2	47	5	47	12	39	15	21	6
Mänty	12,1	105,1	64,1	52	4	40	5	36	2	22	3
"	"	102,2	-	36	12	31	9	25	5	32	8
Tammi	5,6	62,3	-	19	3	26	4	15	2	16	5
"	"	72,3	86,2	45	1	26	2	17	1	20	3
Tammi	7,1	59,7	-	18	2	25	7	11	3	12	1
"	"	80,7	59,1	32	3	29	2	15	2	24	1
Tammi	9,7	105,1	-	26	5	21	9	13	4	15	2
"	"	89,1	75,1	36	4	41	7	31	3	14	7
Saarni	5,8	69,8	-	20	1	13	1	13	6	19	7
"	"	73,5	52,9	21	2	17	3	26	7	18	5
Saarni	7,1	82,6	-	16	5	17	3	-	-	8	2
"	"	80,7	82,9	31	2	37	2	31	6	21	2
Saarni	10,3	73,9	-	14	3	14	3	9	1	9	1
"	"	74,2	73,9	35	2	37	4	29	2	17	1
Pyökki	5,7	60,4	-	10	1	17	4	13	5	11	2
"	"	99,7	104,4	25	3	18	3	14	1	12	0
Pyökki	7,3	88,8	-	13	3	12	2	10	1	9	2
"	"	89,0	57,0	35	3	26	8	21	2	24	4
Pyökki	10,3	107,5	-	9	3	18	4	7	1	16	6
"	"	97,1	82,6	37	2	24	3	21	4	15	4
Koivu	5,6	61,6	54,5	23	2	37	4	7	12	-	-
"	"	66,1	-	35	8	19	23	-	-	13	12
Koivu	8,2	70,7	67,8	37	3	44	2	21	3	21	8
"	"	72,9	-	18	1	16	14	7	12	12	11
Koivu	12,5	61,6	-	18	1	30	6	5	8	24	1
"	"	70,2	80,0	44	4	46	8	42	4	28	4

KOEKAPPALEIDEN KALVON PAKSUUS

Taulukko 1. Koivukappaleiden kalvon paksuus, kun pintaa on ennen pintakäsittelyä kostutettu suolaliuksella.

Puun kosteus %	Levitysmäärä g/m ²		Σ	Kostutus- liuos	Kalvon paksuus (μm)							
	Pohja- lakka	Pinta- lakka			Mittauspiste							
					\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
5,6	82,2	70,2	152,4	2 % NaCl	46	3	56	10	9	3	19	4
"	77,0	-	77,0	"	24	1	14	3	16	8	3	5
8,2	82,6	58,9	141,5	"	30	3	53	2	8	7	17	1
"	80,6	-	80,6	"	18	2	23	5	3	5	13	5
12,5	65,1	60,7	125,8	"	55	3	39	13	14	5	8	7
"	62,8	-	62,8	"	21	1	23	2	-	-	12	3
5,6	53,4	62,5	115,9	2 % NH ₄ Cl	42	9	45	7	7	6	12	2
"	52,4	-	52,4	"	14	9	34	12	4	6	5	5
8,2	68,1	72,5	140,6	"	29	6	64	1	20	3	25	2
"	66,6	-	66,6	"	32	5	19	4	15	1	5	8
12,5	81,1	67,0	148,1	"	48	10	70	2	16	2	30	3
"	58,2	-	58,1	"	42	2	23	7	12	5	8	1

JAUHEMAALATTUJEN LEVYJEN VERKKOONTUMISAJAT

Säänkestävän jauhemaalauksen suoritustapa Teknos-Maalit Oy:ssä. Uunin ratanopeus 6 m/min. Maalina polyesteripulveri. Säteilijöitä 3 kpl. Muuttuvat tiedot oheisessa taulukossa.

Tunnus ja levyn järjestysnumero (1)	Verkkoontumisaika s	Uunin teoreettinen pituus, m
K1. 1	106 + 94 (2)	10,6 + 9,4
K1. loput	95 + 144	9,5 + 14,4
K2. 1 - 8	140	14,0
K2. 9 - 12	146	14,6
K3. 1 - 6	143	14,3
K3. 7 - 8	150	15,0
H2. 1 - 5	146 (tai 144)	14,6 (14,4)
H2. 9 - 12	150	15,0
H3. 1	90	9,0
H3. 2	197	19,7
H3. 3 - 4	146	14,6
H3. 5 - 8	90 + 56 (3)	9,0 + 5,6
H3. 9 - 10	90 + 55 (4)	9,0 + 5,5

- Huom: 1) Kokeissa kutakin levytyyppiä käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena verkkoontumisvaiheen pienistä eroista huolimatta.
 2) Välihiointa ennen toista maalauskertaa.
 3) Välissä 120 sekunnin jäähdytys.
 4) Välissä 60 sekunnin jäähdytys.

Pinnanlaadultaan korkeatasoisen jauhemaalauksen suoritustapa Teknos-Maalit Oy:ssä.

Uunin ratanopeus 6 m/min. Säteilijöiden lukumäärä 4 kpl. Muuttuvat tiedot oheisessa taulukossa.

Tunnus	Maalityyppi	Verkkoontumis- aika, s	Uunin teoreet- tinen pituus, m
LL.1	EP/PE (1)	105	10,5
LL. 2 - 6	- -	132	13,2
KL	- -	131	13,1
PE	- -	105	10,5
VO	- -	105	10,5
AS	- -	105	10,5
EP	- -	105	10,5
PE2	Al-kovett. EP (2)	80	8,0
VO3	EP/FE, FK (3)	105	10,5
AS4	EP/PE, matta (4)	80	8,0
AS5	EP/PE, hienoj. (5)	105	10,5
EP4	EP/PE, matta (4)	80	8,0

- Huom: 1) Epoksi-polyesteripulveri, 50/50, raekoko alle 100 μm .
2) Epoksipulveri, efektiivinen.
3) Fenolihartsikovetteinen epoksipulveri.
4) Epoksi-polyesteripulveri, 50/50, matta.
5) Epoksi-polyesteripulveri, 50/50, raekoko alle 50 μm .

Julkaisija



Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Vuorimiehentie 5
02150 Espoo
puh. (90) 4561, teleksi 125175

Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi

VTT Tutkimuksia 459

FI+VTTTUTK-87/459

Julkaisuaika

Tammikuu 1987

Projektinnumero

733006-1

<p>Tekijät Jämsä, Saila Muilu, Jaakko</p>	<p>Projektin nimi Elektrostaattinen maalaus</p>	
<p>Nimeke PUUN JA PUULEVYJEN ELEKTROSTAATTINEN PINTAKÄSITTELY</p>	<p>Toimeksiantaja VTT:n istunto, VTT puulaboratorio, teollisuus</p>	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin puun elektrostaattista pintakäsittelyä liuos- ja jauhemaalilla.</p> <p>Elektrostaattisessa menetelmässä sopivin puun kosteustaso on 8 - 10 %. Tätä kuivemman puun johtavuutta on parannettava joko kostuttamalla pintaa vedellä tai nostamalla työskentelytilan kosteutta. Ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla yli 50 %.</p> <p>Elektrostaattisessa pohjalakkauksessa hyötysuhde oli 27 - 38 % (puun kosteus 8 %). Pintaleikkauksessa hyötysuhde oli jonkin verran alhaisempi. Tuolien lakkauksessa oli hyötysuhde yli 30 %. Perinteisessä matalapaineruiskutuksessa se on 15 - 20 %. Elektrostaattisessa maalauksessa oli hyötysuhde parhaimmillaan 30 - 40 %. Ongelmallisia kohteita tekniikassa olivat kulmat ja syvennykset.</p> <p>Jauhemaalitekniikassa oli vartenotettava kokonaisratkaisu polyesteripulverilla maalattu ja maalauspohjapaperilla pinnoitettu vaneri. Tuotteen säänkestävyys oli hyvä, vaikkakaan se ei yltänyt epoksi-pohjustetun ja polyuretaanilla maalatun vanerin tasolle.</p> <p>Spaklatun lastulevyn jauhemaalaukseen soveltuu epoksi-polyesteripulveri. Sen ominaisuudet olivat lähellä vertailutuotteen tasoa (uretaani-alkydimaali). Suurin este laajemmalle käytölle oli esteettinen. Tuotteen pinnassa oli kovettumistavasta (IR-kuumennus) johtuvia neulanpistoreikiä ja kraatereita.</p>		
<p>Toimintayksikkö Puulaboratorio, Puumiehenkuja 2 A, 02150 Espoo</p>		
<p>ISSN ja avainnimeke 0358-5077 Tutkimuksia - Valtion teknillinen tutkimuskeskus</p>		
<p>ISBN 951-38-2741-0</p>	<p>Kieli suomi, Engl. abstr.</p>	
<p>Luokitus (UDK) 621.795:674.04:667.634 691.11:624.011.1:674.81/.02 678.061:691.57</p>	<p>Avainsanat wood, electrostatic coating, wood panels, boards, paints, plywood, polyester resins, particle boards, surface finishing, weather resistance</p>	
<p>Myynti: Valtion painatuskeskus Kirjakaupat Helsingissä: Annankatu 44 Eteläesplanadi 4 Puh. (90) 17341 Puh. (90) 662801 Postimyynti: PL 516, 00101 Helsinki Puh. (90) 56601</p>	<p>Sivuja 91 s. + liitt. 12 s.</p>	<p>Lisätietoja</p>
<p>Hinta 58 mk</p>		



Authors Jämsä, Saila Muilu, Jaakko	Name of project Elektrostaattinen maalaus	
	Commissioned by VTT's Board, Technical Research Centre of Finland, Forest Products Laboratory, industry	
Titet ELECTROSTATIC COATING OF WOOD AND WOODEN BOARDS		
Abstract <p>The electrostatic coating of wood with solvent and powder paints was studied.</p> <p>In electrostatic method the most suitable moisture level for wood is 8 - 10 %. The conductivity of drier wood has to be improved either by moistening the surface of the wood with water or by raising the moisture in the working environment. The relative humidity of air should be over 50 %.</p> <p>In electrostatic priming the efficiency of priming varied from 27 to 38 % (wood moisture 8 %). In surface lacquering the efficiency was somewhat lower. In chair lacquering the efficiency was 30 %. In traditional low pressure spraying it is 15 - 20 %. In electrostatic painting the efficiency was 30 - 40 % at best. The corners and recesses caused technical problems.</p> <p>In powder paint technique a solution to be considered was plywood painted with polyester powder and coated with paint base paper. Its weather resistance was good although it did not reach the level of plywood primed with epoxy and painted with polyurethane.</p> <p>Epoxy/polyester powder was suitable for the powder painting of filled particle board. Its properties were close to the level of the reference product (urethane-alkyd paint). The largest obstacle to more extensive use was aesthetic. Owing to the mode of hardening (IR-heating) the surface of the product had nail point holes and craters.</p>		
Activity unit Forest Products Laboratory, Puumiehenkuja 2 A, SF-02150 Espoo, Finland		
ISSN and key name 0358-5077 Tutkimuksia - Valtion teknillinen tutkimuskeskus		
ISBN 951-38-2741-0	Language Finnish, Engl. abstr.	
Class (UDC) 621.795:674.04:667.634 691.11:624.011.1:674.81/.02 678.061:691.57	Key words wood, electrostatic coating, wood panels, boards, paints, plywood, polyester resins, particle boards, surface finishing, weather resistance	
Sold by Government Printing Centre P.O. Box 516 SF-00101 HELSINKI phone internat. + 358 0 56601	Pages 91 p. + app. 12 p. Price FIM 58	Note

