

Jussi Sulamäki

Puuteollisuuden jäännösmaalien hyödyntäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

24.1.2013

Tekijä(t) Otsikko	Jussi Sulamäki Puuteollisuuden jäännösmaalien hyödyntäminen
Sivumäärä Aika	42 sivua 24.1.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	materiaali- ja pintakäsittelytekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	rakennusten pintakäsittelyt
Ohjaaja(t)	lehtori Arto Yli-Pentti ympäristö- ja turvallisuusalueen erikoisasiantuntija Pekka Kotilainen
<p>Insinööriyössä pyrittiin kehittämään kustannustehokas tapa hyödyntää puuteollisuuden jäännösmaaleja sen sijasta, että maalit hävitettäisiin kokonaan. Uusia tapoja pohdittiin työn teettävän yrityksen ja sen asiakkaiden kanssa.</p> <p>Työmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta, kokeellisia menetelmiä ja haastatteluja.</p> <p>Jäännösmaalien hyödyntämistä lähestyttiin useammasta eri näkökulmasta. Jäännösmaalien käyttö betonin valmistuksessa, puunvärisen yleispohjamaalin kehittäminen jäännösmaaleista ja jäännösmaalien uudelleensävyttäminen olivat lisätutkimusten arvoisia. Näistä toteutuskelpoisimpana hyödyntämismahdollisuutena pidettiin jäännösmaalien uudelleensävyttämistä.</p> <p>Jäännösmaalien uudelleensävyttämisessä ongelmaksi muodostui itse jäännösmaalien sävyttäminen, koska kyseessä oli ohennettuja tuotteita, joille ei tiedetä tarkkoja sävytys-suhteita. Jäännösmaalien käyttöä betonin lisäaineena tutkittiin puristuslujuus- ja vedenimukykymittauksin. Mittaustuloksista kävi ilmi, että maalin lisääminen betoniin ei ole kannattavaa betonin ominaisuuksien parantamiseksi. Puristuslujuus heikkeni maalin lisäyksen johdosta ja vedenimukyky pieneni hieman lisättäessä siihen maalia, mutta tämän ominaisuuden parantuminen ei ollut merkittävää. Puunvärisen yleispohjamaalin kehittämisestä luovuttiin tässä hankkeessa, koska lopputuotteen laatuun liittyy liikaa epävarmuuskijöitä.</p> <p>Tuloksista pääteltiin, että jäännösmaalien hyödyntämiseen pitäisi resursoida enemmän aikaa ja rahaa. Tämän tutkimuksen jatkohankkeena voitaisiin kehittää jäännösmaalien uudelleensävytysohjelma. Ekologisuusvaatimusten kasvaessa päivä päivältä aihe on erittäin ajankohtainen ja huomionarvoinen.</p>	
Avainsanat	jäännösmaali, puuteollisuus, jäännösmaalien hyödyntäminen

Author(s) Title	Jussi Sulamäki Utilization of Leftover Paints in Wood Industry
Number of Pages Date	42 pages 24 January 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials and Surface Treatment Technology
Specialisation option	Surface Treatment of Buildings
Instructor(s)	Arto Yli-Pentti, Senior Lecturer Pekka Kotilainen, Senior HSE Advisor
<p>This thesis' main issue was to develop a cost efficient way to utilize leftover paints in wood industry instead of disposing them. New ways were considered with the company that commissioned this thesis and with the clients of the company.</p> <p>Working methods included literature research, experimental tests and interviews.</p> <p>Utilization of leftover paints was approached from different point of views. The use of leftover paints in concrete manufacturing, developing a wood coloured multipurpose primer and retinting of leftover paints were in need of extra research. Retinting of leftover paints was the most viable option to utilize leftover paints.</p> <p>The problem in retinting leftover paints was the actual tinting because leftover paints were diluted with water so it was impossible to create a functioning tinting proportion for the leftover paints. The use of leftover paints in concrete as an additive was examined with compression strength and water absorbency tests. It turned out from the results of measurement that adding paint into concrete is not advantageous for improving the properties of the concrete. The compression strength declined in consequence of adding paint and water absorbency decreased slightly but enhancing this property was not significant. The idea of developing a wood coloured multipurpose primer was set aside because a better way of utilization was found.</p> <p>Based on the research results more money and time should be resourced to investigating utilization of leftover paints. Developing a retinting program could be an extension for this thesis because the ecological requirements are evolving day by day and this subject is increasingly current and noteworthy.</p>	
Keywords	leftover paint, wood industry, utilization of leftover paints

Sisällys

1	Johdanto	3
2	Työn taustaa	3
2.1	Maalien koostumus	3
2.2	Pinnoitteiden käytön ympäristövaikutukset	4
2.3	Puuteollisuus	5
2.3.1	Maalien käyttökohteet ja määrät	6
2.3.2	Maalaustekniikat	7
2.3.3	Maalien sävyttäminen	15
2.4	Tikkurila ProHouse -konsepti	17
2.5	Puuteollisuuden ulkomaalit	18
2.6	Maalityypit	19
2.7	Jäännösmaalit	20
2.8	Kirjallisuusselvitys jäännösmaalien hyödyntämisestä	21
3	Jäännösmaalien hyödyntämismahdollisuuksia	23
3.1	Jäännösmaalien hyödyntäminen betonin valmistuksessa	23
3.1.1	Betonin lisä- ja apuaineet	24
3.1.2	Lisäaineiden toimintatapa	25
3.1.3	Lisäainetyypit ja niiden käyttökohteet	26
3.1.4	Apuaineet ja niiden käyttökohteet	31
3.2	Maalin vaikutus betonin puristuslujuuteen ja vedenimukykyyn	32
3.2.1	Kokeen tarkoitus	32
3.2.2	Koemenetelmät	32
3.3	Jäännösmaalien uudelleensävyttäminen	33
3.4	Puunvärinen pohjamaali	34

	2
4 Työn tulokset	35
4.1 Maalin vaikutus betonin puristuslujuuteen ja vedenimukykyyn	35
4.2 Muut tulokset	36
5 Yhteenveto	37
Lähteet	40

1 Johdanto

Työn teettävässä yrityksessä on ilmennyt ongelma, jossa sen asiakkailla on jäännösmaalia, jota ei pystytä hyödyntämään tehokkaasti, vaikka se laadullisesti on vaatimustenmukaista. Työn tavoitteena on kehittää uusi, kustannustehokas tapa hyödyntää jäännösmaalia sen sijasta, että jäännösmaali hävitettäisiin kokonaan, mistä aiheutuu suuria kustannuksia ja ympäristökuormitusta. Työ tehdään Tikkurila Oyj:lle, ja se liittyy Tikkurila Oyj:n ProHouse-konseptin kehittämiseen.

Tikkurila Oyj valmistaa kattavan valikoiman maaleja sekä kuluttajille että ammattilaisille pintojen suojaamiseen. Tuotevalikoimassa on pintakäsittelyaineita sisä- ja ulkotiloihin sekä erilaisia maalaamiseen liittyviä palveluja. Vesiohenteiset tuotteet edustavat noin 70 % koko tuotannosta. Tuotantokapasiteetti jakautuu suunnilleen puoliksi EU-alueelle ja EU-alueen ulkopuolelle.

Tikkurila Oyj on perustettu vuonna 1862, ja sillä on 11 tuotantolaitosta kahdeksassa maassa. Liikevaihdon suuruus oli 643,7 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä vuoden 2011 lopussa oli 3551. Tikkurilan yritysvastuuohjelma auttaa asiakkaita tekemään kestäviä valintoja, kehittämään toimintaa kestävämmäksi ja kiinnittämään erityistä huomiota henkilöstöön ja ympäristöön. Vastuullinen toiminta kuuluu Tikkurilan arvoihin ja keskeisimpiä ovat asiakkaat, vahvat brändit, paikallisuus, yhtenäiset toimintatavat ja kannattava kasvu. Henkilöstö, ympäristö, talous ja yhteiskunta ovat neljä kestävän kehityksen osa-alueita. [1.]

2 Työn taustaa

2.1 Maalien koostumus

Maalit koostuvat sideaineista, pigmenteistä ja täyteaineista, liuotteista tai vedestä ja apuaineista. Maalin käyttökohteen perusteella valitaan uuden maalin raaka-aineet. Sideaineet muodostavat maalikalvon ja sitovat maalin raaka-aineet toisiinsa. Pigmentit ovat veteen ja liuotteisiin liukenemattomia aineita, jotka antavat maalille halutun värin ja

peittävyden sekä ne suojaavat alustaa auringon ultraviolettisäteilyltä. Tietty pigmentit parantavat maalin ruosteenesto-ominaisuuksia. Täyteaineet ovat liukenemattomia, hienojakoisia jauheita, joiden avulla pystytään säätämään maalin himmeys. Vesi ja liuotteet antavat maalille viskositeetin eli juoksevuuden, jotta tuote on helppo maalata alustalle. Apuaineita lisätään maaliin hyvin pieni määrä, mutta ne parantavat huomattavasti maalin valmistusvaiheen sujuvuutta, maalin säilyvyyttä tai levitysominaisuuksia. [2, s. 31.]

2.2 Pinnoitteiden käytön ympäristövaikutukset

Ympäristöhaitat maalauksessa liittyvät pitkälti tuotteiden sisältämiin liuotteisiin. Liuotteet edistävät kasveille ja ihmisten terveydelle haitallisen otsonin muodostumista alailmäkehässä ja voivat toisaalta heikentää yläilmakehän otsonikerrosta; liuotepäästöt edistävät myös ilmaston lämpenemistä, ja suurimpien maalaamojen ympäristössä saattaa esiintyä hajuhaittoja. Erilaisilla lainsäädännöillä pyritään rajoittamaan teollisen toiminnan liuotepäästöjä. Liuotekäytön perusteella määräytyvät maalaamojen vaatimukset liuotepäästöille. Maalaamojen poistoilman ja hajapäästön liuotepitoisuuksien enimmäisrajat on määritelty lainsäädännöllä.

Tavoitteena on, että laitoksen liuotteiden käyttö suhteessa maalien sisältämään kuivaainemäärään vähenee. Näin vältetään se, että jo entuudestaan liuotteettomia maali tuotteita käyttäviin maalaamoihin ei kohdistuisi kovempia vaatimuksia kuin niiden liuotehenteisiä tuotteita käyttäviin kilpailijoihin. [3, s. 14.]

Maalausjätteet

Jätehuoltosuunnitelman/ympäristöluvan ehdot ja jätehuoltoviranomaisten ohjeet määräävät maalausjätteiden hävittämisestä. Näitä noudattamalla ei aiheuteta haittaa ympäristölle tai luonnolle. Teollisten maalaamojen ympäristölupiin kirjataan yleensä kaikkien jätelaatujen hävitystä tai hyödyntämistä koskevia ehtoja. Ehdot voivat koskea nestemäistä maalijätettä, kiinteää ja kovettunutta maalijätettä ja tyhjiä pakkauksia.

Nestemäinen maalijäte on ongelmajätettä, joka pitää toimittaa laitokseen, jolla on lupa käsitellä ongelmajätteitä, esimerkiksi Ekokem Oy:öön.

Kiinteä ja kovettunut maalijäte on verrattavissa sekajätteeseen ja kelpaa yleensä kaatopaikalle, jos maalijäte ei sisällä raskasmetallipigmenttejä. Ainoastaan jotkin korroosionestomaalit saattavat sisältää raskasmetalliyhdisteitä, lähinnä sinkkiyhdisteitä. Tuotteiden käyttöturvallisuustiedotteissa on tiedot koostumuksesta ja ohjeet jätteiden hävityksestä.

Kotimaiset pakkaajat ja tuotteiden maahantuojat ovat veloitettuja hoitamaan kotimaan markkinoille toimittamiensa pakkausten hyötykäytöstä erilaisilla määräyksillä. Suomen lain mukaan 61 % käytetyistä pakkauksista tulee hyödyntää. On perustettu niin sanottuja materiaaliyhteisöjä, jotka huolehtivat pakkausjätteiden keräämisestä ja hyötykäytöstä. [3, s. 14-15.] Peltipakkausten kierrätyksen järjestämisestä vastaa Mepak-Kierrätys Oy.

Tulevaisuuden veloitteita

Jättemääriä pyritään vähentämään ja jätteiden kierrätystä tai hyötykäyttöä lisätään. Jätteiden hävitys tehdään kalliimmaksi jäteverolla, jolloin on taloudellisesti kannattavampaa kierrättää tai hyötykäyttää maalijäte. Jättemääriä kannattaakin vähentää, koska jäte on materiaalihukkaa, joka nostaa pintakäsittelyn kustannuksia. [3, s. 15.]

Jätevedet

Koska vesiohenteiset tuotteet ovat yleisimpiä, maalauksesta johtuvien jätevesien määrä myös kasvaa. Viemäriin vedellä huuhdeltu maalimäärä tulee pitää mahdollisimman pienenä, esimerkiksi poistamalla maali huolellisesti työvälineistä tai koneista ennen pesua. Maalaamojätevesien johtamisesta on yleensä tehtävä sopimus paikallisen vesija viemärlaitoksen kanssa. Tällöin viranomaisten asettamat ehdot jäteveden laadulle ovat mahdollisen puhdistustarpeen kannalta ratkaisevia. [3, s. 15.]

2.3 Puuteollisuus

Sahatavara ja puulevyt ovat puuteollisuuden perustuotteita. Vuonna 2004 havusahatavaraa tuotettiin vajaa 14 000 000 m³ ja vaneria reilu 1 000 000 m³. Tuotannosta iso osa viedään ulkomaille. Viejämaana Suomi on maailman neljänneksi suurin havusahatava-

rassa ja kuudenneksi suurin vanerissa. Suomessa on teollisia sahoja 170 ja vaneritehtaita 14.

Saha- ja vaneriteollisuus tuottaa myös höylätavaraa, sormijatkettua sahatavaraa ja pinnoitettua vaneria, jotka ovat ensi asteen jalosteita. Niiden käyttökohteita on rakentamisessa tai rakennuspuusepänteollisuudessa. Ikkunat, ovet, huonekalut, puutalot, parketit ja valmiit rakennuskomponentit ovat toisen asteen jalosteita.

Suomessa työskentelee puuteollisuudessa yli 30 000 henkilöä. Puuteollisuus toimii osana laajempaa metsäklusteria, joka työllistää noin 200 000 suomalaista. [4.]

2.3.1 Maalien käyttökohteet ja määrät

Puuteollisuudessa maaleja käytetään huonekalujen, kiintokalusteiden, väliovien, lamel-liparkettien, ikkunoiden, ulko-ovien, listojen, karmien, paneeleiden, ulkoverhouslautojen, palkkien, vanerien ja kuitulevyjen pinnoittamiseen. Pinnoittavan yrityksen mallisto ja käytettävissä oleva laitteisto määräävät pintakäsittely-yhdistelmän. Pintakäsittelyvaihtoehtoihin vaikuttavat myös puumateriaali, haluttu ulkonäkö ja laatutaso. [5, s. 42-45.]

Taulukossa 1 on esitetty Tikkurila Oyj:n puuteollisuuteen tarkoitettujen maalien myyntimäärät vuonna 2011. Iso osa teollisuuteen menevistä maaleista on happokatalysoituja maaleja ja ulkokäyttöön tarkoitettuja, vesiohenteisia maaleja.

Taulukko 1. Tikkurila Oyj:n puutuotemaalien kokonaismyyntimäärät vuonna 2011 [6].

Tuotteet	Litrat
Happokatalysoidut lakat	310 000
Happokatalysoidut maalit	1 680 000
Väriaineet	10 000
Selluloosanitraattilakat	20 000
Selluloosanitraattimaalit	20 000
Muut vesiohenteiset tuotteet	210 000
Polyuretaani lakat	80 000
Liutiinohenteiset petsit ja puunkyllästysaineet	210 000
UV-kovettuvat tuotteet	300 000
Vesiohenteiset lakat sisäkäyttöön	200 000
Vesiohenteiset lakat ulkokäyttöön	40 000
Vesiohenteiset maalit sisäkäyttöön	140 000
Vesiohenteiset maalit ulkokäyttöön	1 210 000
Vesiohenteiset petsit ja puunkyllästysaineet	300 000
Yhteensä	4 730 000

2.3.2 Maalaustekniikat

Maalauslujana puu on sekä fysikaalisesti että kemiallisesti hyvin epähomogeeninen aine. Maalin täytyy tunkeutua riittävästi puuainekseen sisään, jotta kiinnittyminen onnistuu. Sileä ja virheetön puupinta ovat edellytyksenä korkealuokkaiselle maalaukselle. Mahdolliset viat on siis korjattava ennen maalausta. Puupinta on työstön jälkeen pyrittävä maalaamaan mahdollisimman pian. [7, s. 103-104.]

Käsinlevitys

Yksittäistuotannossa kappalemäärän ollessa vähäinen tai tarvittavan maalin viskositeetin ollessa erittäin korkea käsinlevitys on yleistä. Levitysvälineinä toimivat siveltimet, käsitelat ja erilaiset lastat. Maalipinnan tasaisuuden kannalta tärkeää on ns. märkätartunta-aika, jonka aikana maali tarttuu ja leviää pinnan kanssa tasaisesti. Upottaminen luetaan myös käsinlevitysmenetelmäksi, joka on melkein kokonaan automatisoitavissa. Upottamista käytetään, kun kappaleet ovat isoja ja monimuotoisia. Viskositeetin täytyy olla sopiva ja maalin tulee sisältää oikea määrä hitaita ja nopeita liuotteita sekä apuaineita, jotta pinnasta syntyy tasainen. [7, s. 104-105.]

Levitys ruiskuttamalla

Yleisimpiä maalinlevitystapoja on ruiskumaalaus. Lähes kaikki maalit ovat ruiskutettavia. Vaikeutena maalauksessa on maalisuihkun pyrkimys pintajännityksen voimasta muodostaa isoja pisaroita. Tätä estämiseksi on ruiskupistooliin kehitetty erilaisia suuttimia ja ruiskutusmenetelmiä. Erilaisia ruiskutusmenetelmiä ovat hajotusilmaruiskutus, korkeapaineruiskutus, sähköstaattinen keskipakoismenetelmä, sähköstaattinen ruiskutus, ruiskutus lämmitetyllä pinnoitteella, suurtilavuus-hajotusilmaruiskutus (HLVP-ruiskutus), 2-komponenttiruiskutus, ruiskuautomaatit ja robottiruiskutus. Taulukossa 2 on esitetty eri maalaustapojen hyötysuhteet. [7, s. 104-105.]

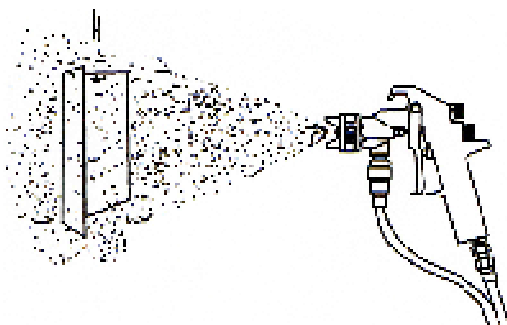
Taulukko 2. Eri maalaustapojen hyötysuhteet ja ohiruiskutus [5, s. 18].

Maalaustapa	Hyötysuhde %	Hukka %
Jauhemaalaus	97 - 99	1 - 3
Rulla	97 - 99	1 - 3
Telakone	97 - 99	1 - 3
Sivellin	95 - 97	3 - 5
Valukone	95 - 97	3 - 5
Valelu	95 - 97	3 - 5
Vakuumi	95 - 97	3 - 5
Kasto	90 - 95	5 - 10
Kello	85 - 95	5 - 15
Kuuma hajotusilmastatiikka, 135 kV	85 - 90	10 - 15
Kylmä ilma-avusteinen kp-statiikka, 75 kV	70 - 80	20 - 30
Kuuma hajotusilmastatiikka, 75 kV	70 - 80	20 - 30
Kylmä hajotusilmastatiikka, 75 kV	60 - 70	30 - 40
Kuuma korkeapaine	55 - 70	30 - 45
Kylmä korkeapaine	50 - 60	40 - 50
Kuuma hajotusilma	45 - 55	45 - 55
Kylmä hajotusilma	30 - 40	60 - 70

Hajotusilmaruiskutus

Tämä menetelmä (kuva 1) perustuu maalin hajottamiseen paineilman avulla. Paineilman täytyy olla todella puhdasta. Hajotusilmapistoolilla pystytään säätämään suihkun leveyttä ja maalimäärää. Etuja ovat tasainen kalvonpaksuus, korkealuokkainen pinnanmuodostus, nopea maalimäärän ja suihkun muodon säätö, käyttömahdollisuus useiden maalityyppien kanssa ja alhaiset hankinta- ja käyttökustannukset. Haittapuolia

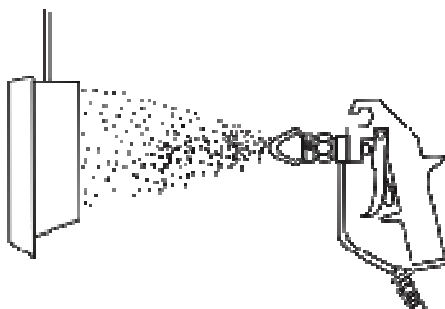
ovat alhainen kapasiteetti, suuri ohennustarve, runsas ohiruiskutus, runsas sivuilman muodostus ja suuri maalihukka. [5, s. 19.]



Kuva 1. Hajotusilmaruiskutus [5, s. 19].

Korkeapaineruiskutus

Korkeapaineruiskutuksessa (kuva 2) aine syötetään ruiskupistooliin 40-70 baarin paineella. Maalin sumuaminen on melko vähäistä, koska ruiskussa ei tarvita paineilmaa. Kerrospaksuus saadaan suuremmaksi ja pinnoitteesta tulee tiivis, koska ruiskussa käytetään korkeaviskoosisia maaleja. Etuja ovat suuri teho, suuri maalin viskositeetti, vähäinen hävikki ja pistoolin pieni rekyyli. Haittapuolia ovat suuri hankintakustannus ja suuttimen vaihto, kun halutaan säätää suihkun leveyttä tai maalin määrää. Suuren tehon takia pieniin kappaleisiin on vaikea saada tasaista levitystä. [7, s. 106.]

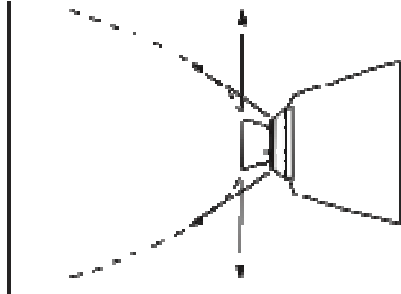


Kuva 2. Korkeapaineruiskutus [5, s. 20].

Sähköstaattinen keskipakoismenetelmä

Pinnoite syötetään 50 000 rpm:n nopeudella pyörivän lautasen tai kellon (kuva 3) keskusta. Keskipakoisvoiman vaikutuksesta pinnoite siirtyy levyn reunalle, jossa se ha-

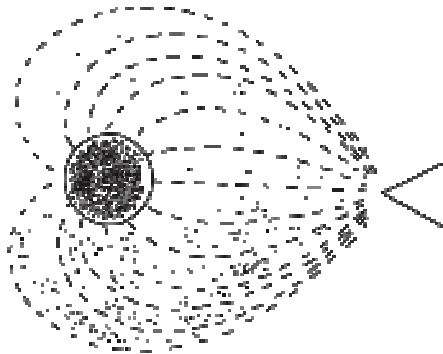
joaa ja varautuu sähköllä. Pinnoitesumua voidaan ohjata paineilmalla. Maalihukka on pieni, koska pinnoitesumu imeytyy kappaleen pinnalle tasaisena kerroksena ympäri kappaletta. [5, s. 20.]



Kuva 3. Sähköstaattinen keskipakois menetelmä [5, s. 20].

Sähköstaattinen menetelmä

Sähköstaattinen ruiskutus (kuva 4) on kehitetty, jossa maalattavan esineen ja maali-ruiskun välillä on 50-100 kV suuruinen jännite-ero. Jännite-eroa hyödyntämällä kahden eri jännitteessä olevien esineiden välille syntyy sähköstaattinen kenttä. Tämän ansiosta maalihiukkaset suuntautuvat kentässä maalattavaan esineeseen ja sen taustaan, vähentäen maalihukan määrää. Puun kosteus asettaa rajoitteita sähköstaattiselle ruiskutukselle. Alle 10 %:n kosteudessa puu ei johda riittävästi sähköä. Jotta puun pinnalle saataisiin sähköä johtava kerros, on ruiskutustilan ilman suhteellista kosteutta nostettava. [7, s. 105-106.]



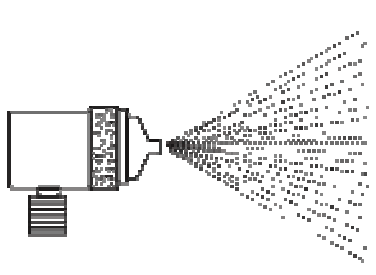
Kuva 4. Sähköstaattinen ruiskutus. [7, s. 106].

Ruiskutus lämmitetyllä pinnoitteella

Ruiskutuksen helpottamiseksi pinnoitetta on tehtävä notkeammaksi eli sen viskositeettia on alennettava. Yleinen tapa on lisätä oikea määrä ohennetta halutun viskositeetin saavuttamiseksi. Pinnoitetta lämmittämällä (40-80 °C:seen) voidaan säätää viskositeettia. Maalia lämmitettäessä säästetään ohenteita ja maalin kuiva-ainepitoisuus on suurempi, koska siihen ei tarvitse lisätä ohennetta. Kuiva-ainepitoisuuden ollessa korkeampi maalilla on parempi täyttö- ja peittokyky. Se ei myöskään valu niin helposti ja pinnoite kuivuu nopeammin. Hajotusilma- ja sähköstaattisessa ruiskutuksessa voidaan käyttää lämmitettyä pinnoitetta. [5, s. 21.]

Suurtilavuusmatalapaineruiskutus

Suurtilavuusmatalapaineruiskutus (HVLP-ruiskutus) (kuva 5) on hajotusilmapohjainen, ja siinä käytetään pienempää painetta kuin normaalissa hajotusilmaruiskutuksessa. Matalamman paineen vuoksi maalin takaisinlyönti pinnasta vähentyy. Maalipistoolin suuttimessa on muutama suuri reikä ja suuret ilmakeinavat, joilla on pieni ilmanvastus. HVLP-pistooleissa 0,5-0,7 baarin paine ja suuri ilmamäärä hajottaa maalin tehokkaasti. [5, s. 21-22.]



Kuva 5. Suurtilavuusmatalapaineruiskutus [5, s. 22].

2-komponenttiruiskutus

2-komponenttiruiskutusta käytetään nopeasti kuivuville 2-komponenttisille pinnoitteille. Maali- ja koveteosa annostellaan ja sekoitetaan 2-komponenttilaitteessa ennen pistoolia. 2-komponenttilaitteisiin on liitetty mukaan pesupumppu, jotta kovetinosan laitteisto pystytään nopeasti pesemään käytön jälkeen. Ruisku koostuu työ- ja annostelupumppuista sekä sekoittajasta. Etuja ovat oikea sekoitussuhde, tasalaatuinen sekoitus, liuot-

teen vähäinen kulutus, suljettu systeemi, pieni maalihukka ja parempi työturvallisuus. [5, s. 22.]

Ruiskuautomaatit

Automaation avulla pintakäsittelyä voidaan rationalisoida. Automaattinen ruiskumaalaus on järkevää, kun samantapaisia esineitä on suuret määrät. Ruiskutusmenetelmän määräävät esineen muoto ja käytettävä maalityyppi. Automaattilaitteen tärkein vaatimus on toimintavarmuus. Etuja ovat suuri kapasiteetti, tasainen laatu, pienemmät työkustannukset, maalitaloudellisuus ja työympäristö. [5, s. 22.]

Robottiruiskutus

Robottiruiskutus (kuva 6) on hyvä ahtaissa tiloissa ja silloin, kun halutaan paras mahdollinen tulos. Roboteissa on kiinteä mikroprosessori- ja virtapiirimoduuli. Elektroniseen tarkkailuyksikköön rekisteröidään pistoolin tarvitsemat liikkeet ja pinnoitesykäykset. Ohjausvarsi toistaa ammattitaitoisen ruiskumaalarin liikkeitä tai liikeradat ohjelmoidaan tietokoneen avulla. Ruiskusuutinten kuluminen tulee huomioida, jotta maalauksen laatu pysyy hyvänä. Maalia on ruiskutettava aina sama määrä, ja tämä voidaan tarkastaa virtausmittarien avulla. [5, s. 23.]



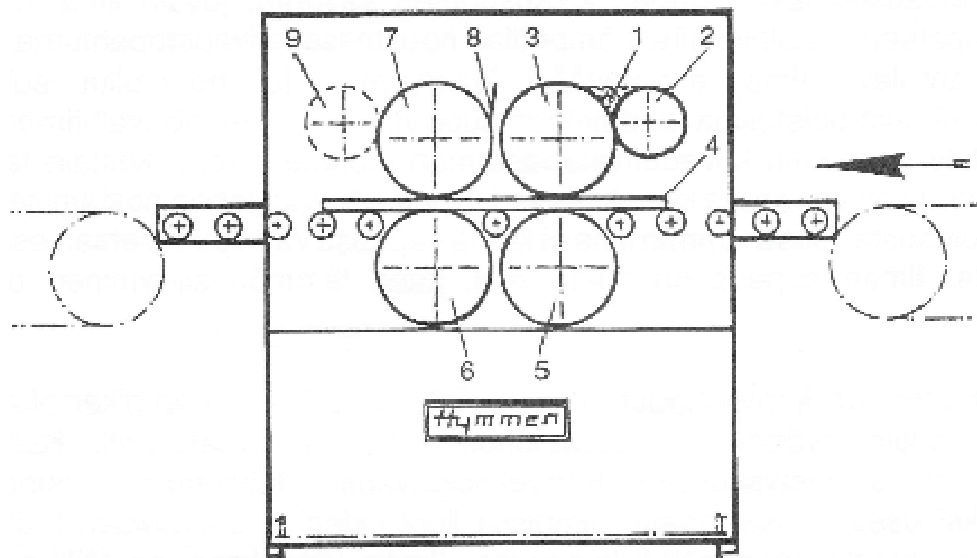
Kuva 6. Robottiruisku [5, s. 23].

Telakonelevitys

Telalla maalaus soveltuu isoille tasopinnoille kuten lastu- ja kuitulevyille, vanerille ja oville. Levittimeen kuuluvat kovakromattu metallinen annostelutela, kumipintainen levitystela ja maalin annostelulaitteet. Levitysmäärät ovat 15-100 g/m². Telakoneelle voi myös pinnoittaa värjäysaineilla ja kuultolakoilla.

Puupinnan maalauksessa telaa käytetään pohjamaalin levitykseen, koska tela puristaa maalin puun huokosten sisään ja tiiviys paranee. Telakoneen käyttö on yksinkertaista ja maalihukka on vähäistä.

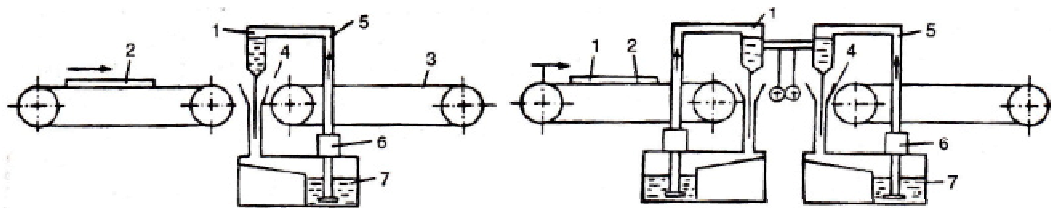
Maali annostellaan käsin tai automaattisesti koneeseen. Levitysmäärää säädetään telan urituksella, annostelu- ja levitystelan välisellä raolla ja levitystelan paineella maalattavaa kappaletta vasten. Tasoitustela pyörii vapaasti tai levyn kulkusuuntaa vastaan ja poistaa liian maalin. Telapareja on mahdollista asettaa peräkkäin käyttäen ns. ”märkää märälle” -levitysmenetelmää. Kuvassa 7 on esitetty täyteaineiden levitykseen soveltuva telakone. Kyseisen koneen tuotantokyky on suuri, nopeus on 15-20 m/min. [7, s. 107.]



Kuva 7. Täyteaineiden levittämiseen soveltuva telakone: 1) täyteaine, 2) annostelutela, 3) levitystela, 4) kappale, 5) ja 6) kuljetustelat, 7) kiillotustela, 8) kaavin ja 9) kostutustela [7, s. 107].

Valukonelevitys

Laajojen ja tasaisten pintojen maalaukseen soveltuu valukone. Maali pumpataan koneen valupäässä olevaan kapeaan vaakasuoraan rakoan, josta se joko oman painonsa avulla tai valupään paineen avulla putoaa alla olevalle liikkuvalla maalattavalle kappaleelle. Rakoa tai maalattavan kappaleen nopeutta muuttamalla säädetään maalin määrää. Kappaleen nopeutta voidaan myös säätää 20-120 m/min. Levitysmäärä vaihtelee 70-160 g/m² maalin viskositeetin mukaan. Kaksi valupäätä rinnakkain mahdollistaa kaksikomponenttisten maalien käytön ilman, että aineita tarvitsee sekoittaa. Viskositeetin on oltava hyvin tasainen eikä ilmvirta saa kohdistua maaliverhoon. Valukone on esitetty kuvassa 8. [7, s. 108.]



Kuva 8. 1- ja 2- päinen valukone: 1) valupää, 2) syöttökuljetin, 3) vastaanottokuljetin, 4) valuma-allas, 5) kierrätysputki, 6) maalipumppu ja 7) maaliastia [7, s. 108].

Vakuumpinnoitus

Tämä menetelmä on tarkoitettu vesiohenteisille ja UV-kovettuville pinnoitteille. Vakuumpinnoitus soveltuu parhaiten listojen, karmien ja ulkoverhouslautojen pinnoitukseen. Etuna on, että pinnoite tunkeutuu kappaleen jokaiseen koloan. Pinnoituskammion altaaseen pumpataan pinnoitetta, jota atomisoidaan imuilman avulla ja imetään yläkautta takaisin kiertoon. Pinnoitettava kappale kuljetetaan kammion sisälle muodostuneen tasaisen maalisumun läpi. Näin kappale tulee pinnoitetuksi joka puolelta. Kappaleen poistuessa pinnoituskammion ylimääräinen pinnoite pyyhkitään pois. Ylimääräinen pinnoite kulkeutuu takaisin kammioon ja kiertoon. Vakuumpinnoituksen suosio on kasvamassa, ja niihin on kehitetty varmemmin toimivia pinnoitteita. [5, s. 24.]

Rumpupinnoitus

Pienten osien pintakäsittelyyn käytetään rumpupinnoitusta. Kappale laitetaan pyörivään rumpuun, jossa siihen ruiskutetaan pinnoitetta tarpeellinen määrä. Tämän jälkeen kappale kuivataan lämpimällä ilmalla, jota puhalletaan rumpuun. Rumpupinnoituksessa voi käyttää vain yksikomponenttisiä pinnoitteita. [5, s. 25.]

2.3.3 Maalien sävyttäminen

Sävyttämällä maaleja voidaan valmistaa taloudellisesti rajaton määrä värejä. Sävyttämällä voidaan vastata niin pienten kuin suurtenkin asiakkaiden yksilöllisiin tarpeisiin. Sävyttämiseen tarvitaan perusmaali, sävytyspastaa (väritiivistettä), sävytyskaava ja sävytyskone.

Maalia voidaan sävyttää hyvinkin pieniä eriä. Paras tapa on sävyttää maali niin lähellä loppukäyttäjää ja käyttöhetkeä kuin mahdollista. Näin saadaan oikeaa maalia, oikea määrä, oikea väri ja oikealla hetkellä. Maali voidaan sävyttää haluttuun sävyyn maalinvalmistajan sävytysjärjestelmien mukaan. [8.]

Sävytysjärjestelmien osien on oltava tasapainossa toistensa suhteen, jotta saadaan hyvälaatuinen tulos. Pääperiaatteena on, että kun komponentit ovat säädettyjä, on lopputuote oikein. [9.]

Perusmaali

Väripastoilla voidaan sävyttää lähes kaikki maalit, vesi- ja liuotinhenteiset ilman, että ne vaikuttavat kalvon ominaisuuksiin. Jotta perusmaalit täyttäisivät värimäärityksen, on niiden oltava tarkoin säädettyjä ja valvottuja. Laadukkaiden perusmaalien valmistus on yksinkertaista, kun prosessi on kerran opittu ja sitouduttu tiukkoihin laatumenetelmiin. Laatumääritykset koskevat myös raaka-ainetoimittajia. [9.]

Väriaineet eli sävytyspastat

Sävytyspastat ovat stabiileja, nestemäisiä väritiivisteitä, joissa on säädeltä väri ja värin voimakkuus. Värien onnistuneelle toistamiselle on tärkeää väriaineiden tasainen laatu. Pigmentit sävytysjärjestelmiin on valittava huolellisesti, ei pelkästään niiden ominai-

suuksien, vaan myös niiden stabiiliuden ja pitkäaikaisen saatavuuden perusteella. Sävytysjärjestelmien on tarjottava mahdollisuus sävyttää erilaisia värin intensiteettejä pastelleista syviin sävyihin. Riittävät säänkesto-ominaisuudet ja erilaiset maalausolosuhteet asettavat pigmenteille rajoituksia. [9.]

Sävytyskaava ja -ohjelmisto

Maaleja sävytetään, koska asiakkaat vaativat ja haluavat saada nimenomaan tiettyjä värisävyjä. Jotta sävytystulos vastaisi jokaisella sävytyskerralla tarkalleen haluttua väriä, on kaavan oltava luotettava. Sävytarkkuuden lisäksi on otettava huomioon tekniset ominaisuudet ja taloudellisuus. Sävytysohjelmistoa on osattava käyttää oikein, jotta tämä kaikki saavutettaisiin. [9.]

Annostelija

Väriaineet on lisättävä perusmaaliin aiemmin määritetyn kaavan mukaisesti, jotta pystytään valmistamaan sävytettyä maalia. Lisäys tehdään volumetrisellä annostelijalla. Annostelijaa voidaan käyttää sekä manuaalisesti että automaattisesti. Robottikäyttöinen laite soveltuu suurille määrille. Näitä koneita yhdistää kyky annostella pieniä määriä väriainetta tarkasti ja toistettavasti. Pienimmät sävytettävät määrät voivat olla vain millilitran murto-osia, ja nämäkin määrät on annosteltava hyvin tarkasti. Tämä asettaa korkeita vaatimuksia laitteistolle ja väriaineille. [9.]

Sekoittaja

Väriaineen lisäyksen ja sekoittajan sekoituksen jälkeen maali on käyttövalmis. Sävytysprosessi kestää vain muutaman minuutin. Sekoitus tapahtuu yleensä ravistamalla.

Sävytysjärjestelmät vaativat hyvin vähän ylläpitoa, ja ne ovat helppokäyttöisiä. Maalaustryömaalle on myös mahdollista asentaa sävytysjärjestelmä, vaikkakin se on tavallisempi maalin valmistajan ja jälleenmyyjän käytössä. [9.]

2.4 Tikkurila ProHouse -konsepti

Tikkurila ProHouse on uusi pintakäsittelykonsepti, jossa ulkoverhouspaneelit ja –laudat käsitellään pintamaalilla kahteen kertaan maalauslinjalla ja työmaalla maalattavaksi jää vain yksi pintamaalauskerro. ProHouse-laadun lähtökohdaksi ovat Ultra-tuotteet, joissa on käytetty vesiohenteista akrylaattipohjaista maaliteknologiaa.

Paneelit on perinteisesti pohjamaalattu tehtaalla ja pintamaalattu työmaalla. ProHouse-menetelmä pohjautuu vesiohenteiseen akrylaattipohjaiseen Ultra Pro -käsittelyyn. Teollinen pintamaalaus tehdään kahteen kertaan suoraan puun päälle, ilman erillistä pohjamaalia. Tehty käsittely kuormittaa vähemmän ympäristöä sekä minimoi jätteen ja haihtuvien orgaanisten eli VOC-päästöjen määrän.

ProHouse-menetelmällä saadaan huoltomaalausväliä pidennettyä jopa yli 15 vuoteen. Näin säästetään kiinteistön huoltomaalaus- ja hoitokustannuksissa. Laadun lähtökohdaksi ovat korkealaatuiset materiaalivalinnat ja valmistusmenetelmät.

ProHouse-pintakäsittelyllä talvirakentaminen on myös helpompaa, koska pintamaalaus tehdään jo tehtaalla kahteen kertaan ja työmaalla jää käsiteltäväksi vain yksi pintamaalauskerro. ProHouse-menetelmästä (kuva 9) riippuen pintamaalaus voidaan suorittaa viimeistään vuoden kuluttua asennuksesta. Tikkurilan ulkomaalien värivalikoimaa on mahdollista hyödyntää teollisesti pintamaalatuissa paneeleissa ja laudoissa. [10.]

ProHouse 15+ ja 15

ProHouse 15+ ja 15 -menetelmillä voidaan saavuttaa yli 15 vuoden huoltomaalausväli. Valmiiksi maalaus työmaalla voidaan suorittaa vuoden sisällä asennuksesta. Ultra Priming Oil –pohjustuspuunsuojaa käytetään ProHouse 15+ -menetelmässä. Ultra Priming Oil sisältää lahon- ja sinistäjänestoaineita, jotka suojaavat puuta erilaisia sieniä vastaan. [10.]

ProHouse 10

Yhden kerran Ultra Pro –käsittely suojaa teknisesti pintaa välitöntä säärasitusta vastaan. Valmiiksi maalaus tulee suorittaa heti asennuksen jälkeen tai viimeistään 3 kk asennuksesta. [10.]

ProHouse 10 F

Yhdistelmä soveltuu talotehtaille, kun paneelit asennetaan piilokiinnityksellä. Tehtaalla kahteen kertaan pintamaalattu paneeli on asennusvalmis. [10.]

ProHouse-menetelmät			
ProHouse 15+	ProHouse 15	ProHouse 10	ProHouse 10 F
1 x Ultra Priming Oil ja 2 x Ultra Pro Teollinen pohjustus ja -maalauk Kokonaiskalvoepaksuus 80–100 µm	2 x Ultra Pro Teollinen maalauk Kokonaiskalvoepaksuus 80–100 µm	1 x Ultra Pro Teollinen maalauk Kokonaiskalvoepaksuus 40–50 µm	2 x Ultra Pro Teollinen maalauk Kokonaiskalvoepaksuus 80–100 µm
1 x Ultra-sarjan talomaali Valmiiksimaalauk työmaalla	1 x Ultra-sarjan talomaali Valmiiksimaalauk työmaalla	1 x Ultra-sarjan talomaali Valmiiksimaalauk työmaalla	1 x Ultra Matt Katkaistujen pintojen maalauk työmaalla

Kuva 9. ProHouse-menetelmien maalauk yhdistelmät.

2.5 Puuteollisuuden ulkomaalit

Puuteollisuuden ulkomaaleina käytetään sekä vesiohenteisia että liuotinohenteisia maaleja. Vesiohenteiset maalit ovat yleisempiä kuin liuotinohenteiset.

Terveyshaitat vesiohenteisilla maaleilla ovat liuotinmaaleihin verrattuna vähäisiä, koska vesiohenteisten maalien liuotinpäästöt ovat huomattavasti pienempiä kuin liuotinohenteisillä maaleilla. Vesiohenteisten maalien käytössä tarvittavat välineet on helppo puhdistaa käytön jälkeen. Lainsäädännöllä vähennetään myös maalien ympäristövaikutuksia. Maalien VOC-direktiivi (2004/42/EY) määrittelee maalin sisältämien haihtuvien yhdisteiden sallitun enimmäismäärän, biosididirektiivi (2009/107/EY) ohjaa säilytysainesten käyttöä maaleissa, REACH-asetus (N:o 1907/2006) varmistaa terveyden- ja ympäristönsuojelun korkean tason, CLP-asetus (N:o 1272/2008) säätelee kemikaalien luokituksessa ja merkinnöissä käytettäviä periaatteita. Ympäristömerkeinä pohjoismainen Joutsenmerkki ja EU-ympäristömerkki asettavat tuotteille ehdottomat ympäristö-, terveys- ja laatuvaatimukset. [11.]

Maaleilla saadaan tuotteille haluttu väri ja maalauksella pidennetään kohteen tai tuotteen käyttöikä, koska sen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet paranevat. Puutuotteissa maalauksella pyritään ensisijaisesti estämään homeen ja muiden mikrobien sekä

auringon ultraviolettivalon puuta kuluttava vaikutus. Ulkona olevilla puutuotteilla tulee olla hengittävä maalikerros, koska kosteus vaihtelee suuresti sään mukaan. Puu imee kosteutta sädesäällä ja vastaavasti luovuttaa kosteutta kuivalla säällä. Jos puu ei pääse luovuttamaan kosteutta, niin talven tullen se jäätyy ja pinnalla oleva maalikalvo irta-aa. Ulkomaalaukseen soveltuvat vain ulkomaalaukseen suunnitellut maalit. [12, s. 9.]

2.6 Maalityypit

Tässä työssä on kuvattu Tikkurila Oyj:n valmistamat puuteollisuuden ulkokäyttöön tarkoitetut maalityypit.

Alkydiaminohartsimaali

Tämä on liuotinhenteinen maali, joka on kaksikomponenttinen, koska se koostuu maali- ja koveteosasta. Maalin sideaineena on alkydiaminohartsiseos ja katalyyttina on erillisessä pakkauksessa toimitettu happo (paratolueenisulfoni-, rikki- tai suolahappo). Kun happo lisätään maaliin, sideaine alkaa polymeroitua kalvoksi. Polymeroituminen tapahtuu huoneenlämmössä. Alkydiaminohartsimaali muodostaa kovan ja kimmoisan kalvon. Tikkurila Oyj:n tuotteista Dicco Flex 30 on alkydiaminohartsimaali. [13, s. 22; 14, s. 16.]

Akrylaattimaali

Tämä on vesiohenteinen maali, jonka perustana on 100-prosenttinen akrylaattidispersio. Maali kuivuu fysikaalisesti, ja sen sideaineena on veteen dispergoitu makromolekyylinen polymeeri. Akrylaattimaalin polymeerina on polyakrylaatti. Sideaine koostuu pienistä palloista, jotka ovat maalin vesiosassa. Pallojen halkaisija on tavallisesti 0,05 – 0,25 µm. Veden haihtuessa kalvosta pallot liimaantuvat yhteen ja muodostavat maali-kalvon. Pallojen pitää olla tahmeita maalauslämpötilassa, jotta kalvonmuodostus onnistuu. Alin lämpötila kalvonmuodostumiselle on +5 °C. Akrylaattimaalin muodostama kalvo on termoplastinen eli lämpömuokattava. Kun vesi on haihtunut kalvosta, se ei enää liukene veteen. Tikkurila Oyj:n tuotteista Pinja Flex 30, Pinja Flex Primer (Akvi Flex Primer) ja Ultra Pro ovat akrylaattimaaleja. [13, s. 16-17.]

Alkydimaali

Tämä on vesiohenteinen maali, jonka sideaineena on 100 % alkydihartsia ja se kuivuu hapettumalla. Alkydihartsia on esteri, joka valmistetaan moniarvoisesta alkoholista (glyserolista tai pentaerytritolista) ja di- tai polykarbonihaposta (ftaalihaposta). Alkyhartsia saadaan hapettamalla kuivuvaksi siten, että se esteröidään kuivuvan öljyn tai sen rasvahapon kanssa. Styreenillä, isosyanaatilla ja epoksilla (styreenialkydit, uretaanialkydit ja epoksiesterit) voidaan muunnella alkydihartsia. Näillä aineilla voidaan vaikuttaa hapettumalla kuivuvien alkydimaalien kuivumisnopeuteen sekä kemikaalinkestoon. Vesiohenteisia alkydimaaleja käytetään mm. rakennusmaalauksessa ja korroosionesto- maalauksessa. Tikkurila Oyj:n tuotteista vesiohenteisia alkydimaaleja ovat Pinja Pro Primer ja Pinja Pro. [13, s. 18.]

2.7 Jäännösmaalit

Tässä työssä käsitellään jäännösmaaleja (kuva 10). Jäännösmaaleilla tarkoitetaan maalieriä, jotka jäävät käyttämättä puun teollisessa pintakäsittelyssä. Jäännösmaali ja jätemaali eroavat toisistaan siten, että jäännösmaali on vielä hyödynnettävissä.



Kuva 10. Jäännösmaalien säilytystä eräässä yrityksessä.

JOT-ajattelua (juuri oikeaan tarpeeseen) käyttämällä voidaan raaka-aineiden, esimerkiksi maalin hankinta- ja varastointimäärät sovittaa sopiviksi tuotannon tarpeisiin. Esimerkiksi kohteeseen tarvittavaa maalia tilataan vain tarvittava määrä. Jäännösmaalit on kerättävä mahdollisimman hyvin koneista ja laitteista ennen niiden pesua. Jäännösmaalien perusteellinen talteenotto mahdollistaa niiden hyötykäytön tulevaisuudessakin. Jäännösmaaleja voidaan käyttää uudelleen, jos ne ovat säilyttäneet alkuperäiset ominaisuudet. [15, s. 26-27.]

2.8 Kirjallisuusselvitys jäännösmaalien hyödyntämisestä

Kirjallisuudesta on löydettävissä vain vähän tietoa jäännösmaalien uusiokäytöstä eikä lainkaan yksityiskohtaisia kuvauksia. Tämä on ymmärrettävää, koska yritykset eivät halua paljastaa kehittämiään keinoja ja innovaatioita jäännösmaalien kannattavasta kierrätyskäytöstä.

Maalien hyödyntäminen ja laadunvarmentamismenetelmä

Amerikkalaisessa pilottiprojektissa [16, s. 18] kerättiin vuoden 2010 aikana 95 kohteesta noin 470 000 gallonaa (1 780 000 litraa) jäännösmaalia. Vesiohenteiset maalit kierrätettiin uusiksi maaleiksi ja muiksi tuotteiksi, ja liuotinhenteiset maalit käytettiin polttoaineiden osiksi. Pilottiprojektin todettiin tuottaneen voittoa 200 000 dollaria ensimmäisen vuoden aikana. Tässä kirjallisuuslähteessä ei kuitenkaan kerrota tarkemmin, miten jäännösmaali teknisesti prosessoitiin ja hyödynnettiin.

Toisessa amerikkalaisessa projektissa [17, s. 72-80] kehitettiin laadunvarmentamisjärjestelmä kierrätettäville maali tuotteille. Tämän kehityshankkeen synä oli jäännösmaalien suuri määrä. Yhdysvalloissa myytiin vuonna 2000 noin 637 000 000 gallonaa (2 411 000 000 litraa) maaleja, joista jäännösmaaleja oli noin 28 000 000 gallonaa. Arvioitiin, että jäännösmaaleista 65 % oli kierrätettävissä. Haasteina maalien kierrätyskäytölle oli potentiaalisten käyttäjien pelko siitä, että maalit sisältävät vaarallisia aineita, ja maalien valmistajien epäily uusien maalien myynnin vähenemisestä ja jäännösmaali tuotteiden puhtaudesta. Toisin sanoen laatu- ja turvallisuusseikat olivat suurimpia esteitä jäännösmaali tuotteiden myynnille. Jäännösmaaleista eroteltiin ensin käyttökelvottomat maalit, seuraavaksi maalit lajiteltiin öljy- ja lateksipohjaisiin tuotteisiin, lajiteltiin uudestaan ominaisuuksien, esimerkiksi värin ja tyyppin perusteella, ja lopuksi jäännösmaa-

lit sekoitettiin samantyyppisen uuden maalin kanssa ja testattiin. Kehitetyn laadunvarmentamisjärjestelmän mukaisilla menettelyillä voitiin todeta ja taata jäännösmaalituotteiden hyvä, lähes uuden maalin veroinen laatu, ja saatiin kuluttajat vakuuttuneiksi jäännösmaalituotteiden käyttökelpoisuudesta.

Edellisten lähteiden esittelemien tulosten kanssa samansuuntaisia ajatuksia esitetään myös muissa lähteissä [18, s. 18; 19, s. 12; 20, s. 38-40].

On olemassa myös yrityksiä, jotka ostavat maalinvalmistajilta jätemaalaa ja prosessoivat siitä omien tuotteidensa kanssa käyttökelpoista maalia. Tuotteet eivät säily alkuperäisinä, vaan ne muutetaan käytännössä aivan uudeksi tuotteeksi. Tällä tavoin pystytään vähentämään maalijätteen määrää ja säästämään kustannuksissa. [21.]

Maalien käyttö muovien valmistuksessa

Intiassa jäännösmaaleja on käytetty muovien valmistuksessa. Maalia sisältävät muovit ovat sikäläisten kokemusten mukaan vähintään yhtä hyviä kuin muovit ilman maalilisää. Maalin kuiva-aineosia voidaan sekoittaa kahden halvan ja yleisen muovin kanssa. Toinen on suuritiheyspolyeteeni (HDPE) ja toinen polymetyylimetakrylaatti (PMMA). HDPE-muovia käytetään maito- ja pyykinpesuainepullojen valmistuksessa. PMMA-muovia käytetään pleksilasin ja samankaltaisten akryylituotteiden valmistuksessa, esimerkiksi muovi-ikkunoissa ja linssissä. Maalin vesipohjaisen liuottimen haihduttua jäljelle jäävä kuiva-aines sisältää akryylipolymeereja ja väriaineita. [22, s. 69-84.]

Maalia sisältävässä polyeteenissä ilmeni samanlaisia ominaisuuksia kuin puhtaassa polyeteenissä. PMMA-muoveissa maalilisäys vähensi läpinäkyvyyttä, mutta teki hauraasta muovista joustavampaa ja kovempaa säilyttäen muovin jäykkyyden ja lujuuden. Näistä syistä maalia sisältävä PMMA-muovi pystyi haastamaan kalliimmat muovit, jotka ovat lujia ja joustavia, esimerkiksi kannettavien tietokoneiden kuorissa, joiden pitää kestää kolhuja. Jäännösmaalia sisältäviä muoveja voidaan käyttää maalipurkkien valmistukseen, ja näin päästään eroon metallisista purkeista ja saadaan jäännösmaaleille pitkä elinkaari. [22, s. 78.]

Maalien hyödyntäminen rakennusmateriaaleissa

Jäännösmaaleja voidaan myös hyötykäyttää rakennusmateriaaleissa. Kierrätettyjen maalien käyttöönotto paransi rakennusmateriaalien työstettävyyttä ja taivutuslujuutta. Myös jäänsulatussuolojen käytöstä aiheutuva pinnan hilseily väheni, ja korroosiota aiheuttavien kloridi-ionien läpäisykyky heikkeni. Nestemäinen maaliliete sekoitetaan yhden tai useamman materiaalin kanssa, ja yhdistelmää voidaan käyttää rakennusmateriaalina. Jäännösmaalia voidaan sekoittaa sementtiin tai betoniin. Seoksen kovettua rakennusmateriaali on valmis. Esimerkkejä tunnetuista perusrakennusmateriaalien ainesosista, jotka voidaan sekoittaa maalilietteeseen, ovat Portland-sementti, sementtisekoitus, laastisekoitus, betonisekoitus, muovisekoitus ja asfaltti.

Jäännösmaalien käyttö rakennusmateriaaleissa vähentää muovipartikkelien tarvetta. Jäännösmaali on melko nestemäistä, ja sillä on suurempi viskositeetti kuin vedellä, joten siihen on helpompi sekoittaa sementtiä. Suurin etu on, että jäännösmaali voi toimia ainoana hydraatilähteenä. Jäännösmaalia sisältävällä betonilla on hyvä puristuslujuus ja jännityksenkesto. [22, s. 69-84.]

3 Jäännösmaalien hyödyntämismahdollisuuksia

Tikkurila Oyj:n puuteollisuusmaaleista syntyy vuositasolla jäännösmaaleja noin 150 000 litraa [23]. Jäännösmaalimäärä koskee vain Tikkurilan vesiohenteisia puuteollisuusmaaleja. Tämän suuruisen maalimäärän hävittäminen on todella kallista; erään suomalaisen jätteenkäsittelykeskuksen hävityshinta maalijätteelle on 3,33 €/kg [24]. Vuotuisen jäännösmaalierän hävittäminen maksaisi noin 600 000 €.

3.1 Jäännösmaalien hyödyntäminen betonin valmistuksessa

Jäännösmaalien käyttö betonin lisäaineena olisi sekä taloudellisesti että ekologisesti kannattavaa, mikäli jäännösmaali sopisi teknisesti betonin lisäaineeksi ja se parantaisi betonin ominaisuuksia. Betonia käytetään Suomessa noin 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa [25], ja jäännösmaaleja syntyy vuosittain arviolta 10 % puuteollisuuden vesiohenteisten ulkomaalien tuotetusta määrästä.

Asiaa lähdettiin selvittämään haastatteluin [26; 27], joissa kävi ilmi, että asiaa ei ole juurikaan tutkittu Suomessa. Laboratoriomittakaavassa tehtiin myös koe, jolla pyrittiin selvittämään, parantaako maali betonin puristuslujuutta tai vedenimukykyä.

Joskus puhutaan ns. lateksibetonista, mutta silloin kyseessä on polymeerisementtibetoni, ja lisäaine, polymeeri, parantaa betonin vesi- ja kemikaalitiiviyyttä. Tämä lisäaine ei kuitenkaan ole suoranaista lateksimaalia. Lateksibetonille on tunnusomaista hyvä tarttuvuus, säänkestävyys ja kimmoisuus. Polymeerisementtibetoni kuuluu muovibetoneihin, PCC (Polymer Cement Concrete). Polymeeriraaka-aineena on styreenibutadieeni, jota käytetään myös lateksimaaleissa [28].

Mikäli jäännösmaalia hyödynnettäisiin betonin lisäaineena, kuljetus jäännösmaalien syntypaikoilta betonin valmistajille olisi ratkaistava tehokkaasti.

3.1.1 Betonin lisä- ja apuaineet

Betonissa käytetään lisä- ja apuaineita, koska halutaan muuttaa betonin yhtä tai useampaa ominaisuutta. Betonin on oltava hyvälaatuista ja normaalia jo ilman lisäainetta. Tällöin on mahdollista parantaa jotain tiettyä ominaisuutta tarkoitukseen sopivalla lisäaineella. Toivotut muutokset voivat koskea tuoretta, kovettuvaa ja kovettunutta betonia. Mikään lisäaine ei kuitenkaan pysty muuttamaan huonoa betonia hyväksi.

Betonin varsinaiset lisäaineet ovat nesteitä tai jauheita, joita lisätään pieninä määrinä massan valmistusvaiheessa. Apuaineiksi kutsutaan yhteisellä nimellä lisäaineiden ohessa käytettäviä muita aineita, joiden avulla pyritään vaikuttamaan betonoinnin onnistumiseen. Apuaineita ovat esimerkiksi betonin jälkikäsittelyaineet. Betonivärit eivät myöskään ole varsinaisia lisäaineita, koska ne eivät vaikuta betonin teknologisiin ominaisuuksiin.

Edellytyksenä toivottujen ominaisuuksien saavuttamiseksi on, että lisä- ja apuaineita käytetään oikealla tavalla ja oikeassa paikassa. Mikäli näitä aineita käytetään oikealla tavalla, saavutetaan monesti teknisiä ja taloudellisia etuja. Käyttöön liittyy kuitenkin myös vaaratekijöitä, ja tehdyistä virheistä voi koitua mittavaakin vahinkoa. Siksi käyttäjän on tunnettava riittävän hyvin varsinkin lisäaineisiin liittyvä betoniteknologia. [29, s. 54-55.]

Lisäaineiden jaottelu

Vaikka lisäaineet voivat vaikuttaa kahteen tai useampaan betonin ominaisuuteen, on jokaisella lisäaineella aina jokin teknologisesti tärkeä päävaikutus, jonka mukaan lisäaineet voidaan suhteellisen helposti jakaa ryhmiin. Saman ryhmän lisäaineilla saavutetaan silloin likipitäen samanlaisia tuloksia.

Tärkeimmät betonin varsinaiset lisäaineet ryhmitellään seuraavasti:

- notkistimet (N)
- huokostimet (L)
- kiihdyttimet (K)
 - sitoutumista kiihdyttävät (Ks)
 - kovettumista kiihdyttävät (Kk)
- hidastimet (H)
 - sitoutumista hidastavat (Hs)
 - kovettumista hidastavat (Hk)
- tiivistysaineet (T)
- injektointiaineet (I).

Edellisten lisäksi on vielä muovilisäaineita, paisuttimia sekä kevytbetonin valmistukseen käytettäviä vaahdottavia ja kaasua muodostavia lisäaineita sekä toistaiseksi melko merkityksettömiä lisäaineita kuten jäätymispistettä alentavia, ilmapitoisuutta vähentäviä, betoniterästen korroosiota ehkäiseviä ja mikro-organismeja tuhoavia lisäaineita. [30, s. 64]

3.1.2 Lisäaineiden toimintatapa

Lisäaineiden toiminta perustuu erilaisiin sekä fysikaalisiin että kemiallisiin ominaisuuksiin. Vaikutusmekanisminsa mukaan lisäaineet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- fysikaalisesti vaikuttavat lisäaineet
- kemiallisesti vaikuttavat lisäaineet

- fysikaalisesti ja kemiallisesti vaikuttavat lisäaineet.

Notkistimet ja huokostimet ovat fysikaalisesti vaikuttavia lisäaineita. Ne joko vähentävät massan sisäistä kitkaa, jolloin notkeus kasvaa, tai ne pienentävät pintajännitystä, jolloin ilmapitoisuus kasvaa.

Kiihdyttimet ja hidastimet ovat yleensä kemiallisesti vaikuttavia lisäaineita. Ne ottavat osaa sementtiliimassa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin ja voivat joko nopeuttaa tai hidastaa varsinaista hydrataatioreaktiota. Näiden lisäaineiden vaikutusmekanismi on hyvin monimutkainen ja usein vielä selvittämättä. Tietyt sitoutumista hidastavat lisäaineet vaikuttavat osittain fysikaalisestikin. Kemiallisena reaktiotuotteena muodostuu tällöin suojaava kalvo sementtahiukkasten pinnalle. Kalvo vaikeuttaa veden pääsyä sementtahiukkasten kanssa kosketuksiin ja hidastaa siten sitoutumista.

Tiivistysaineet ovat fysikaalisesti ja kemiallisesti vaikuttavia lisäaineita. Ne kykenevät muodostamaan sementtikiven kapillaarihuokosia tukkivia yhdisteitä. Betonin kovettunutta nämä yhdisteet muuttuvat usein vettä hylkiviksi.

Kaikki lisäaineet vaikuttavat ainakin jossain määrin sekä fysikaalisesti että kemiallisesti, mutta ryhmäjako on perusteltua, sillä ei ole syytä ottaa huomioon vähäisiä ja melko merkityksettömiä sivuvaikutuksia. [30, s. 63]

3.1.3 Lisäainetyypit ja niiden käyttökohteet

Notkistimet

Notkistimet lisäävät betonin notkeutta. Sementtipaakut ja muut hienoaineskoostumat hajoavat helposti sekoittimessa, ja hiukkaset pysyvät erossa toisistaan, jolloin massa tulee tasalaatuiseksi ja aineosien erottuminen estyy.

Notkistimien vaikutus kohdistuu etupäässä sementtiin ja hienoimpaan kiviainekseen, joten näiden lisäaineiden aiheuttama etu on sitä suurempi, mitä enemmän betonissa on sementtiä.

Koska ryhmän lisäaineet notkistavat betonin massaa, voi tietyn notkeuden saavuttamiseksi käyttää vähemmän vettä kuin ilman lisäaineita valmistetussa betonissa. Notkistin

parantaa betonimassan tasalaatuisuutta, vähentää aineosien erottumispyrkimystä sekä parantaa yleensäkin betonin ominaisuuksia. Näistä syistä ja vesisementtisuhteen pienentämismahdollisuuden asioista saadaan tavallista lujempaa, tiiviimpää ja paremmin ulkoisia rasituksia kestäväää betonia. Lujuuden kasvun ansiosta voidaan betonin sementtimäärää vähentää.

Notkistimet soveltuvat yleensä betoniin, johon tarvitaan runsaasti sementtiä. Niitä sisältävän betonin käyttö sopii erityisesti kantaviin rakenteisiin, jotka vaativat suuria lujuuksia ja korkealaatuista betonia. Notkistuksen ansiosta ne helpottavat betonointia ahtaisiin muotteihin ja runsaasti raudoitettuihin kohtiin. Lisänotkeus parantaa myös pumpattavan betonimassan ominaisuuksia.

Nesteyttimet ovat erittäin tehokkaita notkistimia. Niillä saadaan aikaan hyvin notkeaa nesteytettyä betonia tai mahdollisen suuren vedenvähennyksen (jopa 30 %) ansiosta lujaa betonia.

Huokostimet

Huokostimet lisäävät betonin ilmapitoisuutta. Niiden vaikutuksesta betonin sekoitusvaiheessa massaan joutuva ilma hajaantuu hyvin pieniksi, betonia tiivistettäessäkin säilyviksi ilmakupliksi. Nämä pienet ilmakuplat vähentävät massan sisäistä kitkaa. Ne parantavat massan muokattavuutta sekä lisäävät sen koossapysyvyyttä ja notkeutta. Ne vähentävät myös aineosien erottumispyrkimystä.

Huokostimien käyttö on edullisinta, kun sementtiä on betonissa vähän. Sen teho vähennee sementtimäärän kasvaessa. Huokostimia käytetään ennen kaikkea pakkasenkestävän betonin valmistukseen. Niitä on käytetty lentokenttien päällystyksiin, siltojen kansirakenteisiin ja perustuksiin, laitureihin ja patorakenteisiin, ulkoportaisiin ja -tasanteisiin, yleensä kohteisiin, joissa betonipinta on alttiina veden ja säänvaihteluiden vaikutuksille. On kuitenkin todettu, että käytettäessä talvisaikaan jäänsulatusaineita huokostus ei anna betonille riittävää suojaa.

Kiihdyttimet

Kiihdyttimet ovat joko kovettumista kiihdyttäviä tai sitoutumista kiihdyttäviä lisäaineita. Useimpia kiihdyttimiä ei kuitenkaan voi sijoittaa selvästi kumpaankaan ryhmään. Kal-

siumkloridi kiihdyttää lähinnä betonin kovettumista ja on alaryhmän lisäaineista yleisin. Tosin sen käyttöä on vähennetty betoniterästen korroosiovaaran vuoksi. Betonia valmistettaessa se on lisättävä liuoksena.

Käytettäessä kalsiumkloridia lisäaineena vapautuu kovettumisen alkuvaiheessa lyhyessä ajassa runsaasti sementin hydrataatiolämpöä. Tästä aiheutuva lämpötilan nousu nopeuttaa edelleen kovettumista. Runsas lämmönkehitys vähentää samalla jäätymisvaaraa vaiheessa, jossa betoni jäätyessään hyvin herkästi vaurioituu. Teho kasvaa, jos lisäksi käytetään sopivaa notkistinta. Tällöin vesisementtisuhdetta voidaan pienentää, mikä johtaa siihen, että lämpötila entisestään nousee.

Eri sementtilaadut suhtautuvat eri tavoin kalsiumkloridiin. Sen vaikutus riippuu merkittävästi myös betonin lämpötilasta varsinkin kovettumisen alkuvaiheessa. Kylmässä saavutetaan tavallisesti hyvät lopulliset lujuudet, kun taas lämpimässä lujuudet jäävät huonoimmiksi. Kiihdyttimen käyttö ei ole suositeltavaa lämpimällä säällä liiallisen nopeuksen takia, mistä seuraa betonin lopullisen lujuuden heikentyminen. Massiivisissa rakenteissa ei kalsiumkloridia sovi käyttää liiallisen lämpötilan nousun takia.

Talvibetonoinnin lisäksi kalsiumkloridia käytetään elementtiteollisuudessa, jossa on tärkeää saada muotit puretuiksi mahdollisimman aikaisin. Tällöin on kuitenkin mahdollinen lujuudenmenetyks otettava huomioon ja lisättävä tarvittaessa sementtimäärää.

Sitoutumista kiihdyttäviä lisäaineita ei yleensä käytetä varsinaiseen betonointiin. Tällaisina aineina käytetään tavallisesti kiihdyttimien kuten kalsiumkloridin tai vesilasien väkeviä liuoksia. Sekoitettaessa sementtiä tällaisiin liuoksiin muodostunut seos kovettuu jo muutamassa minuutissa. Tällaiset laastit soveltuvat vettä tihkuvien halkeamien tai vuotokohtien paikkaamiseen. Paikattu kohta jää kuitenkin hyvin heikoksi, joten se on heti vahvistettava hyvällä laastilla tai betonilla.

Hidastimet

Hidastimet jarruttavat betonin hydrataatiota. Päävaikutuksensa mukaan ne jaetaan sitoutumista hidastavaksi ja kovettumista hidastavaksi alaryhmäksi. Näitä alaryhmiä ei voi selvästi erottaa toisistaan. Hyvät hidastimet parantavat betonin lopullista lujuutta. Tämä johtuu siitä, että sementtigeeli saa hidastuksen ansiosta muodostua riittävän hitaasti ja tasaisesti. Lujuutta lisää myös lämmönkehityksen huippukohtien tasaantumi-

nen kovettumisen alkuvaiheessa, mikä pienentää betonin sisäisiä jännityksiä ja niistä johtuvaa sisäistä halkeiluvaaraa.

Hyvillä sitoutumista hidastavilla lisäaineilla voidaan sitoutumista pitkittää halutun pituiseksi, jopa kymmeniksi tunneiksi. Lisäaineannostuksen suuruuden lisäksi lämpötila sekä sementin koostumus ja hienous vaikuttavat hidastukseen, joten on aina syytä varmistaa hidastimen vaikutus etukäteen. Tarkoituksenmukainen sitoutumista hidastava lisäaine soveltuu hyvin valmisbetonin lisäaineeksi lämpimällä säällä tai jos kuljetusmatkat ovat hyvin pitkät. Hidastuksen ansiosta voidaan suurissa betonitöissä vähentää myös työsaumojen lukumäärää.

Kovettumista hidastavia lisäaineita käytetään massiivisten rakenteiden betonoinneissa, missä on pelättävissä lämpötilan liiallisesti nousevan betonin sisäosissa. Lämmön siirtyminen massiivisen rakenteen sisäosista ulos on kuitenkin niin hidasta, että näillä lisäaineilla ei alhaislämpösementtiä saada korvatuksi yleissementillä. Lisäaine ei vähennä sementin kokonaislämmönkehitystä.

Tiivistysaineet

Tiivistysaineiden käyttö on melko vähäistä, sillä huokostimien ja notkistimien avulla saadaan tavallisesti aikaan parempi tiiviys kuin käyttämällä tiivistysaineita.

Vettähylkivän ominaisuutensa takia tiivistysaine vähentää betonin vedenimukykyä. Yksipuoliseen vesipaineeseen tiivistysaineista sen sijaan tuskin on apua, sillä betonin permeabiliteetti on riippuvainen sementtikiven ominaisuuksista, betonin koostumuksesta ja betonointityön laadusta. Tiivistysaine ei vähennä muuten huokoisen ja huonon betonin vedenläpäisevyyttä.

Injektointiaineet

Injektointiaineita käytetään sementtiliiman lisäaineena injektoitaessa jännebetonin kaapeliputkia ja kallion halkeamia. Niitä käytetään myös injektointilaastin ja -betonin aineosina jälkibetonoinneissa. Injektointiaineet paisuttavat tuoretta massaa ennen sen kovettumista. Samalla ne parantavat muokattavuutta ja pakkasenkestävyyttä sekä pienentävät veden erottumista ja aiheuttavat lievän sitoutumisen hidastumisen.

Muut lisäaineet

Muovilisäaineita käytetään pääasiassa parantamaan betonin tartuntaa toiseen betoniin. Muovilisäys parantaa myös yleensä massan muokattavuutta. Tärkeä käyttöalue on betonilattioiden pintakerrokset sekä betonin korjaustyöt. Tietyt muovilisäaineet eivät säily kosteassa ympäristössä. Muovilisäaineet perustuvat yleensä polyvinyyli- tai epoksiyhdisteisiin.

Jäätymispistettä alentavat lisäaineet soveltuvat talvikäyttöön. Niitä käytetään sementtilaastissa muuraus-, injektointi- ja elementtien saumaustöissä pakkasella. Riittävän jäätymispisteen aleneman saavuttamiseksi on yleensä käytettävä niin runsaasti lisäainetta, että sen sivuvaikutuksia ei enää pystytä hallitsemaan. Esimerkiksi alkoholiin vaikutuksesta betonin sitoutuminen hidastuu, ja kovettuminen ja lopulliset lujuudet jäävät alhaisiksi.

Terästen korroosiota ehkäisevät lisäaineet ovat jääneet vaille erityistä merkitystä betonitekniikassa, vaikka niiden tutkimiseen on uhrattu runsaasti aikaa. Mikäli betoni on tiivistä eikä yleensä ole mitään merkittäviä korroosiopulmia, voidaan lisäaineen avulla tietyissä tapauksissa vähentää betoniterästen korroosioalttiutta. Sitä vastoin korroosiota estävien lisäaineiden vaikutus on osoittautunut merkityksettömäksi aggressiivisessa ympäristössä. Tämän ryhmän lisäaineita ovat natriumbentsoaatti ja -kromaatti sekä kalsiumlignosulfaatti. [29, s. 56-58]

Lisäaineiden kemiallinen koostumus

Lisäaineiden perusaineina käytetään useimmiten paperi-, kivihiili- ja öljyteollisuuden sivutuotteita.

Notkistimiksi soveltuvat dispergoivat ja kostuttavat, pinta-aktiiviset, vaahtoa muodostamattomat aineet kuten lignosulfaatit ja hartsisaippuat. Lisäksi voidaan käyttää alkyyliaryylisulfonaatteja, sulfonoitujen hiilivetyjen suoloja ja polyglykoliestereitä. Notkistimien mahdollisesti aiheuttama hidastus voidaan estää pienellä määrällä kalsiumkloridia tai trietanoliamiinia. Nesteyttimet, jotka ovat erittäin tehokkaita notkistimia, voivat sisältää sulfonoituja melamiini- tai naftaleeniformaldehydikondensaatteja tai modifioituja lignosulfonaatteja. Myös tiettyjä sokerilajeja voidaan käyttää.

Huokostimet koostuvat tavallisesti pinta-aktiivisista vaahdotusaineista. Tällaisia ovat lähinnä lignosulfonaatit, hartsihapot ja alkyyliryylisulfonaatit. Tarkoitukseen soveltuvat myös etenoliamiinin ja polyhydroksidihappojen suolat sekä rasvahappojen muodostamat saippuat.

Kiihdyttimet voivat kalsiumkloridin ohella sisältää alkalikarbonaatteja, -boraatteja, alumiinaatteja ja –silikaatteja, eräitä klorideja, alkalihydroksideja ja trietanoliamiinia.

Hidastimien perusaineena käytetään sokereita ja hiilihydraatteja kuten tärkkelystä, seluloosajohdannaisia, eräitä lyijy-, kupari- ja sinkkisuoloja, liukenevia boraatteja, hydroksikarbonihappoja ja ligniinijohdannaisia.

Tiivistysaineet voivat perustua vesilasiin, stearaatteihin, tanniiniin, saippuoitumattomiin öljyihin, muoveihin, fluaatteihin ja silikoneihin.

Injektointiaineet sisältävät yleensä sekä notkistavan että lievästi hidastavan aineosan sekä hienoa alumiinijauhetta, joka vetyä kehittämällä paisuttaa laastia ja saa aikaan huokostusta.

3.1.4 Apuaineet ja niiden käyttökohteet

Betonivärit

Betonivärejä eli väripigmentejä käytetään lähinnä jalolaasteissa, betonisissa julkisivuelementeissä, kattotiilissä ja taidebetonissa. Kelvollisilta väripigmenteiltä vaaditaan alkalinkestävyyttä, valonkestävyyttä ja tyydyttävää värjäyskykyä. Vesiliukoisia suoloja se ei saa sisältää. Näiden vaatimusten takia kaikki orgaaniset ja epäorgaaniset pigmentit eivät sovellu betoniväriksi. Tavallisimmat ja käyttökelpoisimmat väripigmentit ovat seuraavat:

- valkeat: titaanidioksidit, liitu, hieno kalkkikivijauhe, raskassälpä
- keltaiset: rautaoksidikeltainen, kadmiumkeltainen
- punaiset: rautaoksidinpunainen
- siniset: mangaaninsininen, koboltinsininen, koelininsininen

- ruskeat: rautaoksidiruskea
- vihreät: vihreä kromioksidihydraatti, kromioksidivihreä
- mustat: rautaoksidimusta, mangaanimusta, kimrööki.

Jälkikäsitteilyaineet

Jälkikäsitteilyaineet ovat hyytelömäisiä tiksotrooppisia seoksia, joita ruiskutetaan tai sivellään betonoinnin tai muottien purkamisen jälkeen betonipinnalle. Tällöin betonipinnalle muodostuu kalvo, joka estää veden nopean haihtumisen ja näin betonin ennenaikaisen kuivumisen. Jälkikäsitteilyaineita voidaan myös käyttää pysty- ja alapintojen suojaamiseen, koska ne eivät ruiskutuksen jälkeen valu pois. Betonin kovettuttua suojakalvo häviää eikä jätä jälkiä betonipinnoille. [29, s. 59.]

3.2 Maalin vaikutus betonin puristuslujuuteen ja vedenimukykyyn

3.2.1 Kokeen tarkoitus

Kokeen tarkoituksena oli tutkia vesiohenteisen maalin vaikutusta betonin puristuslujuuteen ja vedenimukykyyn. Maali toimi betonissa lisäaineen ominaisuudessa eli maalia lisättiin 5 % betonin kokonaispainosta. Maalina käytettiin Tikkurilan Ultra Pro A -maalia.

3.2.2 Koemenetelmät

Betoni valmistettiin muotteihin sekoittamalla sementtiä, hiekkaa ja vettä. Sementtinä käytettiin Finnsementin Plussementtiä. Plussementti on normaalisti kovettuva portlandseossementti. Sekoitussuhde oli yksi osa sementtiä, kaksi osaa hiekkaa ja sopiva määrä vettä, jotta aines pystyttiin sekoittamaan tasaiseksi. Sekoituksen jälkeen toiseen muottiin lisättiin maalia 5 % betonin painosta, joka sekoitettiin tasaisesti betonin sekaan. Muotteihin kaadon jälkeen betonit jätettiin 34 vuorokaudeksi kovettumaan normaaliin sisälämpötilaan ja -kosteuteen. Muotit olivat muovisia salaattiasiatioita (kuva 11).



Kuva 11. Betonipalat kovettumassa.

Betonien kovettua niistä leikattiin timanttileikkurilla sopivan kokoisia paloja tarvittavia testejä varten. Kummastakin betonista tehtiin puristuslujuus- ja vedenimukykytesti. Puristuslujuus mitattiin lujuusmittarilla, jossa kädellä pumpattavaa sylinteriä laskettiin betonipalaa vasten, jolloin betonipala murtui, ja mittari näytti voiman, jonka betoni kesti. Kummallekin betonille testi tehtiin kolmeen eri kertaan.

Vedenimukykytestiä varten molemmista betoneista leikattiin samankokoiset palat, jotka punnittiin ja upotettiin veteen. Palojen painonmuutosta tutkittiin yhden, kahden, viiden ja seitsemän vuorokauden kuluttua alkuhetkestä, kunnes painonmuutosta ei enää tapahtunut.

3.3 Jäännösmaalien uudelleensävyttäminen

Jäännösmaalien uudelleensävyttämisen idea oli muokata jo kertaalleen sävytettyjä maaleja uusiksi sävyiksi lisäämällä tietyn määrän verran sävytyspasta. Sävytys tehtiin sellaisissa jäännösmaalien syntykohteissa, joissa on sävytyksen mahdollistava kone. Suurimmassa osassa puun pintakäsittelyä harjoittavissa yrityksissä sävytetään

maalit paikan päällä. Jäännösmaaleja pystytään sävyttämään ainoastaan vaaleammista maaleista tummempiin eli sävytyspastoja pystytään vain lisäämään, ei poistamaan. Sävytyspastojen lisääminen tapahtuisi koneellisesti, syöttämällä sävytyskoneeseen jäännösmaalin sävy ja halutun maalin sävy. Sävytyskone laskee pastojen erotuksen maalien välillä ja lisää automaattisesti tarvittavan määrän pastoja. Jäännösmaalien on oltava samaa laatua, eikä A- ja C-maaleja saa sekoittaa keskenään. A-maalia voidaan käyttää sellaisenaan tai sävytettynä, kun taas C-maali on aina pakko sävyttää. A-maali sisältää titaanioksidia. Tässä projektissa käsitellään vain Tikkurilan Ultra Pro -maalia ja Tikkurilan Puutalot-värikarttaa. [31.]

Jäännösmaalien sävyttäminen ei kuitenkaan ole yksinkertaisesti ratkaistavissa, koska nämä maalit ovat ohennettuja. Ohennussuhde ei ole aina sama, joten värin antavien komponenttien eli sävytyspastojen määrää ohennetussa maalissa ei tarkasti tiedetä. Tällöin ei edes batch correction –ohjelmalla voida saada luotettavaa lopputulosta värin suhteen. Ellei jäännösmaali olisi ohennettua, sitä pystyisi sävyttämään uudelleen olemassa olevien ohjelmien avulla. Nykyisillä työkaluilla ja ohjelmilla ohennetun jäännösmaalin käsitteleminen halutuksi ei suoraan onnistu. On todennäköisesti mahdollista kehittää ohjelmisto, jolla ohennettua jäännösmaalia pystytään luotettavasti sävyttämään uudelleen. Tähän kehitystyöhön tarvitaan resursseja, joten sen kannattavuus on arvioitava tarkkaan. [32.]

3.4 Puunvärinen pohjamaali

Yhtenä ajatuksena oli kehittää puunvärinen yleispohjamaali sekoittamalla erisävyisiä jäännösmaaleja. A- ja C-maalit pidettäisiin tässäkin erillään. Sekoitettu maali levitettäisiin puupintaan, ja näin säästettäisiin maalaus kustannuksissa, koska pintamaalia ei tarvitsisi hankkia kuin yhteen maalikerrokseen. Haasteena ja kustannuksia aiheuttavana tekijänä tässäkin on jäännösmaalien kuljetus.

Aiheesta ei tehty kokeita. Tällaisen maalin kehittämisessä ja markkinoinnissa ei haluta ottaa riskiä maalin mahdollisen epätasaisen tai huonon laadun takia. Ei voida ajatella, että tehdään kuluttajille kierrätystuotteita, jotka eivät ehkä täyttäisikään laatuvaatimuksia.

4 Työn tulokset

Työn yhteydessä mietittiin keinoja jäännösmaalien hyödyntämiselle Tikkurila Oyj:n tuotekehityksen kanssa. Ideoita olivat jäännösmaalien hyödyntäminen betonin valmistuksessa, jäännösmaalien uudelleensävyttäminen ja jäännösmaalien sekoitus puunväriksi pohjamaaliksi.

4.1 Maalin vaikutus betonin puristuslujuuteen ja vedenimukykyyn

Taulukossa 3 on esitetty ilman maalia olevan betonin puristuslujuus kg/cm^2 kohden. Testi tehtiin kolmelle eri palalle ja niistä laskettiin keskiarvo puristuslujuudelle.

Taulukko 3. Maalittoman betonin puristuslujuus.

	Puristuslujuus (kg/cm^2)
Pala 1	63,0
Pala 2	94,5
Pala 3	94,5
Keskiarvo	84,0

Taulukossa 4 on esitetty puristuslujuuden määrä ja keskiarvo betonille, joka sisälsi maalia.

Taulukko 4. Maalia sisältävän betonin puristuslujuus.

	Puristuslujuus (kg/cm^2)
Pala 1	63,0
Pala 2	75,6
Pala 3	94,5
Keskiarvo	77,7

Taulukossa 5 on esitetty ilman maalia olevan betonin painonmuutos vesiupotuksessa grammoina ja prosentteina. Prosentuaalinen muutos on laskettu palan lisääntyneen painon määrästä, suhteessa alkuperäiseen painoon. Ajassa 0 vrk koepala ei ollut vielä vedessä.

Taulukko 5. Maalittoman betonin painonmuutos vesiupotuksessa.

Aika (vrk)	Paino (g)	Painonmuutos-%
0	424	0
1	442	4,2
2	443	4,5
5	444	4,7
7	444	4,7

Taulukossa 6 on vedenimukykytestin tulokset maalia sisältävälle betonille.

Taulukko 6. Maalia sisältävän betonin painonmuutos vesiupotuksessa.

Aika (vrk)	Paino (g)	Painonmuutos-%
0	400	0
1	403	0,8
2	408	2,0
5	415	3,8
7	415	3,8

Puristuslujuus- ja vedenimukykytestien tuloksista ilmenee, että maalin lisääminen betoniin ei ole kannattavaa näiden ominaisuuksien parantamiseksi. Puristuslujuus ei parantunut, vaan heikkeni maalin lisäyksen johdosta. Ilman maalia olevan betonin keskiarvoiseksi puristuslujuudeksi tuli $84,0 \text{ kg/cm}^2$, ja maalia sisältävän betonin keskiarvoisen puristuslujuus oli $77,7 \text{ kg/cm}^2$.

Betonin vedenimukyky pieneni hieman lisättäessä siihen maalia. Ilman maalia olevan betonin painonmuutos seitsemän vuorokauden testissä oli 4,7 % ja maalia sisältävän betonin painonmuutos samassa testissä oli 3,8 %. Näiden tulosten perusteella ei ole kannattavaa lisätä maalia betoniin, koska betonin ominaisuudet eivät parane merkittävästi.

4.2 Muut tulokset

Jäännösmaalimääriä arvioitiin vuositasolla (150 000 litraa) ja laskettiin niistä syntyvät hävityskustannukset. Hävityskustannukset ovat huomattavat (600 000 €), joten olisi kannattavampaa hyötykäyttää jäännösmaalia mahdollisimman paljon, hävityksen sijaan.

Jäännösmaalien jatkosävytys edellyttäisi sekä ohjelmistojen että laitteistojen kehittämistä, minkä kustannukset arvioitiin vähintään 100 000 euroksi. [23.]

Hyötykäyttötavoista keskusteltiin myös Tikkurila Oyj:n asiakkaiden kanssa, ja eniten he pitivät maalien uudelleensävyttämisestä. Se alentaisi pintakäsittelykustannuksia ja säästäisi varastointitilaa.

Ongelmia esiintyi jokaisessa jäännösmaalien hyödyntämistavassa. Hyödyntämistapojen haasteet eivät liity maalikemiaan vaan enemmänkin maalausteknologiaan [22]. Maalien käyttöä betonissa ei ole tutkittu Suomessa, ja asia oli hyvin vieras alan asiantuntijoillekin. Ongelmana oli myös maalin kuljetus maalaamon ja betonin valmistajan välillä.

Uudelleensävyttämisen ongelmat liittyivät ohennettujen maalien sävyttämiseen. Maalaamoissa maaleja ohennetaan eikä ohennuksen jälkeen maaleja voida sävyttää tarkasti, koska ohennussuhde ei ole aina sama. Ohennettu maali kontaminoituu joka kerta, kun sillä maalataan lautoja. Maalin säilyvyys muodostuu ongelmaksi, koska biosidejä ei voida lisätä muualla kuin maalinvalmistajan tuotannossa.

Jäännösmaalien sekoitus puunväriksi pohjamaaliksi ja sen testaus jäi jatkotutkimusaiheeksi, eikä tästä tehty kokeellisia töitä. Maalin kuljetukseen liittyvät seikat ja kustannukset ovat tässäkin merkittävä haaste.

5 Yhteenveto

Tässä työssä pyrittiin kehittämään kustannustehokas tapa puuteollisuuden jäännösmaalien hyödyntämiselle. Erilaisia keinoja kehitettiin työn teettävän yrityksen tuotekehityksen ja sen asiakkaiden kanssa yhteistyönä. Näin pyrittiin saamaan mahdollisimman hyvä kuva ongelmista ja niiden mahdollisista ratkaisutavoista. Yrityksen asiakkaiden mukanaolo auttoi näkemään jäännösmaalien synnyn, varastoinnin ja prosessoinnin käytännön tasolla. Oli myös tärkeää huomata ja ymmärtää, kuinka paljon jäännösmaaleja kertyy vuositason eri yrityksiin ja että siitä on iso haitta niille sekä varastoinnin että hukkaan menevän maalin takia.

Betonin puristuslujuus- ja vedenimukykytestien tuloksista kävi ilmi, että maalin lisääminen betoniin ei ole kannattavaa betonin ominaisuuksien parantamiseksi. Puristuslujuus ei parantunut vaan heikkeni maalin lisäyksen johdosta; maalia sisältävän betonin puristuslujuus oli noin 7,5 % pienempi kuin maalittoman betonin. Betonin vedenimukyky pieneni hieman lisättäessä siihen maalia, mutta tämän ominaisuuden parantuminen ei ollut merkittävää; maalittoman betonin vedenimukyky oli 0,9 %-yksikköä suurempi kuin maalia sisältävän betonin.

Työn tavoitteet osoittautuivat hyvin haastaviksi, ja niiden saavuttaminen ja tulosten tuominen käytännön tasolle jäi hieman vajaaksi. Täysin teknistaloudellisesti kannattavaa tapaa hyödyntää jäännösmaaleja ei vielä löytynyt. Työ herätti kuitenkin ajatuksia mahdollisista jäännösmaalien hyötykäytön keinoista, ja negatiivinenkin tulos on tulos.

Jäännösmaalien uudelleensävyttäminen olisi todennäköisesti käyttökelpoinen ja kannattava menetelmä, ja sitä pitäisi kehittää enemmän, jotta se pystyttäisiin toteuttamaan. Tässä on otettava huomioon, että jokaisesta jäännösmaalierästä täytyisi ottaa näyte ja tutkia, mitä jäännösmaali sisältää ja huolehtia, että jokaisen erän laatu on riittävän hyvä. Tämä pitäisi tehdä maalinvalmistajan kontrolloiduissa olosuhteissa. Myös Tikkurila Oyj:n asiakkaiden mielestä maalien uudelleensävyttäminen voisi olla toimiva ratkaisu, ja se helpottaisi jäännösmaalien hyödyntämistä. Tässä olisikin oiva jatkotutkimuksen aihe.

Metameriaongelma tulee ottaa myös huomioon sävytettäessä maaleja uudelleen. Tiettyssä valaistuksessa sekoitetut sävyt voivat näyttää samalta kuin haluttu sävy, mutta eri valaistuksessa sävyt ovatkin erilaiset. Sekoitettavat sävyt tulisi testata siinä valossa, kuin niiden käyttökohteen valo on, jotta metameriaa ei esiintyisi ja saataisiin mahdollisimman tarkka sävy.

Eri maalilaatuja ja maalinvalmistajien tuotteita ei voi suositella sekoitettavan keskenään. Eri tuotteissa käytetään eri raaka-aineita, ja jos niitä sekoitetaan, ei voida tietää maalin ominaisuuksia, eikä maalin laatu välttämättä ole hyvä.

Jäännösmaalien käyttö ja myynti on myös imagokysymys, sekä positiivisessa että negatiivisessa mielessä. Kierrätys on nykypäivän teknologiassakin suositeltavaa, joten tässä mielessä jäännösmaalien käyttö on yrityksen kannalta erittäin positiivinen asia. Toisaalta jäännösmaalityönteet eivät ehkä ole yhtä laadukkaita kuin uudet tuotteet, jo-

ten niiden käyttäjälle pitää tehdä tämä seikka erittäin selväksi, jotta yrityksen maine ei kärsi. Uusiomaali on myös testattava niin kattavasti, että voidaan varmistua sen priima-laadusta, jotta valmistaja pystyy antamaan riittävän takuun huoltomaalausvälille.

Ekologisesti ja teknistaloudellisesti tärkeintä on kuitenkin jäännösmaalin määrien minimointi esimerkiksi ennakoimalla maalin kulutus paremmin, pitämällä toimituserät pienempinä ja hyödyntämällä paremmin olemassa olevia erilaisia purkkikokoja.

Lähteet

- 1 Tikkurila-konserni. 2012. Verkkodokumentti. Tikkurila Oyj.
<<http://www.tikkurilagroup.com/fi/konserni/>>. Luettu 29.2.2012.
- 2 Vuosikertomus. 2010. Verkkodokumentti. Tikkurila Oyj.
<http://www.tikkurilagroup.com/files/943/Tikkurila_Vuosikertomus_2010.pdf>. Luettu 5.7.2012.
- 3 Juvonen-Lindström, H., Järvinen, P., Kotilainen, P. & Nummela, A. 2001. Teollisen pintakäsittelyn ympäristö- ja turvallisuusopas. Vantaa: Tikkurila Coatings.
- 4 Puuteollisuus toimialana. 2012. Verkkodokumentti. Työturvallisuuskeskus TTK.
<<http://www.tyoturva.fi/toimialat/puuteollisuus>>. Luettu 1.3.2012.
- 5 Fagerholm, K., Hirvelä, H., Ihamäki-Laitinen, M., Keränen, E., Korhonen, K., Manni-Rantanen, L., Nummela, A. & Passinen, A. 2009. Puun teollinen pintakäsittely. Vantaa: Tikkurila Oyj.
- 6 Kemppe, Jussi. 2012. Avainasiakaspäällikkö, Puuteollisuus SBU Finland, Tikkurila Oyj, Vantaa. Sähköpostikeskustelu 16.4.2012.
- 7 Koponen, Hannu. 1991. Puutuotteiden jalostus ja kehitys. Espoo: Otatieto.
- 8 Sävytyksellä rajoittamaton värivalikoima. 2012. Verkkodokumentti. Tikkurila Oyj.
< http://www.tikkurila.fi/ammattilaiset/varit/lisatietoa_vareista/savytys>. Luettu 14.3.2012.
- 9 Sävytyksen komponentit. 2012. Verkkodokumentti. Tikkurila Oyj. <
http://www.tikkurila.fi/ammattilaiset/varit/lisatietoa_vareista/savytys/savytyksen_komponentit>. Luettu 14.3.2012.
- 10 Tikkurila Oyj. 2012. Tikkurila ProHouse – kestävien puutalojen puolesta. Esite. Tikkurila Oyj. Luettu 16.4.2012.
- 11 Ympäristövaikutukset. 2012. Verkkodokumentti. Tikkurila Oyj.
<www.tikkurila.fi/ammattilaiset/ymparisto/maalin_elinkaari/ymparistovaikutukset>. Luettu 2.3. 2012.
- 12 Larsen, S. (toim.), Kuusela, A., Pyykkönen, K., Susi, A. & Virtanen, J. 2007. Pinnalle – maalaustyön perustaidot. Helsinki: Opetushallitus.
- 13 Alén, Holger. 1999. Maalit ja niiden käyttö. Helsinki: Holger Alén ja Opetushallitus.

- 14 Moilanen, M., Passinen, A., Ruuskanen, V-P. & Varila, S. 1999. Maalit ja värit. Vantaa: Tikkurila Paints Oy.
- 15 Antson, H., Hakala, I., Karjalainen, A., Koivula, K., Gyllenberg, P., Hirvikallio, H., Lahti, J., Soljamo, K., Silvo, K., Silander, S., Tikkanen, S. & Villikka, J. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) liuottimia käyttävässä pintakäsittelyssä. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus SYKE.
- 16 PaintCare Pilot Program Marks First Year with Record Numbers. 2011. JCT CoatingsTech. Vol. 8, No. 10, s. 18.
- 17 Development of a Performance and Environmental Certification System for Recycled P Development of a Performance and Environmental Certification System for Recycled Paint Products. 2007. JCT CoatingsTech. Vol. 4, No. 2, s. 72-80.
- 18 Connecticut Governor signs paint stewardship law. 2011. Coatings World. Vol. 16, No. 7, s. 18.
- 19 New EPA Study Shows Millions of Gallons of Paint Available for Safe Disposal, Reuse or Recycling. 2007. Coatings World. Vol. 12, No. 6, s. 12.
- 20 Lorraine M. Segala. Recycling of Nonhazardous Industrial Paint Sludge, Non-reuseable Leftover Latex Paint, and Similar Materials. 2003. Metal Finishing. Vol. 101, No. 3, s. 38-40.
- 21 Do you have surplus paint, faulty or sensitive paint products that you want to dispose of and you don't want it to reappear in the market place?. 2012. Verkkodokumentti. West Lancs Paints & Varnish Co. Ltd. <http://www.westlancspaints.co.uk/surplus_paints_solution.php>. Luettu 5.7.2012.
- 22 Reshma Ramesh Karambalkar. Paint Waste Management. 2009. Paintindia. Vol. 59, No. 7, s. 69-84.
- 23 Ahola, P., Kemppi, J., Kotilainen, P., Luomahaara, P. Tikkurila Oyj, Vantaa. Keskustelu 4.10.2012.
- 24 Vaarallisten jätteiden maksut. 2012. Verkkodokumentti. Mustankorkean jätteenkäsittelykeskus. <www.mustankorkea.fi/filebank/172-Vaaralliset_jatteet_hinnasto_2012.pdf>. Luettu 5.7.2012.
- 25 Betoniteollisuus määrinä ja euroina. Verkkodokumentti. Betoniteollisuus ry. <www.betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoniteollisuus-maarina-ja-euroina>. Luettu 5.4.2012.
- 26 Wirtanen, Leif. 2012. Tutkimuspäällikkö, Tikkurila Oyj, Vantaa. Keskustelu 3.4.2012.

- 27 Suikka, Arto. 2012. Tuoteryhmäpäällikkö, Rakennustuoteteollisuus RRT ry, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 12.4.2012.
- 28 Muut lisäaineet. Semtu Oy. Verkkodokumentti.
<www.semtu.fi/index.php/download_file/view/709/157/>. Luettu 6.4.2012.
- 29 Betonitekniikka, RIL 119, Suomen Rakennusinsinöörien liitto r.y. 1979.
- 30 Betonitekniikan oppikirja 2004 BY 201, Suomen Betoniyhdistys r.y.
- 31 Lindkvist-Suhonen, Evalotte. 2012. Senior Specialist, Tikkurila Oyj, Vantaa. Keskustelu 3.4.2012.
- 32 Luomahaara, Päivi. 2012. R&D Manager, Tikkurila Oyj, Vantaa. Sähköpostikeskustelu 10.5.2012.

