



Jami Paavilainen

Pintakäsittelymenetelmän valinta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

1.2.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Jami Paavilainen
Otsikko: Pintakäsittelymenetelmän valinta
Sivumäärä: 44 sivua + 1 liite
Aika: 1.2.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio
Ohjaajat: Kehityspäällikkö Juha Immonen
Yliopettaja Pekka Salonen

Insinööriyössä selvitettiin Mitsubishi Logisnext Europe Oy:lle nykyaikaisia pintakäsittelymenetelmiä. Mitsubishi Logisnext Europe Oy valmistaa Järvenpäässä sähkökäyttöisiä varastotrukkeja. Pintakäsittelymenetelmät pitävät sisällään esikäsittelyn sekä varsinaisen maalaus- ja pintakäsittelyn. Aiheena oli tutustua menetelmien eri ominaisuuksiin ja niiden soveltuvuuteen varastotrukkien osille. Lisäksi työssä selvitettiin pintakäsitteltävät kappaleet ja niiden määrät sekä laatu- ja esikäsittelyvaatimukset.

Työn tarkoituksena oli tuottaa yritykselle selonteko nykyaikaisesta pintakäsittelylinjasta sekä miten edeltävien menetelmien muutoksilla voidaan sopeutua kasvaviin tuotantomääriin.

Työ toteutettiin keräämällä tietoa nykyaikaisesta pintakäsittelymenetelmistä sekä yrityksen pintakäsitteltävien kappaleiden ominaisuuksista. Tarvetta oli myös tutustua pintakäsittelyn työturvallisuuteen, mukaan lukien ATEX (atmosphères explosibles) – laitedirektiivi, sekä pintakäsittelyn kemikaalien aiheuttamiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöihin.

Tuloksena todettiin, että maalattaville kappaleille parhaiten sopiva pintakäsittelymenetelmä on jauhemaalauksen ja statiikkaan pohjautuva ilma-avusteinen suurpaineruiskutusmaalaus. Lisäksi voitiin todeta, että vesiohenteiset maalit ovat ympäristöystävällisempiä kuin liuotinohenteiset. Esikäsittelyksi selvisi, että kappaleille tulee suorittaa huolellinen kemiallinen pesu, jollei niitä ole jo pohjamaalattu. Pesun jälkeen tuotteille suoritetaan huolellinen suihkupuhdistus (Sa 2½) tai jokin konversiokäsittely. Nanopinnoitteet (zirkonium ja silaani) osoittautuivat kustannustehokkaimmiksi sekä ympäristöystävällisimmiksi konversiokäsittelyiksi.

Päätelmänä työstä voidaan todeta, että jauhemaalauksen ja vesiohenteiset märkämaalit ovat todennäköisimmin tulevaisuuden kehittyvimmit pintakäsittelymenetelmät. Nämä menetelmät ovatkin jo syrjäyttämässä liuotinohenteisiä maalausmenetelmiä nykyaikaisten ympäristösäädösten seurauksena.

Avainsanat: Korroosionestomaalaus, Jauhemaalauksen, Suurpaineruiskutus, Pintakäsittely, Esikäsittely

Abstract

Author: Jami Paavilainen
Title: Choosing a surface coating technology
Number of Pages: 44 pages + 1 appendix
Date: 1 February 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Juha Immonen, Production Engineering Manager
Pekka Salonen, Principal Lecturer

In the thesis, modern surface treatment methods were studied for Mitsubishi Logisnext Europe Oy. Mitsubishi Logisnext Europe Oy manufactures electric forklift trucks in Järvenpää. Surface treatment methods include pre-treatment and painting. The topic of the thesis was to gain information of the different properties of the methods and their suitability for parts of warehouse trucks.

The purpose of this thesis was to provide the company with a report of a modern surface treatment line and how changes in previous coating methods could be used to adapt to growing production volumes.

The work was carried out by collecting information on modern surface treatment methods and the properties of the company's parts to be painted. There was also a need to look at occupational safety in surface treatment, including the ATEX (atmosphères explosibles) -equipment directive, and emissions of volatile organic compounds (VOCs) from surface treatment chemicals.

As a result, it was found that the most suitable surface coating method for the parts to be painted are powder coating and static-based high-pressure spray painting. In addition it was found in this thesis that water-based paints are more environmentally friendly than solvent-based paints. For pre-treatment, it became clear that the parts to be painted should be thoroughly chemically washed, unless they had already been primed. After washing, the parts are subjected to thorough blast cleaning (Sa 2½) or some conversion treatment. Nano coatings (zirconium and silane) proved to be the most cost-effective and environmentally friendly conversion treatments.

It can be concluded from the thesis that powder coating and water-based paints are most likely to be the most advanced surface treatment methods of the future. Indeed, these methods are already displacing solvent-based painting methods as a result of modern environmental regulations.

Keywords: Anti-corrosion painting, Surface Coating, Powder Coating, High-Pressure Painting, Pre-treatment

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Metallin pintakäsittelymenetelmät	2
2.1	Metallipinnan esikäsittely	2
2.1.1	Kemiallinen esikäsittely	3
2.1.2	Mekaaninen esikäsittely	10
2.2	Elektroforeesimenetelmä (E-coat)	12
2.3	Ruiskumaalaus	13
2.3.1	Sivuilmaruiskutus (hajotusilmaruiskutus, kannuruiskutus)	14
2.3.2	Suurpaineruiskutus	16
2.4	Jauhemaalaus (polttonaalaus, pulverimaalaus)	19
2.5	Muita pintakäsittelymenetelmiä	24
3	Vaatimukset pintakäsittelylle	26
3.1	Maalattavat kappaleet	26
3.2	Maalauksessa käytettävät sävyt ja kiillot	29
3.3	Laatuvaatimukset	29
4	Pintakäsittelymenetelmien vertailu	31
4.1	Poissuljettavat pintakäsittelymenetelmät	31
4.2	Esikäsittelymenetelmien vertailu	32
4.3	Suurpaineruiskutuksen ominaisuuksia	34
4.4	Jauhemaalauksen ominaisuuksia	34
4.5	Talous, energia	34
4.6	Turvallisuus, työsuojelu, ATEX (atmosphères explosibles)	37
4.7	Ympäristö, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	38
4.8	Tämänhetkiset maalausprosessit	39
5	Johtopäätökset ja pohdinta	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1: Pintakäsittelymenetelmien pisteytys	

Lyhenteet

- AGV: *Automated guided vehicles*. Automaattisesti ohjautuvat ajoneuvot.
- ATEX: *Atmosphères explosibles*. Direktiivi jolla hallitaan räjähdysvaarallisia tiloja ja niiden laitteita.
- GWh: Gigawattitunti. Energian yksikkö, jolla ilmaistaan energianmäärää, sähköä tai lämpöä.
- ISO: *International Organization for Standardization*. Kansainvälinen Standardisoimisjärjestö. Jäseninä toimii kansalliset standarditoimistot.
- nm: Nanometri. Mittayksikkö. Metrin miljardisosa.
- µm: Mikrometri. Mittayksikkö. Metrin miljoonasosa.
- SFS: Suomen Standardisoimisliitto. Kansainvälisen standardoimisjärjestön jäsen.
- VOC: *Volatile organic compound*. Haihtuvat orgaaniset yhdisteen. Päästöjä joita tulee seurata teollisessa pinnankäsittelyssä.

1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on tutustua nykypäiväisiin metallipintojen pintakäsittelymenetelmiin. Nykyaikaisten menetelmien avulla voidaan kasvattaa maalauskapasiteettia sekä pienentää pinnankäsittelystä aiheutuvaa ympäristökuormitusta. Lisäksi työn tavoitteena on selvittää Mitsubishi Logisnext Oy:lle optimaalisimpia pintakäsittelymenetelmiä Järvenpäässä maalattaville kappaleille. Tehtävänä on selvittää Järvenpään yksikössä käsiteltävät kappaleet ja niiden määrät. Lisäksi tehtävänä on selvittää käsiteltävien kappaleiden laatu- ja esikäsittelyvaatimukset. Selvitys toimii osana yrityksen pinnankäsittelyn kehitysprojektia, jotta maalaamista voidaan toteuttaa paikan päällä Järvenpäässä. Näin tuotantomäärien kasvu voidaan turvata jatkossa ilman riippuvuutta pinnankäsittelyn alihankinnasta.

Mitsubishi Logisnext Europe Oy

Mitsubishi Logisnext Europe Oy on alun perin vuonna 1942 perustettu yhtiö nimellä Rautatyö Oy, joka muutti nimensä vuonna 1967 Rocla Oy:ksi. Vuonna 2020 yhtiö nimettiin Mitsubishi Logisnext Europe Oy:ksi osana Mitsubishi Logisnext Groupin integrointiprosessia. (1.)

Järvenpäässä valmistetaan sähkökäyttöisiä ja ympäristöystävällisiä varastotrukkeja. Vuonna 2013 Järvenpään tehtaalle siirrettiin Hollannista myös vastapainotrukkien valmistus. Lisäksi Järvenpäässä suunnitellaan ja valmistetaan Rocla AVG automaattisia sisälogistiikan ratkaisuja, jotka mahdollistavat turvallisen ja nykyaikaisen automaattisen varastointijärjestelmän. Yritys on automaattisten logistiikkaratkaisuiden edelläkävijä jo yli 30 vuoden kokemuksella. (2.)

Mitsubishi Logisnext Europe Oy työllistää n. 450 henkilöä. Yrityksen liikevaihto vuonna 2021 oli 112,5 miljoonaa euroa. Yhtiöllä on myös tytäryhtiö Logisnext Finland, jonka pääkonttori sijaitsee Vantaalla. Logisnext Finland vastaa Mitsubishi Logisnext Europe konsernin tuotteiden myynnistä, huollosta, ylläpidosta ja varaosatoimituksesta Suomessa. (2.)

2 Metallin pintakäsittelymenetelmät

Metallituotteiden pintakäsittely on tärkeä osa tuotteiden valmistusprosessia. Pintakäsittelyllä suojataan tuotetta korroosiolta sekä mekaaniselta kulumiselta. Lisäksi pintakäsittelyllä saavutetaan haluttu visuaalinen ulkonäkö tuotteelle. Pinnankäsittelyprosessi sisältää pinnan esikäsittelyn sekä varsinaisen pinnankäsittelyn. Tuotteen ominaisuudet, kuten koko, muoto ja tuotteen materiaali vaikuttavat pinnankäsittelymenetelmän sekä esikäsittelyn valintaan. (3, s. 6–15.)

2.1 Metallipinnan esikäsittely

Ennen varsinaista maalausta suoritettava esikäsittely on kriittinen osa pinnankäsittelykokonaisuudesta. Suuri osa maalauksenvaurioista johtuu huonosta esikäsittelystä. Esikäsittelynä toimii kemiallinen ja mekaaninen esikäsittely. Esikäsittelyn vaatimuksiin vaikuttavat pinnankäsittelyltä haluttu laatu ja ominaisuudet. Esikäsittely ei kuitenkaan rajoitu vain pinnan puhdistamiseen haitallisista aineista, vaan käsittelyltä vaaditaan myös tuotteelle suoritettava terästyö, kuten hitsiliitosten, leikkauspintojen ja teräspintojen vikojen korjaus. Terästöiden laatuasteet on määritelty standardissa SFS-ISO 8145 (kuva 1). (4, s.10–13.)

Kohde	Nro	Toimenpide	Esikäsittelyn laatuaste									
			1	2	3	4	5	6				
TERÄSTYÖ												
Hitsausliitokset	1	Hitsauskuona poistetaan										
	2	Hitsauslangan pätkät poistetaan										
	3	Kaapimella irtoavat hitsausroiskeet poistetaan										
	4	Hitsausroiskeet poistetaan										
	5	Avohuokokset korjataan										
	6	Reunahaavat korjataan										
	7	Terävät huiput pyöristetään										
Leikkauspinnat	8	Kaapimella irtoava purse ja jäyste poistetaan										
	9	Terävät reunat ja huiput poistetaan										
Viat teräspinnassa	10	Polttohaavat korjataan										
	11	Terävät pintaviat korjataan										

Kuva 1. Terästöiden laatuasteet ja niiden edellyttämät työt standardin SFS 8145 mukaan (5, s.24).

Pinnan esikäsitteilymenetelmän valinnalle on standardin SFS-EN ISO 8504-1:2019 mukaan määritelty tekijöiksi

- pinnan kunto
- käytännöllisyys (esimerkiksi olosuhteet, aikataulu, turvallisuus, ympäristö, energia)
- tarvitseeko koko pinta vai osa pinnasta esikäsitteilyä
- määritelty tai vaadittu esikäsitteilyaste
- pinnoiteyhdistelmä
- taloudelliset näkökohdat
- käsitteilyolosuhteiden tai vaadittujen esikäsitteilyn tuloksien koskevat erityisvaatimukset (esimerkiksi pintaprofiili).

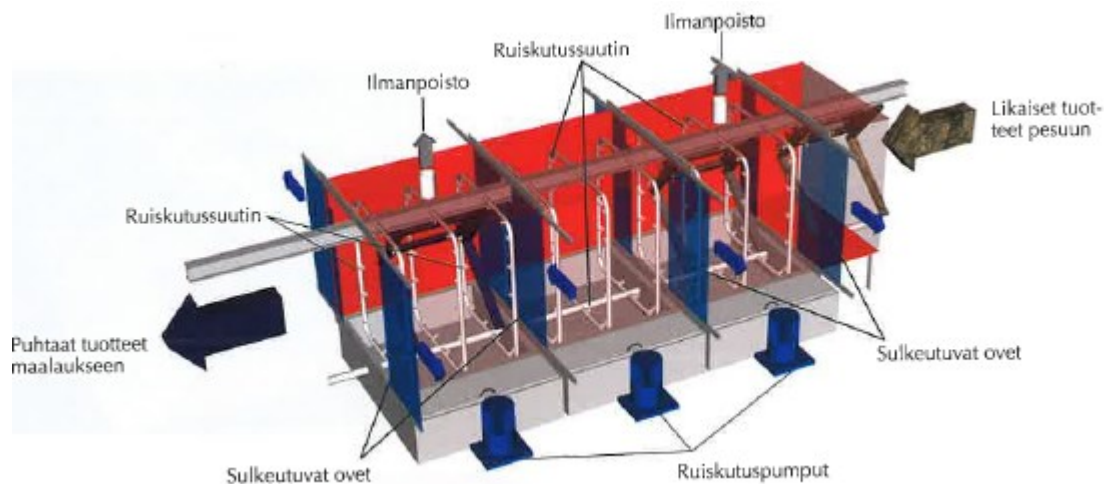
2.1.1 Kemiallinen esikäsitteily

Kemiallisella esikäsitteilyllä poistetaan tuotteen pinnalta epäpuhtauksia sekä maalin kiinnittymistä haittaavia aineita. Lisäksi kemiallisella esikäsitteilyllä parannetaan tuotteen korroosionestokykyä. Pesut, peittaukset ja konversiokäsitteilyt kuuluvat kemialliseen esikäsitteilyyn. (3, s.25–26.)

Metallipinnan pesu

Metallipinnan pesun avulla tuotteen pinnalta poistetaan konversiokäsitteilyä ja maalausta haittaavat epäpuhtaudet, kuten ruoste, valssihilse, rasva, leikkuunesteiden jäämä, vanha maali tai yleinen lika. Pesu voidaan suorittaa käsin suihkutamalla tai automatisoidulla pesulinjalla (kuva 2). Pesu itsessään ei paranna tuotteen kestävyttä. Pesun jälkeen metallin pinta on erittäin altis korroosiolle, koska pinnalta on poistettu pintaa suojaava suojaöljy- tai oksidikerrokset. Yleisesti pesun jälkeen suoritetaan heti konversiokäsitteily, joka parantaa tuotteen korroosionkestävyyttä ja maalin tarttuvuutta. Jos tuotetta käsitellään myös me-

kaanisesti, se kannattaa tehdä vasta pesun jälkeen, koska mekaaninen esikäsitteily ei poista rasvaa, suojaöljyä ja työstönesteitä, vaan se levittää ne ko. pintaan. (3, s.26–27.)



Kuva 2. Esimerkki vaiheittain toimivasta ruiskupesulinjasta (3, s.33).

Pesutulokseen vaikuttavat tekijät ovat:

- pesuaine,
- pesuaika,
- lämpötila ja
- mekaaninen liike. (3, s.27.)

Pesuaine valitaan pestävän kappaleen materiaalin ja sen pinnalla olevien epäpuhtauksien mukaan. Tärkein tehtävä pesuaineelle on irrottaa epäpuhtaudet ja sitoa ne itseensä niin, että ne eivät tartu uudelleen pestävän kappaleen pintaan. Pesuaineena käytetään alkalisia, happamia ja neutraaleita pesuaineita. Teräksen pesussa käytetään yleisesti voimakkaasti alkalisia aineita. (3, s.27–31.)

Alkaliset pesuaineet irrottavat tehokkaasti epäpuhtauksia ja ne ovat tehokkaimmillaan 40–80 °C:n lämpötilassa (3, s.29). Yleisesti pesulämpötila on 60–90 °C (4, s.12). Parhaan pesutuloksen saavuttamiseksi pesuainetta tulee sekoittaa voimakkaasti upotuspesussa tai ruiskuttaa suoraan pinnalle. Alkalinen pesuaine

ei sovellu esimerkiksi alumiinille tai sinkityille teräksille, koska se syövyttäisi näitä. Näille materiaaleille soveltuvat hyvin happamat pesuaineet. (3, s.27–31.)

Neutraalit pesuaineet eivät ole alkalisia eivätkä happamia. Neutraalipesua käytetään joko varsinaisena pesuna, tai esipesuna ennen varsinaista pesua. Pesukyky neutraaleilla pesuaineilla perustuu lähinnä tensidien toimintaan. Tensidit ovat molekyylejä, joita käytetään lähes kaikissa pesuaineissa, kuten astianpesuaineissa ja pyykinpesuaineissa. Tensidit irrottavat ja sitovat poistetun rasvan siten, että se ei enää tartu uudelleen pestyyn pintaan. (3, s.27–31.)

Pesujan pidentämisellä voidaan parantaa pesun lopputulosta, mutta liian pitkä vaikutusaika voi vaurioittaa pestävää pintaa tai aiheuttaa vaikeasti huuhtelussa poistuvaa sakkaa. Lämpötilan nostamisella voidaan myös parantaa pesun lopputulosta. Korkeampi lämpötila parantaa erityisesti suojaöljyn ja vetorasvojen irtoamista, koska lämpö notkistaa niitä. Lämpötila määräytyy pesuaineen ja epäpuhtauksien mukaan. Liian korkea lämpötila lisää veden haihtumista, energiakustannuksia sekä ilmassa olevia pesuainehuujuja. Mekaanista liikettä pesun aikana tarvitaan hyvän pesutuloksen saavuttamiseksi. Ruiskupesussa mekaaninen liike syntyy tehokkaasti itse ruiskutuksessa, eikä muuta liikkeen aiheuttajaa tarvita. Kastopesussa tarvitaan jonkinäköistä mekaanista liikettä, kuten pesunesteen pumppausta, sekoittamista, ultraääntä, ilmapuhallusta tai pestävän kappaleen liikuttamista. Kappaleen liikuttaminen ei itsessään ole tehokas sekoitusmenetelmä, mutta yhdistettynä muihin menetelmiin, sillä voidaan saavuttaa hyvä pesutulos. (3, s.27–28.)

Metallipinnan peittäus

Peittauksilla metallien pinnoilta poistetaan syövyttämällä epäpuhtauksia, joita ei saada poistetuksi pesuissa. Vaikka peittauksella saadaan metallin pinta puhtaammaksi kuin pesuilla, niin silti sitä käytetään vain erityisissä tapauksissa. Peittausta ei yleisesti käytetä esikäsitteilynä ennen maalausta. Poistettavia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi ruoste, valssihilse ja oksidit. Syövyttäminen poistaa myös hieman metallin pintaa. Peittäusaineina toimii yleisesti hapot ja emäkset.

Peittäus suoritetaan yleensä kastomenetelmällä tai joissakin tapauksissa ruiskuttamalla. (3, s.40.)

Metallipinnan konversiokäsittely

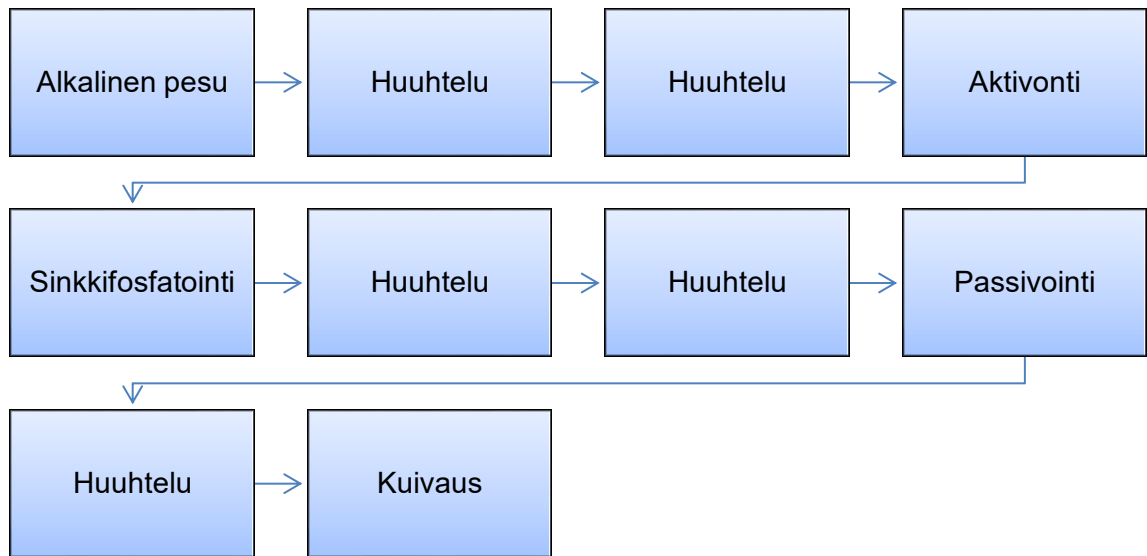
Konversiokäsittelyssä käsiteltävän tuotteen pinnalle muodostetaan kerros, joka estää tai hidastaa metallin pinnan hapettumista maalikalvon alla. Käsittely parantaa maalin tarttuvuutta ja kiinni pysymistä maalattavan tuotteen pinnalla. Ennen konversiokäsittelyä käsiteltävä pinta tulee pestä ja mahdollisesti käsitellä myös mekaanisesti. Kasto- sekä ruiskutusmenetelmät soveltuvat konversiokäsittelyyn. Fosfatoinnit ovat olleet käytössä jo pitkään, mutta niiden käytöstä ollaan osittain luopumassa ympäristöllisin ja taloudellisin syin. (3, s.42.)

Konversiokäsittelyistä yleisimpiä ovat:

- rautafosfatoi,
- sinkkifosfatoi (kuva 3),
- zirkoniumpinnoite,
- silaanipinnoite ja
- passivointi. (3, s.42.)

Rautafosfatoi sopii sisällä käytettäville kylmävalssatuille teräksille, koska esimerkiksi jauhemaalauksen kanssa rautafosfatoinnin korroosionestokyky ei ole riittävä ulkokäytössä tai kosteissa sisätiloissa. Menetelmä itsessään voi olla melko yksinkertainen, jolloin tuote pestään ja fosfatoidaan samanaikaisesti. (3, s.42–43.)

Sinkkifosfatoi soveltuu rautafosfatoiä paremmin korkeaa korroosionestokykyä vaativiin tuotteisiin. Menetelmä on rautafosfatoiä monimutkaisempi sekä taloudellisesti merkittävämpi kulu. Epäonnistunut sinkkifosfatoi ei tuota toivottua kiinnittyvyyttä maalille. Fosfatoinneissa pesukylpyyn muodostuu paljon sakkaa, joka poistetaan suodattamalla. (3, s.44–45.)



Kuva 3. 9-vaiheinen sinkkifosfatoiintiprosessi (3, s.45).

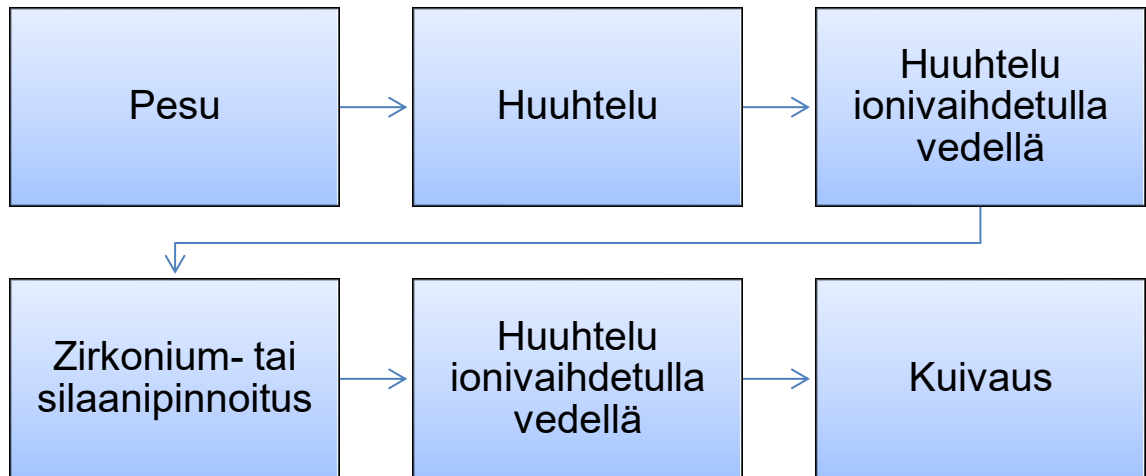
Fosfatoiinnin vaihtoehtoina ovat zirkonium- ja silaanipinnoitteet (Oxsilan). Nämä ovat nykyaikaisia konversiokäsittelymenetelmiä. Menetelmät tunnetaan myös nimellä nanopinnoite, koska pinnoitteen paksuus on n. 50–100 nm. Käsiteltävän pinnan tulee olla erittäin puhdas ennen kyseisiä pinnoituksia. (3, s.45–49.)

Zirkoniumpinnoitetta käytetään teräksen, alumiinin ja sinkkipinnan pinnoittamiseen. Pinnoitus voidaan toteuttaa samalla linjalla eri metalleille. Prosessi voidaan suorittaa yksivaiheisena, jossa kylpy samalla pesee ja pinnoittaa metallin. Yksivaiheinen prosessi vastaa ominaisuuksiltaan rautafosfatoiintia. Paremman lopputuloksen ja lähes sinkkifosfatoiintia vastaavan korroosionestokyvyn saavuttamiseksi tarvitaan kuitenkin monivaiheisempi prosessi, jossa kappale pestään huolellisesti ennen pinnoitusta. Pinnoituksen korroosionestokyky perustuu sen tiivyyteen. (3, s. 45–47.)

Silaanipinnoite (Oxsilan) soveltuu teräksen, alumiinin ja sinkkipinnan lisäksi hyvin myös antamaan ruostumattomalle teräkselle hyvän tartuntapinnan. Pinnoite koostuu sarjasta silaaneja, jotka muodostavat metallin pinnalle molekyyliverkoston. Verkosto estää hapen ja veden pääsyn metallin pintaan ja antaa tuotteelle

erinomaisen korroosiosuojan ja tartuntapinnan. Oxsilan-prosesseissa tehostetaan korroosiosuojaa titaanilla, zirkoniumilla tai mahdollisesti molemmilla. Silaanikylyt valmistetaan yhdestä tai kahdesta kemikaalista sekä pH:n säätöaineesta. (3, s.47–49.)

Nanopinnoitteiden (zirkonium ja silaani) kylpyvedet toimivat huoneenlämpöisinä (15–45 °C), mikä vähentää lämmitys- ja vesikustannuksia. Pinnoitteiden levitys tapahtuu joko kasto- tai suihkutuksen menetelmillä. Zirkonium käsittely kestää 30–180 sekuntia. Silaanikäsittelyn kesto on 2–240 sekuntia. Kylpyjen pH on zirkoniumpinnoitteelle 3,8–4,8 ja silaanipinnoitteelle 3,8–6,5 (Oxsilan) tai 8–10 (Garbond AP). Kylpyjen pH:ta ja pinnoitekemikaalin määrää analysoidaan ja säädellään tarvittaessa. Nanopinnoituksessa käytettävät kylvyt eivät sisällä kromia, nikkeliä eivätkä raskasmetalleja. Tämän vuoksi huuhteluvesiin ei tule epäpuhtauksia, jotka vaatisivat monimutkaisen jäteveden puhdistuksen. Epäpuhtaudet laskeutetaan huuhteluvedestä ja vesi neutraloidaan. Tämän jälkeen vesi voidaan laskea viemäriin, jos se täyttää muuten kunnalliset jätevesimääräykset. Vesi on myös mahdollista palauttaa prosessiin, jos se puhdistetaan ionivaihtimella tai käänteisosmoosilaitteella. Nanopinnoitusprosesseissa erittäin hyvälaatuisen lopputuloksen takaamiseksi käytetyn veden tulee olla todella puhdasta tai ionivaihdettua. (3, s.45–49.)



Kuva 4. 6-vaiheinen zirkonium- tai silaanipinnoitusprosessi (3, s.45–49).

Passivointi

Passivoineilla hidastetaan ja mahdollisesti estetään metallipinnan tai konversiokäsittelyn hapettumista. Suojaamalla hapettumista estetään metallipinnan korroosiota sekä maalin irtoamista pinnasta. Passivoinnissa muodostetaan hyvin ohut konversiopinnoite joko suoraan metallin pinnalle tai jo konversiokäsittelylle pinnalle. Rautafosfointi ja sinkkifosfointi tarvitsevat jälkipassivoinnin fosfatoinnin jälkeen. (3, s. 50.)

Pelkkä passivointi pesun jälkeen soveltuu alumiinille, alumiiniseosvaluille ja sinkkilylle teräkselle. Valurauta ja teräs pestään, minkä jälkeen suoritetaan jokin konversiokäsittely ennen passivointia. Passivoinnit jaetaan kromittomiin ja kromipitoisiin käsittelyihin. Kromittomat passivoinnit ovat ympäristöystävällisempiä kuin kromipitoiset. Kromipitoiset huuhteluvedet pitää puhdistaa tai toimittaa ongelmajätelaitokseen. Kromittomat huuhteluvedet voidaan johtaa viemäriin, jos se muutoin vastaa kunnallisiin jätevesimääräyksiin. Menetelmä voidaan suorittaa joko upotus- tai suihkutuskäytännöllä. (3, s. 50.)

2.1.2 Mekaaninen esikäsitteily

Mekaanisella esikäsitteilyllä poistetaan epäpuhtauksia, jotka eivät lähde pesemällä tai muilla kemiallisilla esikäsitteilyillä. Mekaanisella esikäsitteilyllä yleisimpiä poistettavia epäpuhtauksia ovat ruoste, valssihilse tai vanha maalikerros. Puhdistusmenetelminä käytetään suihkupuhdistusta, hiontaa ja teräsharjausta. Mekaaninen puhdistus voidaan suorittaa käsin tai automatisoidusti. (3, s.59.)

Mekaanisen esikäsitteilyn valinta pohjautuu puhdistettavan kappaleen materiaaliin, materiaalin paksuuteen, vaadittuun puhtauden tasoon sekä haluttuun pintaprofiliin (3, s.60).

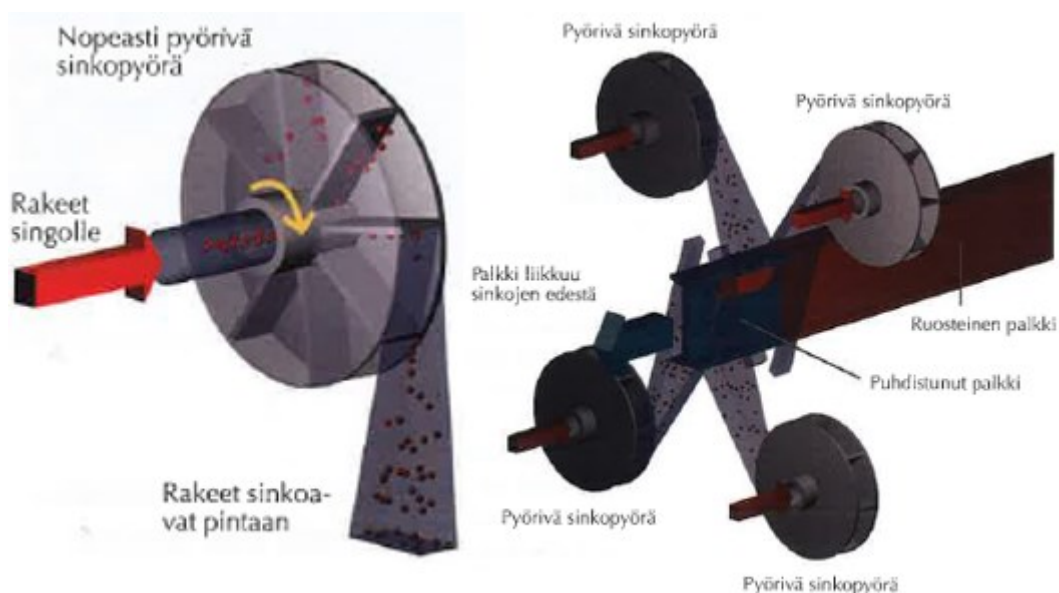
Standardissa SFS-ISO 8501-1 määritellään teräspinnan ruostumisasteet, jotka merkitään tunnuksilla A (laajalti hyvin kiinni oleva valssihilsekerros, jossa ruostetta vähän tai ei lainkaan), B (alkavaa ruostetta, valssihilse alkanut irtomaan), C (valssihilse ruostunut pois tai kaavittavissa sekä paljain silmin havaittavissa vähäistä kuoppakorroosiota) ja D (havaittavissa paljain silmin yleistä kuoppakorroosiota). Lisäksi standardissa käsitellään suihkupuhdistuksen (Sa), käsityökaluilla tai koneellisesti saavutetun puhdistuksen (St) ja liekki puhdistuksen (FI) puhdistusasteet.

PUHDISTUS				1	2	3	4	5	6
Maalattavat alueet	1	Rasvan, öljyn, pölyn, suojojen ja roskien poisto							
Hitsausliitokset ja ilman konepajapohjaa olevat alueet	2	Kevyt teräsharjaus	St 2						
	3	Teräsharjaus	St 2						
	4	Teräsharjaus (vain työselosteessa mainituissa erityiskohteissa)	St 3						
	5	Kevyt suihkupuhdistus	Sa 1						
	6	Huolellinen suihkupuhdistus	Sa 2						
	7	Hyvin huolellinen suihkupuhdistus	Sa 2½						
Konepajapohjapintojen suihkupuhdistus	8	Kevyesti							
	9	Huolellisesti							
	10	Hyvin huolellisesti							
Vain työselosteessa mainituissa erityiskohteissa	11	Suihkupuhdistus metallinpuhtaaksi	Sa 3						

Kuva 5. Puhdistukselle määritellyt laatuasteet ja niiden edellyttämät toimenpiteet standardin SFS 8145 mukaan (5, s.24).

Suihkupuhdistuksessa (Sa) käytettävät rakeet vaikuttavat menetelmällä saavutettavaan lopputulokseen. Suihkupuhdistusrakeiden valintaan vaikuttaa suihkuttava materiaali sekä haluttu pintaprofiili. Kovemmilla teräsrakeilla voidaan hyvinkin karkeasti poistaa ruostetta teräksestä. Näillä rakeilla saadaan aikaan karkeapintaprofiili. Lasi- ja muovirakeilla voidaan puhdistaa kaikkia puhdistettavia kappaleita, mutta puhdistus ei ole kovinkaan tehokasta. (3, s.77.)

Suihkupuhdistuksen automaattiratkaisuna toimii sinkopuhdistus, jonka toimintoperiaatteena toimii nopeasti pyörivä sinkopyörä (kuva 6), joka sinkoaa puhallusrakeet käsiteltävään kappaleeseen. Sinkopuhdistus tehdään suljetussa tilassa usealla singolla. Järjestelmässä käytetään aina rakeenpalautusjärjestelmää. (3, s.91.)



Kuva 6. Suihkupuhdistussingon toimintaperiaate (3, s.91).

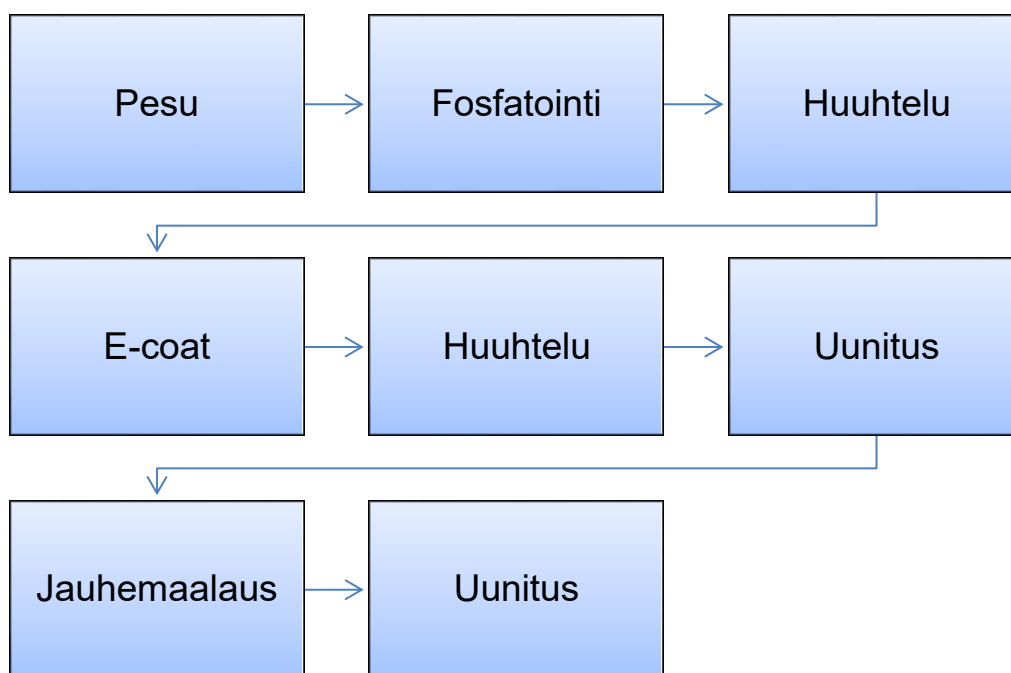
Koneellisissa puhdistuksissa (St) työ tehdään yleensä käsin hiomalla tai teräsharjaamalla. Koneellisella puhdistuksella poistetaan ruostetta sekä saavutetaan maalille hyvä tartuntapinta. Koneellisella puhdistuksella poistetaan myös vanhoja maalikerroksia. (3, s.92–98.)

2.2 Elektroforeesimenetelmä (E-coat)

Elektroforeesimenetelmä on kehittyvä pinnankäsittelymenetelmä, joka on tunnettu jo 50 vuoden ajan. Menetelmää voidaan myös kutsua sähkökastomaa-laukseksi (5, s.37). Menetelmä itsessään on jo pinnankäsittelymenetelmä, joka sisältää osanaan kemiallisen esikäsitteilyn tuotteelle, mutta usein myös tuote pintakäsitellään jauhemaalaamalla menetelmän jälkeen. Tämän vuoksi elektroforeesimenetelmää voidaan pitää erittäin laadukkaana esikäsitteilymenetelmänä. (6.)

Menetelmä perustuu sähkökemialliseen pinnankäsittelymenetelmään, jossa pinnoite johdetaan sähkövirran avulla käsiteltävän kappaleen pinnalle. Sähköisesti varattu kappale toimii sähköparissa katodina, jonka seurauksena pinnoite tarttuu tuotteen pinnalle. Kappaletta pidetään upotettuna, kunnes pinnalle on saavutettu riittävä kalvonpaksuus. Optimaalinen kylpyaika on n. kolme minuuttia. Kylpyajan pidentäminen ei kasvata kalvopaksuutta, koska pinnoite alkaa toimia eristeenä. Menetelmässä käytetyt kemikaalit (maalit) ovat vesiohenteisia, joten haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ei pääse syntymään. Myös kemikaalien käyttötehokkuus on erityisen korkea, joten kemiallisia jätteitä syntyy vähäisin määrin. Käytetyt kemikaalit suodatetaan huolellisesti ja siten ne voidaan palauttaa käyttöön. Lisäksi ne eivät myöskään ole syttyviä ja näin ne eivät aiheuta tulipaloriskiä. (6.)

Elektroforeesikylpy koostuu 80 % vedestä ja 20% maalista. Kylvyn jälkeen kappale huuhdellaan huolellisesti ja maali poltetaan uunissa jauhemaalauksen tavoin. E-coat pinnoitteen kuivaamiseen ja kovettamiseen tarvitaan vähintään 20 minuuttia 190 °C:n uunissa. (7.)



Kuva 7. Esimerkki elektroforeesimenetelmän kokonaisprosessista (7).

Etuina elektroforeesimenetelmällä on tuotteiden kriittisten kohtien, kuten ahtaiden rakojen ja koteloiden mahdollinen pinnoittaminen ja suojaaminen korroosiolta. Terävät reunat pystytään myös pinnoittamaan paksummin, verrattuna märkämäalausmenetelmiin. Lisäksi esikäsitteilyn jälkeen käsiteltävää kappaletta ei tarvitse kuivata ennen elektroforeesipinnoitusta (8). Menetelmänmukaisen pintakäsittelylaitoksen perustaminen on kustannuksiltaan merkittävä, sekä Suomessa palvelun saatavuus on vielä nykypäivänä heikohkoa. Kuitenkin useilla tavoilla ajoneuvo- ja maatalouskoneteollisuudessa on pintakäsittelyvaatimuksena elektroforeesimenetelmä, jonka vaikutuksesta menetelmä on kasvavassa asemassa pinnankäsittelyssä. (6.)

2.3 Ruiskumaalaus

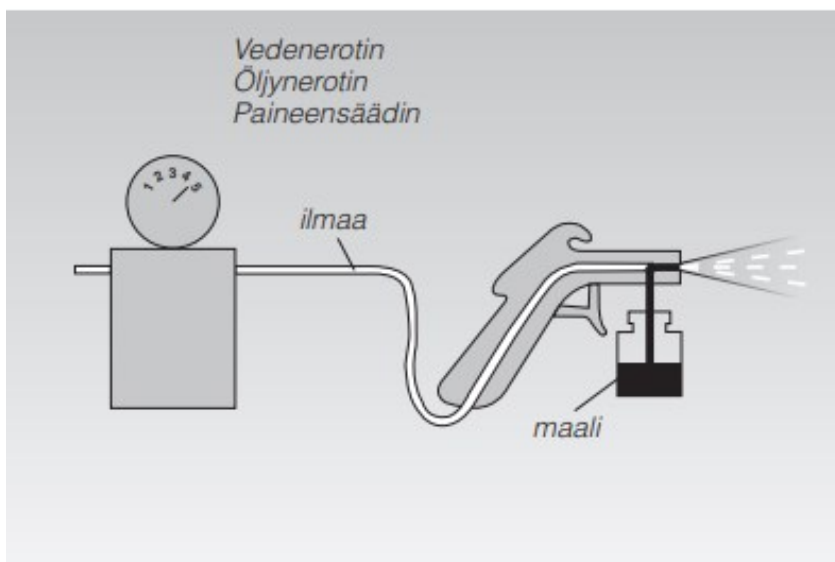
Ruiskumaalauksessa käytetään nestemäistä maalia, jonka vuoksi ruiskumaalausta voidaan kutsua myös nimellä märkämäalaus. Maalit koostuvat sideaineista, pigmenteistä, liuotteista ja apuaineista. Maalin kuivumiseen ja maalikalvon kovettumiseen vaikuttavat maalin kemikaalit ja ohenteet sekä niissä tapahtuvat reaktiot. Maalit voivat olla liuotin- tai vesiohenteisia. Nestemäisen maalin

viskositeettia säädellään ohentamalla sekä maalin lämpötilalla. Maalit, jotka sisältävät liuottimia, vapauttavat prosessissa haihtuvia orgaanisia päästöjä (VOC). Vesiohenteisilla maaleilla voidaan saavuttaa parempi työ- ja ympäristöturvallisuus. (5, s.25–26; 3, s.100–115.)

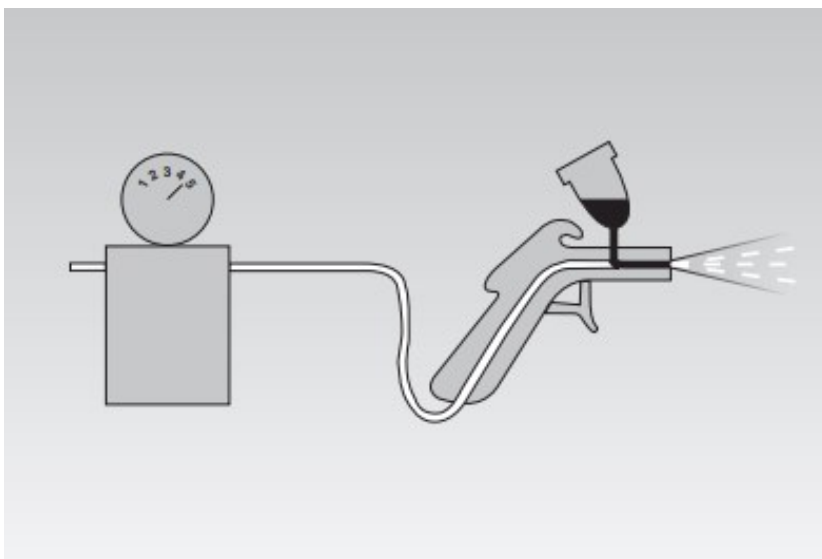
Maalausolosuhteet vaikuttavat maalaukseen ja sen lopputulokseen. Ilmankosteutta ja lämpötilaa tulee seurata maalatessa, jotta voidaan saavuttaa haluttu lopputulos. Maalit voidaan jaotella fysikaalisesti ja kemiallisesti kuivuviin maaleihin. Fysikaaliset maalit kuivuvat ja muodostavat maalikalvon, kun liuotteet haihtuvat ja sideaineiden molekyylit pääsevät riittävän lähelle toisiaan. Näiden kuivumista voidaan nopeuttaa käyttämällä kaasu- tai sähköunia taikka IR (infra-puna) tai UV (ultravioletti) –säteilijää. Kemiallisesti kuivuvat maalit voidaan jakaa polttomaaleihin, hapettumalla kuivuviin, ilmankosteudella kovettuviin, sekä kaksikomponenttisiin maaleihin. Kaksikomponenttisissä maaleissa komponenttien välillä tapahtuu kemiallinen reaktio, joka saa maalin kuivumaan ja kovettumaan. (4, s.34.)

2.3.1 Sivuilmaruiskutus (hajotusilmaruiskutus, kannuruiskutus)

Sivuilmaruiskut koostuvat kahdesta ryhmästä, jotka ovat imu- ja painesyöttöiset sivuilmaruiskut. Imusyöttöinen ruisku tunnetaan myös nimellä kannuruisku, koska maaliastia on asennettu kiinteästi ruiskun ala- (kuva 8) tai yläpuolelle (kuva 9). Imusyöttöisessä laitteessa maali annostellaan pieninä erinä suoraan ruiskun maalikannuun. Suihkutusmenetelmän toiminta perustuu ruiskun suuttimen muotoiluun, jonka vaikutuksella ruiskuun syötetty paineilma muodostaa alipaineen ruiskun etuosaan. Alipaine imee maalia maalikannusta ruiskulle riippuen syötetystä ilman määrästä, tuotteen viskositeetista, sekä ainesuuttimen koosta. (4, s.20.)

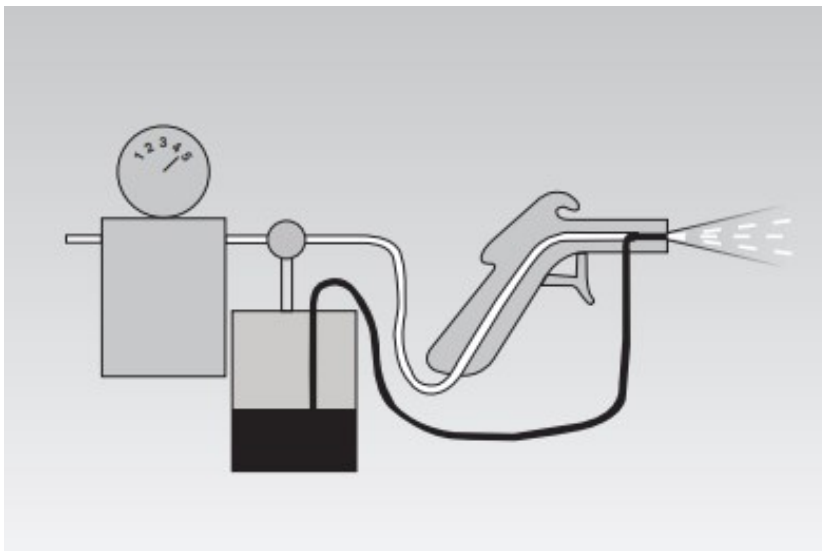


Kuva 8. Imusyöttöinen sivuilmaruisku, jossa maalikannu on ruiskun alapuolella (4, s.20).



Kuva 9. Imusyöttöinen sivuilmaruisku, jossa maalikannu on ruiskun yläpuolella (4, s.20).

Painesyötteeseen perustuvaan laitteessa maali syötetään ruiskuun pumpulla tai paineastialla (kuva 10). Tämän avulla maalin ja hajotusilman suhdetta pystytään säätämään riippumatta toisistaan. Suurpaineruiskutuksesta menetelmä eroaa siten, että painesyöttöisessä sivuilmaruiskutuksessa maalin hajotus tapahtuu ai-noastaan paineilmalla. (4, s.20.)



Kuva 10. Painesyöttöinen sivuilmaruisku, joka on varustettu paineastialla (4, s.20).

Sivuilmaruiskutuksen hyviä ominaisuuksia ovat

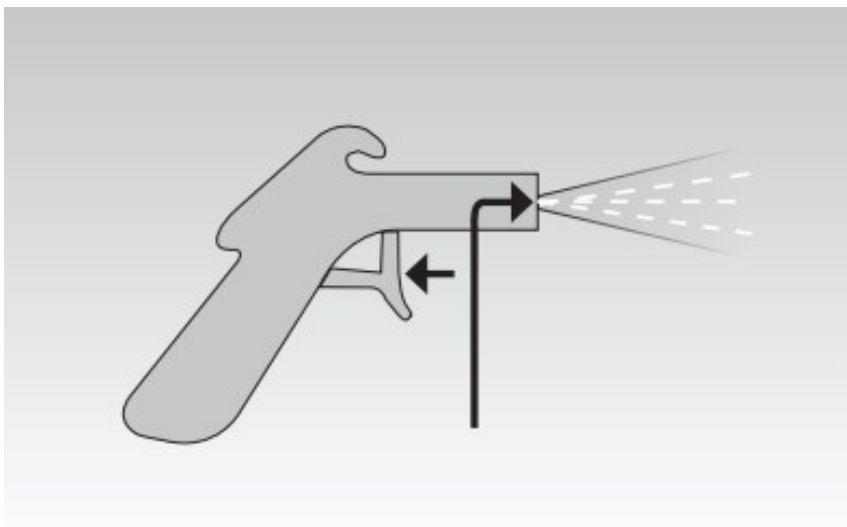
- hyvä maalausjälki
- pieni hankintakustannus
- nopea sävyn vaihto
- yksinkertaisuus. (5, s.32.)

Suureen tuotantoon sivuilmaruiskutus ei ole optimaalinen pinnankäsittelymenetelmä, koska menetelmän kapasiteetti on pieni ja siirtohyötysuhde ei ole edullinen. Sivuilmaruiskutuksessa maalikalvoa pitää ohentaa runsaasti eikä kerta-maalauksella saavuteta tarvittavaa kalvonpaksuutta. Lisäksi menetelmä vaatii aina paineilmaa, eikä nurkkiin saada maalia hajotusilman aiheuttaman ilmapatjan vuoksi. (4, s.116.)

2.3.2 Suurpaineruiskutus

Suurpaineruiskutus on yleisin menetelmä teollisessa pinnankäsittelyssä. Suurpaineruiskutuksessa maali syötetään suurella paineella maalipistooliin (kuva 11) paineletkua pitkin. Suurella paineella kulkeva maali ohjataan kovametallisen ja

pieniläpimittaisen suuttimen läpi, jonka vuoksi ilmanvastus hajottaa maalin ja paine-ero muuttaa maalin sumuksi. (4, s.21.)

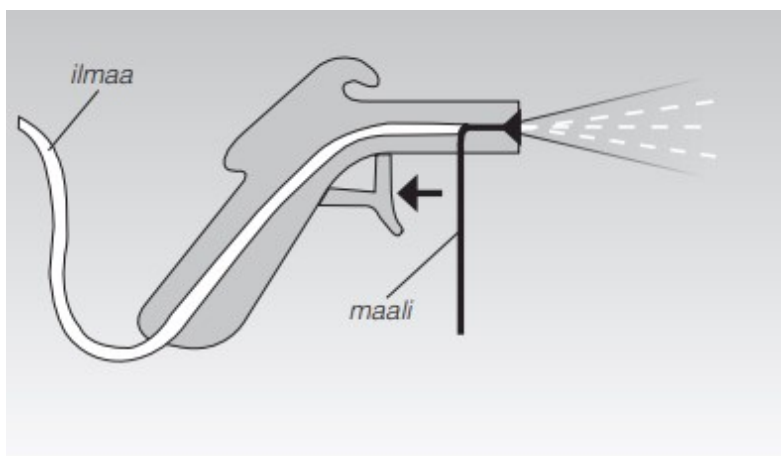


Kuva 11. Suurpaineruiskutuspuistooli (4, s.21).

Maaliin voidaan luoda paine mäntä- tai kalvopumpulla. Mäntäpumpun käyttövoimana toimii paineilma, polttomoottori, hydraulikäyttöinen mäntäpumppu tai sähkö. Vaikka mäntäpumppu voi toimia paineilmalla, itse maalin sumuttamiseen ei käytetä paineilmaa, toisin kuin sivuilmaruiskutuksessa. Maalin hajotukseen ei siis käytetä paineilmaa, joten menetelmää voidaan kutsua myös ilmattomaksi maalausmenetelmäksi. Suurpaineruiskutuksessa maalin hajottamiseen voidaan kuitenkin avusteena käyttää paineilmaa (kuva 12). (4, s.21.)

Ilma-avusteinen suurpaineruiskutus

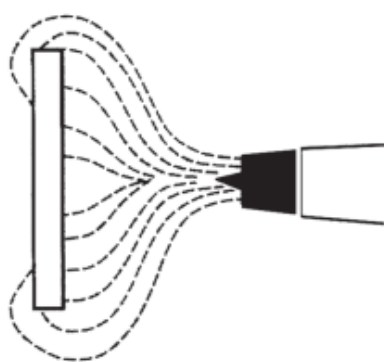
Ilma-avusteinen suurpaineruiskutus hyödyntää paineilmaa säätämään suurpaineruiskutusviuhkaa (kuva 12). Tämä ruiskutustekniikka soveltuu hyvin metallipigmenttimaaleille, vesiohenteisille tuotteille ja liuotetuotteille, joilla on korkea kiinteäainepitoisuus. Tämä maalausmenetelmä on otettu hyvin käyttöön teollisessa maalauksessa ja sähköstatiikkasoveltuvuuden takia se on syrjäyttänyt suurilta osin perinteisen suurpaineruiskutuspuistoolin. (4, s.24.)



Kuva 12. Sivuilma-avusteinen suurpaineruiskutuspuistooli (4, s.24).

Sähköstaattinen ruiskutus

Sähköstaattisessa ruiskutusmenetelmässä ruiskutettava materiaali eli yleisesti maali varataan sähköisesti suurpaineruiskutuspuistoolin kääkosassa. Maalattava tuote maadoitetaan eli muodostetaan vastakkainen napa sähköstaattiselle maalille. Sähköisen kentän avulla maalihiukkaset siirtyvät tuotteen eri pinnoille eli myös taustalle (kuva 13). Tämän vuoksi ohiruiskutus on selkeästi vähäisempää muihin maalausmenetelmiin verrattuna. Vähentynyt ohiruiskutus säästää maalia ja sen vaikutuksella myös ympäristöä. (4, s.24.)

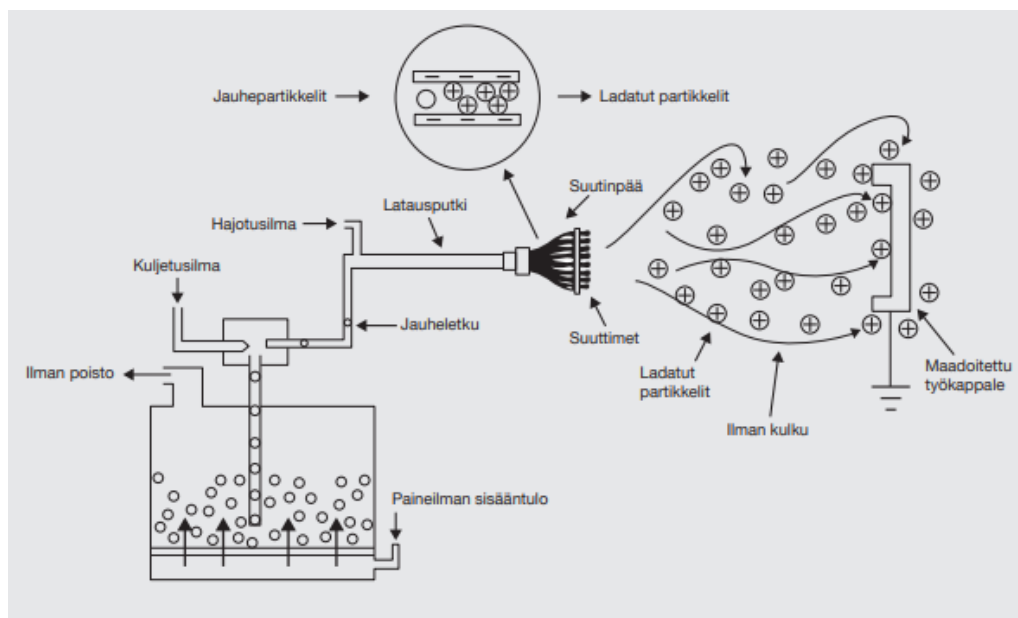


Kuva 13. Sähköstaattisella ruiskutuksella maali saadaan levitettyä myös taustalle (4, s.24).

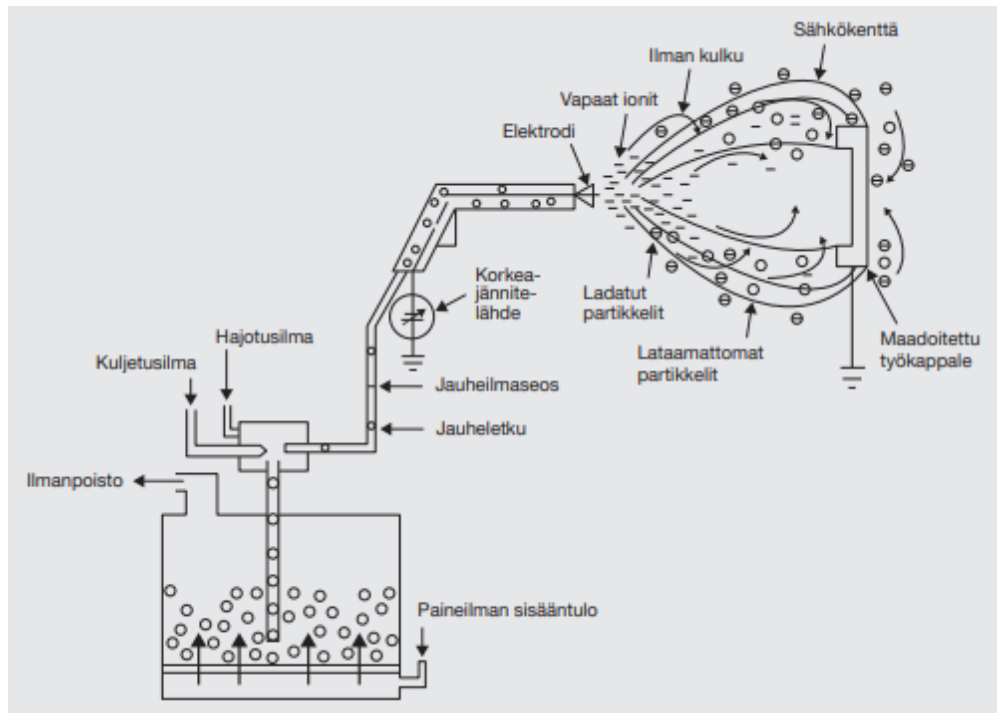
2.4 Jauhemaalauk (polttoaalauk, pulverimaalauk)

Suomessa sähköstaattinen jauhemaalauk on aloitettu jo 1970-luvulla. Vuosien saatossa jauhemaalaukaminen on eniten kehityksen kohteena ollut maalaukstekniikka, joka on nostanut suosiotaan vuosien varrella merkittävästi. Nykyaikainen jauhemaalaukaminen on turvallista, koska nykyisistä maaleista on poistettu kaikki myrkylliset yhdisteet, joten jauhemaalaukamisesta ei synny haihtuvista orgaanisista yhdisteistä aiheutuvia päästöjä (VOC). Uudet maalaukmoat varustetaan ATEX (atmosphères explosibles) -direktiivin mukaisin turvalaittein. (3, s.175.)

Jauhemaalaukaminen eroaa märkämaalaukamisesta suurimmaksi osaksi levitystavasta ja maaliruiskusta. Jauhemaalaukista muodostetaan ruiskulla maalattavan tuotteen ympärille jauhepilvi, joka siirtyy tuotteen pintaan sähkövarauksen johdosta. Sähkövarauk tuotetaan jauhemaalaukiin kitkaan perustuvilla jauhemaalauklaitteilla (kuva 14) tai nykyaikaisilla sähköstaattisilla jauhemaalauklaitteilla (kuva 15). Kitkalaitteiden osuus jauhemaalauklaitteista on vähentynyt huomattavasti pienitehoisuuden ja suuritöisemmän puhdistusten seurauksena. (3, s.176–177.)



Kuva 14. Kitkaan perustuva jauhemaalaukruisku (Tribopistooli) (5, s.36).



Kuva 15. Sähköstaattinen jauhemaaliruisku (Koronapistooli) (5, s.36).

Sähkövarattu maali tarvitsee vastaparikseen maadoitetun pinnan. Kun maalattava kappale on maadoitettu, sähkövarattu maali tarttuu kappaleen pintaan. Jauhemaalauksen automatisointi on maalinlevitystavan ja jauheen talteenoton vuoksi helpompaa ja kustannuksiltaan kannattavampaa kuin märkemaalauksessa. Menetelmällä voidaan maalata monimuotoisiakin kappaleita sähköstaattisen menetelmän vuoksi sekä ohiruiskutuksen vähäisen haitan takia. (3, s.176.)

Maalin levittämisen jälkeen jauhemaali poltetaan uunissa kiinni kappaleen pintaan. Uunissa jauhemaali saavuttaa sulamispisteensä ja muuttuu jauheesta nestemäiseksi. Sula maali muodostaa tasaisen kalvon tuotteen pinnalle, jonka jäähtyessä maalikalvo kovettuu lopullisesti ja tuote on mahdollista ottaa heti käyttöön. Jauhemaalain ominaisuuksista riippuen jauhemaali tarvitsee 5–25 minuuttia 160–200 °C:n uunissa. Uunina voidaan käyttää märkemaalien tavoin kaasu- tai sähköuuni tai IR (infrapuna) tai UV (ultravioletti) –säteilijää. (3, s.207–212.)

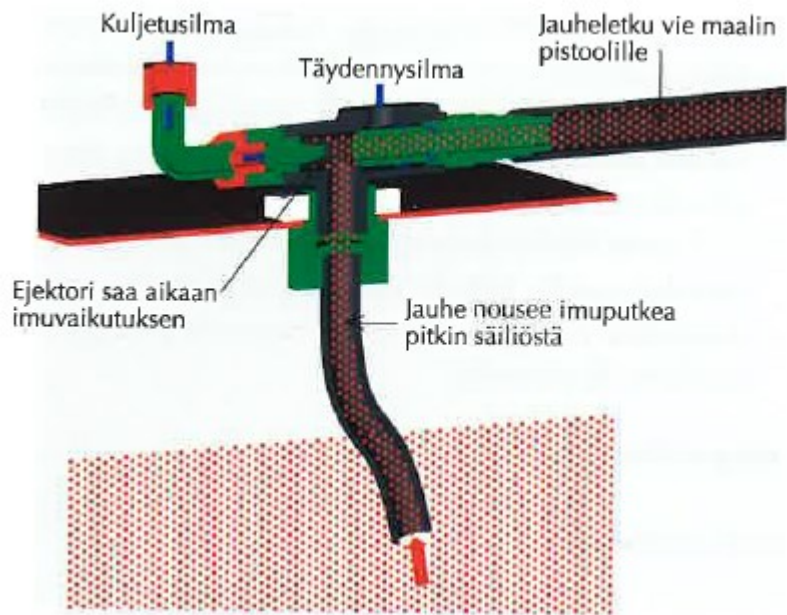
Jauhemaali

Jauhemaali koostuu kovetteesta, pigmenteistä, sideaineesta, täyteaineesta ja lisäaineista. Kun maalia kuumennetaan, sideaine ja kovete reagoivat keskenään, mikä mahdollistaa maalin verkottumisen sekä jäähtyessään kovettumisen kappaleen pinnalle. Pigmentteihin soveltuvat jauhemaaleissa osittain samat pigmentit kuin märkëmaaleissa, kuitenkin vaatimuksena on uunin kuumuuden kesto (160–200 °C). Sideaineena toimii yleisesti epoksi, polyesteri tai epoksi-polyesteri. Epoksijauhemaalit soveltuvat sisällä käytettäviin tuotteisiin, koska epoksijauhemaalilla tuotettu maalikalvo liituuntuu auringon vaikutuksesta. Ulko-käyttöön soveltuvat polyesteri- tai epoksipolyesterijauhemaalit. (3, s.182–186.)

Jauhemaalauslaitteet

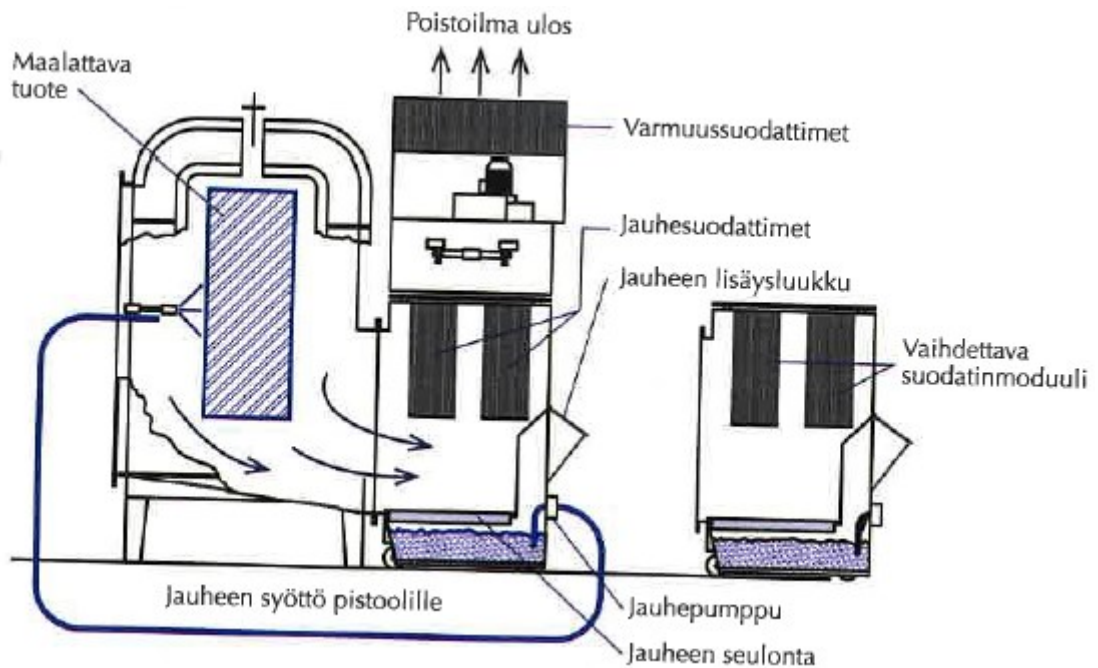
Jauhemaalauksessa käytettävät laitteistot ovat monimutkaisempia kuin märkëmaalauksessa käytettävät laitteistot. Jauhemaalauslaitteisto sisältää vähimmillään jauheen syöttö- ja ohjauslaitteiston, jauhemaalaukskaapin, jauhepistoolin (kitka tai suurjännite), uunin sekä vaunun tai kuljettimen. Ohiruiskutetun jauhe-maalin talteen ottamista varten tarvitaan myös jauheen talteenotto- ja seulonta-laitte. Jauhemaalauslaitteissa käytetty paineilma tulee olla kuivattua (kastepiste 4 °C), eikä paineilma saa sisältää epäpuhtauksia, kuten öljyä. (3, s.187.)

Jauhesäiliössä jauhemaali leijutetaan paineilman avulla. Jauhesäiliön pohja on ilmaa läpäisevä levy, johon syötettyä paineilmaa kutsutaan nimellä leijutusilma. Jauhepumppu aiheuttaa jauhesäiliöön alipaineen, jonka johdosta leijuva jauhe nousee ylöspäin. Leijutusilmaa säädellään, jotta jauhemaali tulisi pistoolista ta-saisesti. Jauhesäiliöstä leijuva jauhemaali siirretään jauhepumpun imuputkella (kuva 16) pistoolille. (3, s.187–189.)



Kuva 16. Jauhemaalauksessa käytettävä jauhepumppu (3, s.189).

Jauhemaalaa kierrätettäessä jauhemaalaukskaapista tarvitaan jauheen talteenotto-laitteet sekä suodattimet (kuva 17). Ohiruiskutettu jauhe kerätään ilmasta ja oh-jataan suodattimelle. Suodattimen saavuttama erotusteho on 99,9 %. Kierrätet-tyä jauhetta ei voida käyttää yksinään maalaamisessa, vaan jauhesäiliön sisäl-lön täytyy sisältää yli puolet uutta jauhemaalaa. Kierrätetyn ja uuden jauhemaal-in suhdetta säädetään lisäämällä lisäysluukusta (kuva 17) jauhesäiliöön uutta jauhemaalaa. Jauhemaalauksessa käytettyjen laitteiden huolto on yksinkertaista ja edullista. Huollossa paineilmalla poistetaan jauhemaalijäämät laitteista. (3, s.195–200.)



Kuva 17. Vaihdettavalla suodatinmoduulilla toimiva suodatinerotuskaappi (3, s.197).

Automatisointi

Jauhemaalauksen automatisointi on edullisimpia maalauksen automatisointeja. Jauhemaalain kierrätettävyyden vuoksi jauhetta voidaan ruiskuttaa runsaasti ja sähköstaattisuuden vuoksi maali levittyy laajasti. Automatisoidun ruiskutuksen jälkeen voidaan käsiruiskulla täydentää katvealueet ja varmistaa yhtenäinen maalikalvo. (3, s.220–225.)

Automaattisessa jauhemaalauksessa laitteina käytetään travesseja tai oskillaattoreita. Travessissa useat jauhemaalipistoolit liikkuvat pystysuuntaisesti ja ruiskuttavat jauhemaalaa kuljettimella kulkevaan kappaleeseen. Oskillaattorit (lyhytiskutravessit) ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaisia kuin travessit. Oskillaattoreilla iskunpituus on portaattomasti säädettävä, mutta vain 10–150 mm. Robottia voidaan myös käyttää automatisoidussa jauhemaalauksessa täydentämässä katvealueita. (3, s.220–225.)

2.5 Muita pintakäsittelymenetelmiä

Kastomaalaus

Kastomaalaus on yksinkertainen menetelmä pinnoittaa kappaleita. Nimensä mukaisesti kastomaalauksessa käsiteltävä kappale upotetaan maaliin, jolloin jokainen kappaleen pinta tulee maalatuksi. Kastomaalaus voidaan suorittaa käsin tai automatisoituna. Huonoina puolina kastomaalauksessa ovat epätasainen ja ohut maalikalvo. Lisäksi maali valuu hitaasti pois kappaleesta ja voi hyytyä epätasaisesti, sekä jättää valumia. Kappaleen muoto voi olla myös rajoittava tekijä kastomaalauksessa, kuten taskut joista maali ei pääse valumaan pois. Positiivisina puolina kastomaalauksena ovat nopea maalinlevitystapa ja hyvä peittävyys. Kastomaalauksella voidaan myös säästää maalia, koska niin sanottua ohiruiskutusta ei menetelmällä tuoteta. Lisäksi vesiohenteisilla maaleilla voidaan saavuttaa hyvät työ- ja ympäristöturvallisuudet. (5, s.28; 3, s.172–173.)

Kastomaalaus voidaan myös suorittaa sähköstaattisella jauhekastomaalauksella, jossa jauhemaalattava kappale upotetaan altaaseen. Altaassa jauhemaalisiin kohdistetaan tärinää taikka paineilmaa, jonka avulla kappale voidaan upottaa jauhemaalisiin. Jauhemaalalin kalvonpaksuutta voidaan säätää sähkövirran voimakkuutta säätämällä. (5, s.37).

Valelumaalaus

Valelumaalauksen lopputulos on verrattavissa kastomaalauksen lopputulokseen. Valelumaalauksessa maali valutetaan käsin tai automatisoidusti kappaleen pinnalle. Menetelmän heikkouksia on maalin valumat sekä mahdollisesti epätasainen maalipinta. Valelumaalaus soveltuu lähinnä ohutlevytuotteisiin. Monimuotoiset kappaleet eivät saavuta maalikalvoa kaikille pinnoille. Liuotinohenteisilla maaleilla valelupaikka on erotettava muusta työympäristöstä kammiolla, jotta haihtuvia orgaanisia päästöjä (VOC) ei pääse työympäristöön. Vesiohenteisilla maaleilla voidaan kuitenkin saavuttaa paremmat työ- ja ympäristöturvallisuudet. (4, s.28.)

Sively ja telaus

Sively on yleinen korroosionestomaalien levitystapa huolto ja korjausmaalauksen yhteydessä, joissa ei voida ruiskuttaa maalia. Sivelyllä myös täydennetään ruiskutuksen katvepaikkoja kuten kappaleiden kulmia. Sivelyssä käytetään luonnonharjaksista tai useista synteettisistä materiaaleista valmistettuja siveltimiä. Menetelmällä ei itsessään yleisesti maalata kokonaisia kappaleita, koska sillä ei saavuteta tavoiteltua pinnanlaatua ja siveleminen on hidasta ja käsikäyttöistä. (4, s.19.)

Telaus ei ole yleisesti käytettävissä korroosionestomaalauksessa, koska telan jälki on epätasainen ja tela voi myös vaahdottaa maalia. Korroosionestomaalit ovat harvoin myös optimoitu telattaviksi, jolloin telauksella ei saavuteta hyvää pinnanlaatua. Telausta voidaan käyttää kuitenkin maalin levittämiseen, jonka jälkeen maali sivellään tasoittajalla pinnalle. (4, s.19.)

3 Vaatimukset pintakäsittelylle

3.1 Maalattavat kappaleet

Maalattaviin kappaleisiin kuuluvat vastapainotrukin turvakatos, vastapaino ja runko sekä useiden koneiden mastokokonaisuudet. Kappaleet koostuvat eri materiaaleista ja omaavat eri ominaisuuksia.

Vastapainotrukin turvakatos

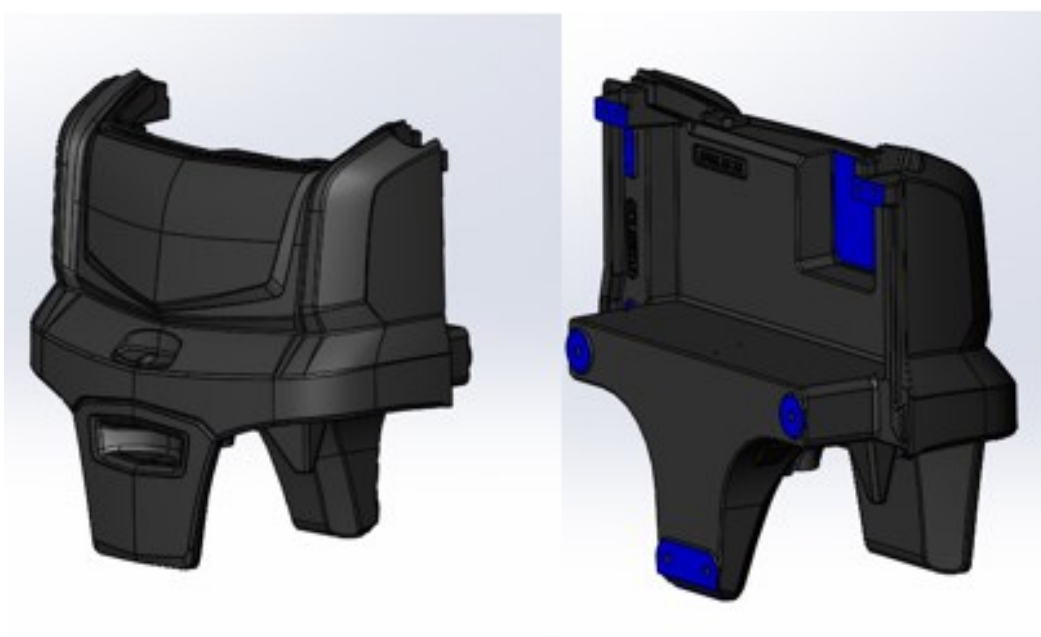
Vastapainotrukin turvakatoksen (kuva 18) rakenne on häkkimäinen. Kaikki turvakatokset maalataan mustiksi. Turvakatoksen suurin massa on n. 100 kg. Turvakatoksen mitat (pituus, leveys, korkeus) ovat suurimmillaan n.: 1850 mm, 1150 mm, 1700 mm.



Kuva 18. Vastapainotrukin turvakatos.

Vastapaino

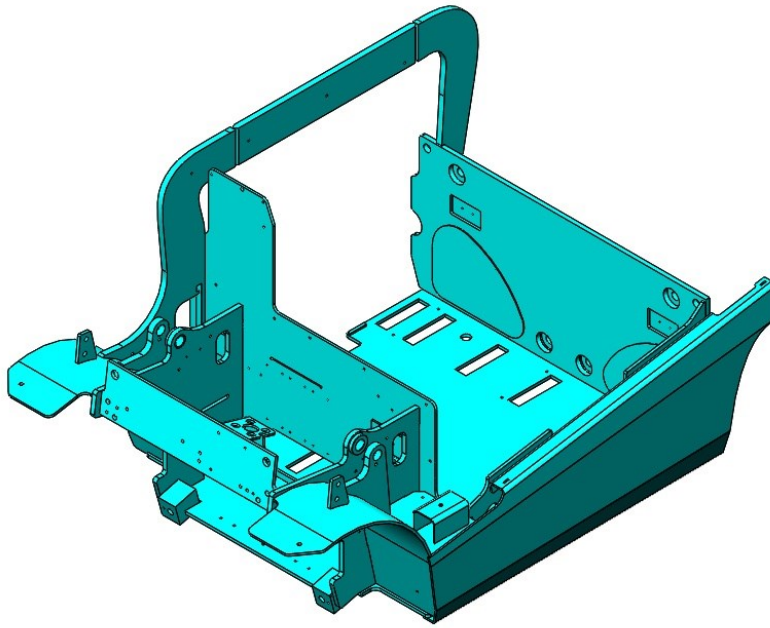
Vastapaino (kuva 19) on raskas (suurin 1100 kg) valurautainen kappale. Vastapainotrukin vastapaino maalataan eri tuotemerkkien mukaan. Lisäksi vastapaino voi olla kaksisävyinen, minkä vuoksi se maalataan ensin mustaksi. Mustaksi maalattu vastapaino maalataan vielä tuotemerkin mukaisesti myös toisella sävyllä. Vastapainot saapuvat pohjamaalattuina tai valmiiksi mustina. Vastapainojen mitat (pituus, leveys, korkeus) suurimmillaan on n.: 700 mm, 1200 mm, 900 mm.



Kuva 19. Vastapainotrukin vastapaino.

Vastapainotrukin runko

Vastapainon rungot (kuva 20) ovat eri tuotemerkkien mukaan sävytettyjä. Rungon rakenne koostuu laserleikatuista metalliosista. Rakenne sisältää kotelaita ja kulmia, jotka tulee ottaa huomioon pinnankäsittelymenetelmää valittaessa. Rungon suurin massa on n. 500 kg. Runkojen mitat (pituus, leveys, korkeus) ovat suurimmillaan n.: 2200 mm, 1200 mm, 850 mm.



Kuva 20. Vastapainotrukin runko.

Mastot

Järvenpään yksikössä valmistetaan mastokokonaisuuksia useisiin eri koneisiin. Yksi mastokokonaisuus voi koostua useasta mastonvaiheesta (kuva 21). Kaikki mastonvaiheet maalataan mustiksi. Nykyisellä pinnankäsittelymenetelmällä mastojen johdepinnat tarvitsevat suojauksen teipillä, joka aiheuttaa suuren työmäärän ja lisäkustannuksen. Maalipinnan hyvällä mekaanisella kestolla voidaan välttää asennuksessa aiheutuneita vahinkoja. Mastonvaiheen massa on suurimmillaan n. 700 kg. Mastonvaiheen mitat (pituus, leveys, korkeus) suurimmillaan ovat n.: 500 mm, 800 mm, 5400 mm.



Kuva 21. Mastonvaiheita.

3.2 Maalauksessa käytettävät sävyt ja kiillot

Maalauksessa käytetään pääsääntöisesti 14:n sävyn ja kiillon muodostamaa valikoimaa tuotemerkin mukaisesti. Mustan maalin osuus on kaikesta maalikuluksesta n. 85 %. Maalien kiillot vaihtelevat asteikolla standardin ISO 2813:2014 mukaan 60° kulmalla mitattuna 20 % ± 10 %...85 %. Pääsääntöisten sävyjen lisäksi maalataan myös yksittäisiä erikoissävyisiä kappaleita.

3.3 Laatuvaatimukset

Maalattaville kappaleille on määritelty ilmatilakorrosioluokka C3-M (kohtalainen) standardin SFS-EN ISO 12944-2:2017 mukaan. Ilmatilakorrosiovaikutusluokka C3 tarkoittaa kohtalaista korrosiovaikutusta. Ympäristöesimerkkinä kohtalaiselle korrosiovaikutuksena on ulkona kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa on kohtalainen rikkidioksidikuormitus tai rannikkoalueet, joissa on alhainen suolapitoisuus. Sisätiloissa vastaavana esimerkkinä toimii tuotantotila, joissa on

korkea kosteus sekä hieman epäpuhtauksia (elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit). Maalauksen kestävyydelle on määrätty luokat L (low), M (medium) ja H (high). Kohtalaisella kestävyydellä (M) maalauksen vaaditaan kestävän 5–15 vuotta.

Maalikalvo tulee muodostua yhdestä varsinaisesta maalikerroksesta sekä mahdollisesta pohjamaalista. Kuiva maalikalvo on määritelty standardin ISO 2808 mukaisesti 80–120 µm paksuiseksi. Maalipinnan tulee myös olla tasainen ja täyttää sille määrättyt visuaaliset laatuvaatimukset.

Käsiteltävän metallipinnan esikäsittelyn vaatimuksena on standardin EN ISO 12944-4 mukainen lian- ja rasvanpoisto sekä standardin EN ISO 12944-6 mukainen C3-M korroosioluokan käsittely. Kappaleista poistetaan myös ruosteet sekä muut epäpuhtaudet ja mahdollisesti suoritetaan suihkupuhdistus standardin ISO 8501-1 mukaisesti luokkaan Sa 2½ (hyvin huolellinen suihkupuhdistus).

Taulukko 1. Maalipinnan kemialliselle kestolle on määritelty standardin SFS-EN ISO 2815-1:2017 mukaisten mittausten raja-arvot.

Kemikaali	Vaikutusaika	Vaatus
Hydrauliöljy	48 tuntia	Ei muutosta pinnalla
Tislattu vesi	24 tuntia	Ei muutosta pinnalla
Jarruneste	10 minuuttia	Ei muutosta pinnalla
Akkuhappo	15 minuuttia	Ei muutosta pinnalla
Dieselöljy	60 minuuttia	Ei muutosta pinnalla
Polttoaine	30 minuuttia	Ei muutosta pinnalla

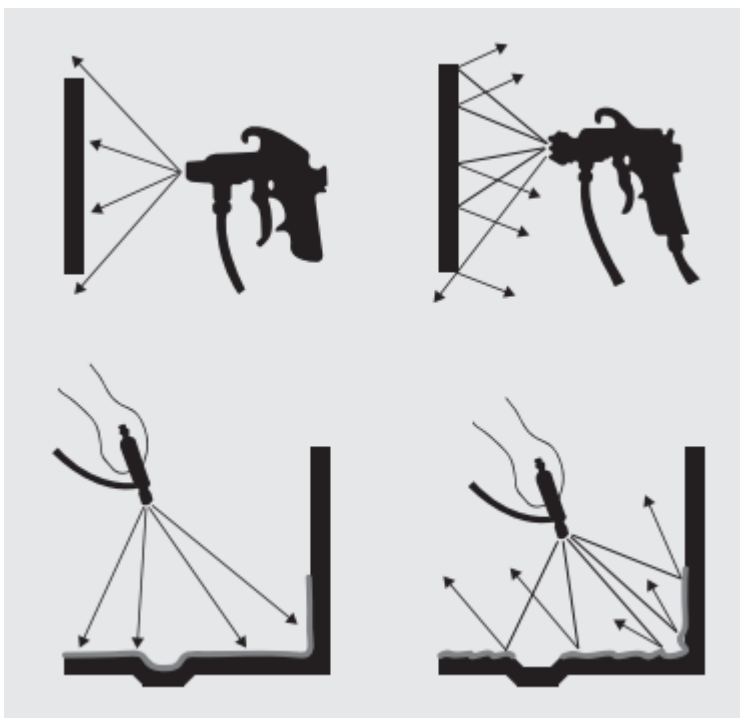
4 Pintakäsittelymenetelmien vertailu

Liitteessä 1 on pisteytetty pintakäsittelymenetelmät. Pisteytyksessä pintakäsittelymenetelmät saivat pisteitä asteikolla 0–10. Pisteiden painotuksessa toimi joko positiivinen tai negatiivinen kerroin, suhteutettuna käsitteen merkityksestä valittavan pintakäsittelymenetelmän soveltuvuuteen. Lopuksi jokaisen pintakäsittelymenetelmän pisteet laskettiin yhteen, joka antoi kokonaispisteet menetelmälle. Pisteiden arvottaminen pohjautui lähteiden 3, 4 ja 5 tietoihin. Pisteytyksessä pintakäsittelymenetelminä parhaiten menestyivät jauhemaalauksen, elektroforeesimenetelmä (E-coat) jauhemaalauksen kanssa ja statiikkaan perustuva ilma-avusteinen suurpaineruiskutus vesiohenteisilla maaleilla. Huonoiten pisteytyksessä menestyivät sively, telaus sekä valelu- ja kastomaalaus.

4.1 Poissuljettavat pintakäsittelymenetelmät

Osa pinnankäsittelymenetelmistä voidaan poissulkea suoraan käsiteltävien tuotteiden ominaisuuksien vuoksi. Pelkällä sivelyllä, telauksella tai valelulla ei voida saavuttaa maalattaville kappaleille asetettuja laatuvaatimuksia taikka täyttää vaadittuja tuotantomäärätavoitteita. (3; 4; 5.)

Hajotusilmaruiskutus (sivuilmaruiskutus) ei myöskään ominaisuuksiensa vuoksi sovellu valinnaksi, koska menetelmässä joudutaan ohentamaan maalia runsaasti (3, s. 116). Runsaan maalinohennuksen seurauksena yhdellä ruiskutuskerralla ei saavuteta vaatimusten mukaista maalikalvoa. Lisäksi hajotusilmaruiskutus ei suurissa tuotantomäärissä ole taloudellista, eikä ympäristön kannalta järkevää suuren ohiruiskutuksen vuoksi (kuva 22). (3; 4; 5.)



Kuva 22. Hajotusilmaruiskutuksessa (oikealla) syntyy runsaasti ohiruiskutusta, eikä nurkkiin synny hyvää maalikalvoa verrattuna suurpaineruiskutukseen (vasemmalla) (5, s.34).

Kastomaalaus ei yksinomaisena pinnankäsittelymenetelmänä sovellu täyttämään maalipinnan laatuvaatimuksia. Kuitenkin elektroforeesimenetelmän avulla kastomaalauksella voidaan suorittaa erinomainen pohjamaali maalattaville tuotteille. (3; 4; 5)

4.2 Esikäsittelymenetelmien vertailu

Esikäsittelymenetelmiä verratessa tulee ottaa huomioon laadulliset vaatimukset sekä ympäristölliset ja taloudelliset rajoitteet. Nanopinnoitteet ovat fosfaattipinnoitteita taloudellisesti kannattavampia esikäsittelymenetelmiä sekä ympäristöllisesti merkittävästi parempi valinta (taulukko 2). Nanopinnoittaminen ja fosfointi ovat prosesseina hyvin samankaltaiset. Merkittävänä energiaehtuna nanopinnoitteilla on mahdollisuus käyttää niitä huoneenlämpöisinä.

Taulukko 2. Fosfatointien ja nanopinnoitteiden vertailua (3, s.42–49).

Ominaisuus	Rautafosfatointi	Sinkkifosfatointi	Zirkoniumpinnoite	Silaanipinnoite
Lopputuloksen laatu	Kohtuullinen	Erittäin hyvä	Erittäin hyvä	Erittäin hyvä
Kustannukset	Kohtalaiset / Korkeat	Korkeat	Kohtalaiset	Kohtalaiset
Käyttökustannukset	Kohtalaiset / Korkeat	Korkeat	Kohtalaiset	Kohtalaiset
Pinnan puhtaus ennen käsittelyä	Oltava hyvä	Oltava hyvä	Oltava erittäin hyvä	Oltava erittäin hyvä
Vedenkulutus	Suuri	Suuri	Kohtalainen	Pieni, kierrätys mahdollinen
Prosessin hallinta	Kohtalainen / Vaikea	Vaikea	Kohtalainen	Helppo
Sakan muodostus	Suuri	Suuri	Hyvin pieni tai ei lainkaan	Hyvin pieni tai ei lainkaan
Veden laatuvaatimus	Oltava kohtalaista	Oltava hyvälaatuista	Oltava ionivaihdettua vettä	Oltava ionivaihdettua vettä
Jälkipassiivoinnin tarve	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
Prosessiaika	Kohtuullinen	Kohtuullinen	Lyhyempi	Lyhyempi
Jäteveden käsittely	Monimutkainen	Monimutkainen	Yksinkertainen	Yksinkertainen
Ympäristöystävällisyys	Huono	Huono	Hyvä	Hyvä

Mekaanisena esikäsittelynä parhaiten toimii automatisoitu suihkupuhdistus, jolla saadaan maalille hyvä tartuntapohja sekä poistettua pinnalta ruosteet ja valssihilseet. Teräsharjauksella tai hionnalla ei saavuteta riittävää pinnanpuhtautta taikka tuotantomääriä. Ennen suihkupuhdistusta on kuitenkin suoritettava jokin kemiallinen pesu, jolla poistetaan pinnalta rasvat sekä muut epäpuhtaudet, jotka

leviäisivät suihkupuhdistuksessa pintaan. Etenkin jauhemaalauksessa maalattavan pinnan tulee olla erittäin puhdas, jotta maali pysyy hyvin kiinni pinnassa sekä tarjoaa vaaditun korroosionsuojan. (3; 4; 5.)

4.3 Suurpaineruiskutuksen ominaisuuksia

Ilma-avusteisella suurpaineruiskutuksella voidaan ruiskumaalata sähköstatiikkaan perustuvalla märkämaalausmenetelmällä. Sähköstaattisella maalauksella voidaan huomattavasti vähentää ohiruiskutusta. Parantamalla maalin siirto-hyötysuhdetta voidaan huomattavasti parantaa taloudellisia kuluja sekä pienentää ympäristöön kohdistuvaa rasiitusta. Sähköstaattisten suurpaineruiskutusten laitteiden huolto vaatii huolellisuutta ja säännöllisiä tarkistuksia. Ilman ilma-avustusta suurpaineruiskutuksella ei saavuteta yhtä hyvää pinnanlaatua sekä hyvää maalin siirto-hyötysuhdetta. (3; 4; 5.)

4.4 Jauhemaalauksen ominaisuuksia

Jauhemaalipinta tarjoaa mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä pinnan hyvin onnistuneena. Jauhemaalaa kierrättäessä voidaan saavuttaa lähes täydellinen siirto-hyötysuhde, eikä jätettä pääse syntymään lähes lainkaan. Jauhemaalauslaitteiden huolto on helppoa ja edullista. Maalauslinjan automatisoinnissa jauhemaalauksella on kannattavin vaihtoehto, jos se muutoin soveltuu maalattaville tuotteille. (3; 4; 5.)

4.5 Talous, energia

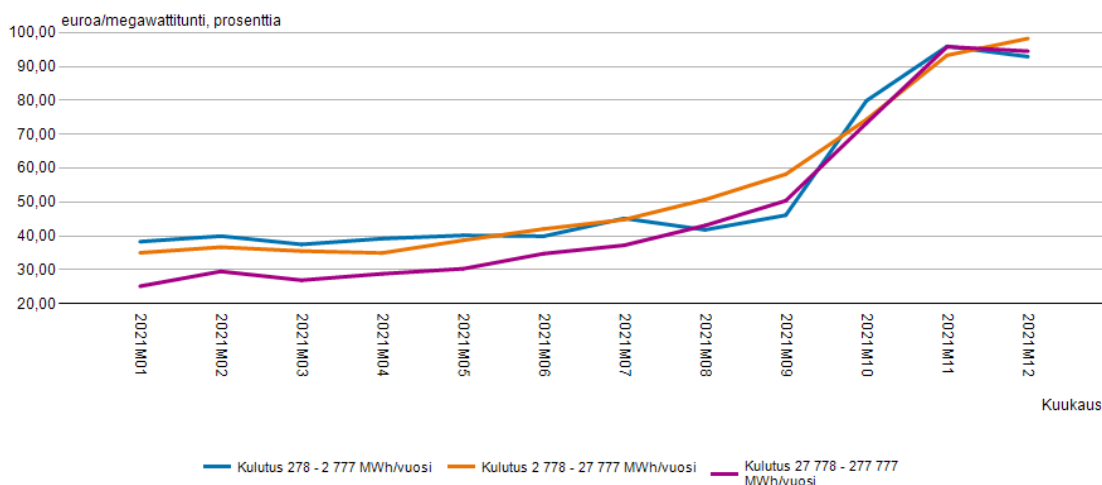
Maalin hyvä siirtohyötysuhde pystyy vähentämään taloudellisia kuluja maalauksessa. Vähäinen ohiruiskutus säästää maalia sekä jätettä. Kierrätettävyyden vuoksi jauhemaalilla voidaan poistaa ohiruiskutuksen haitat. Jauhemaalauksessa suurin taloudellinen käyttökulu on jauhemaalauksen uuni. (3; 4; 5.)

ATEX (Atmosphères explosibles) -laitedirektiivin mukaisten laitteiden hankinta aiheuttaa suuren hankintakustannuksen. Märkämaaleissa haihtuvat kemikaalit

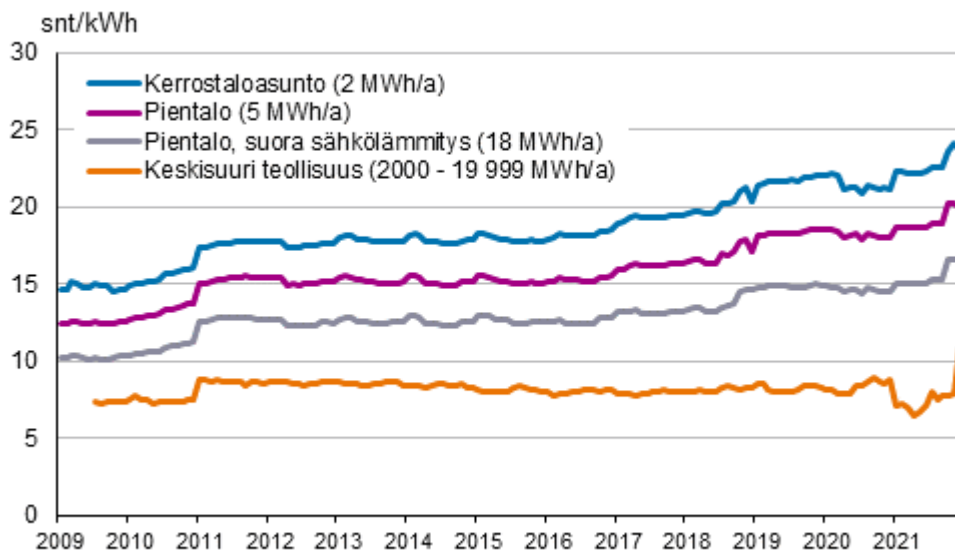
voivat tehdä maalaustilasta höyryräjähdysvaarallisen tilan. Jauhemaalaus suljetussa maalauskaapissa voi tehdä tilasta pölyräjähdysvaarallisen.

Hankintakustannuksiltaan jauhemaalaamo on merkittävästi isompi kuin suurpaineruiskutusmaalaamo. Käyttökustannuksiltaan jauhemaalaus on märkämaalausta edullisempaan, jos maalia käytetään suurissa määrin.

Energian hintakehitys on hyvä ottaa huomioon, etenkin kun valitaan energialähde maalinpolttuunille. Maakaasun (kuva 23) hintakehitys oli vuonna 2021 suurta. Lisäksi maailmalla tapahtuvat tekijät (esimerkiksi sodat ja kriisit) voivat vaikuttaa rajusti energian hintakehitykseen. Vuonna 2022 etenkin maakaasun hinta on jyrkässä nousussa. Sähkön hintakehitys (kuva 24) on ollut myös suurta vuonna 2022. Ilmastokriisi ja sitä vähentämään pyrkivät tavoitteet vaikuttavat myös hintakehitykseen. (9.)



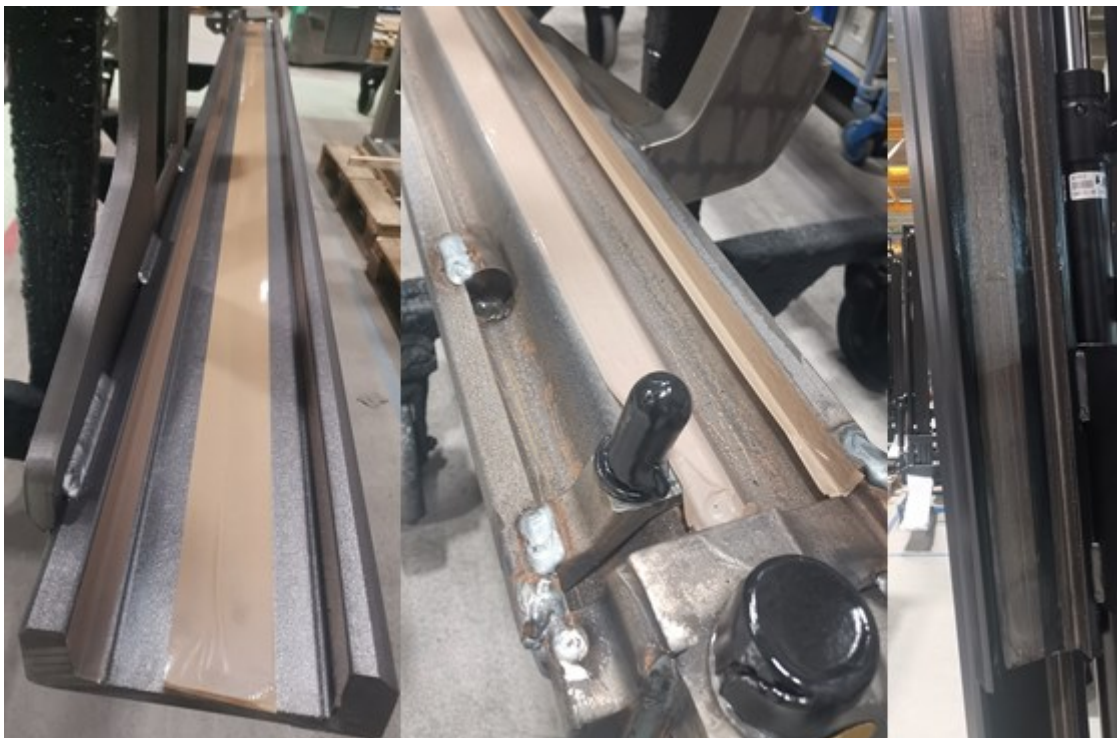
Kuva 23. Verottoman maakaasun hinta jakeluverkkosiakkaalle vuonna 2021 (9).



Kuva 24. Sähkön hintakehitys vuosina 2009–2022 (10).

Ruotsissa vuonna 2011 toimi n. 350 jauhemaalauslaitosta. Kaikkien jauhemaalauslaitosten yhteinen energiakulu oli 525 GWh/vuosi. Yhdelle laitokselle tämä merkitsee 1,5 GWh/vuosi. Polttouunin kulutus oli n. kolmanneksen energiankulutuksen kokonaisuudesta. Vuoden 2021 keskimääräisellä sähköhinnalla uunin käyttökulu olisi n. 37 000 € vuodessa (10). Maakaasun keskihinnalla vuonna 2021 vastaava kulu olisi n. 30 000 € vuodessa (9). Lähes polttouunin kulutusta vastaava energiamäärä kului esimerkkilaitoksissa esikäsitteilyyn ja sen kuivattamiseen. (11.)

Maston vaiheen johdepintojen teippaus (kuva 25) aiheuttaa merkittävän kulun pinnankäsittelyprosessissa. Mastokokonaisuudet muodostavat suurimman osan maalattavista kappaleista. Teippaamista ja sen poistoa varten joudutaan käyttämään suuria määriä työtunteja sekä työntekijöitä.



Kuva 25. Mastonvaiheiden teippaus.

Jauhemaalipinnalla voidaan vähentää asennuksessa mahdollisesti tapahtuvia pinnanvaurioita. Hyvin tarttunut jauhemaaliksi kestää parhaiten muodonmuutoksia kalvon sitkeyden vuoksi. Kuitenkin jauhemaalipintaa on vaikeampi korjausmaalata, kuin märkämaalattuja pintoja. (3.)

4.6 Turvallisuus, työsuojelu, ATEX (atmosphères explosibles)

Räjähdyksuonallisten tilojen ja suojausjärjestelmien turvallisuudesta on määritetty ATEX (atmosphères explosibles) -laitedirektiivi. Direktiivin tarkoitus on varmistaa, että markkinoilla ja käytössä olevat ATEX-tuotteet ovat turvallisia, eivätkä ne sytytä mahdollisesti räjähdyskelpoisia ilmaseoksia. Räjähdyksuonallisissa tiloissa ei saa käyttää muita laitteita kuin ATEX-direktiivin mukaisia laitteita. (12.)

Standardissa SFS 3358 käsitellään maalaamoiden tilaluokitusten määrittäminen. Jauhemaalauksessa maalaustila voidaan luokitella pölyräjähdysvaaralliseksi tilaksi. Lisäksi jauhemaalauksessa käytettävä kaasulla toimiva uuni on myös kaasuräjähdystila. Märkämaalauksessa höyryntyvät kemikaalit aiheuttavat kaasuräjähdysvaarallisen tilan sekä maalarille riskin altistua kemikaaleille. (3.)

Kemiallisessa esikäsittelyssä kemikaalit voivat aiheuttaa tapaturma- ja altistumisriskejä. Kemikaaleilta tulee suojautua asianmukaisin suojavälinein. Jauhemaalauksessa hienolta jauhepölyltä tulee suojautua korkealuokkaisella pölyn-suojaimella. Märkämaalauksessa liuottimien haihtuvilta orgaanisilta yhdisteiltä (VOC) tulee maalarin suojautua oikeaoppisin suojavälinein. Sähköstaattisessa maalaamisessa tulee huomioida sähkötyöturvallisuus ja maalariin kohdistuva sähköiskun riski. (3.)

4.7 Ympäristö, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (VOC) sekä yleisistä päästörajoituksista on vuonna 1999 määritelty niitä säätelevä EU-direktiivi 1999/13/EC. Direktiivi edellyttää EU-jäsenvaltioita laatimaan kansalliset säädökset liuotinpäästöjen vähentämiseksi. Suomessa vuonna 2001 Valtioneuvosto laati direktiivin perusteella asetuksen 435/2001. Asetuksessa määritellään millä ehdoilla liuottimia sisältäviä tuotteita maalauslaitoksissa saa käyttää. Asetus myös edellyttää teollisuusmaalaamoita laskemaan vuotuiset liuotinpäästönsä. Päästöjen raja-arvoiksi asetuksessa määritettiin 5000–15 000 kg vuodessa, jolloin maalaamolta edellytetään rekisteröitymistä ympäristöhallinnon tietojärjestelmään, sekä jos maalaamo tuottaa yli 15 000 kg päästöjä vuodessa, niin laitos tarvitsee myös ympäristöluvan. (5, s.63.)

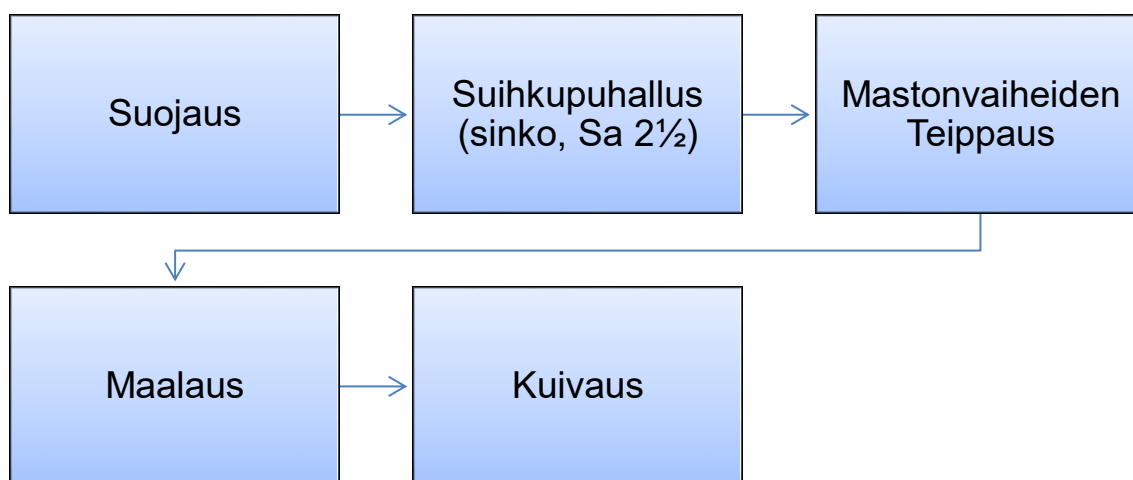
Päästöjen tehokas pienentäminen onnistuu parhaiten valitsemalla käyttöön joko jauhemaalauksen tai matalapäästöisen märkämaalauksen (5, s.63). Vähäpäästöisiä märkämaaleja ovat liuotteettomat, vesiohenteiset tai korkean kuiva-aineen maalit (5, s.63). Elektroforeesimenetelmä (E-coat) soveltuu myös hyvin lähes

päästöttömään pinnankäsittelyyn, mutta sävy ja kiilto-ominaisuuksiensa vuoksi se soveltuu usein vain erinomaiseksi pohjamaaliksi (6).

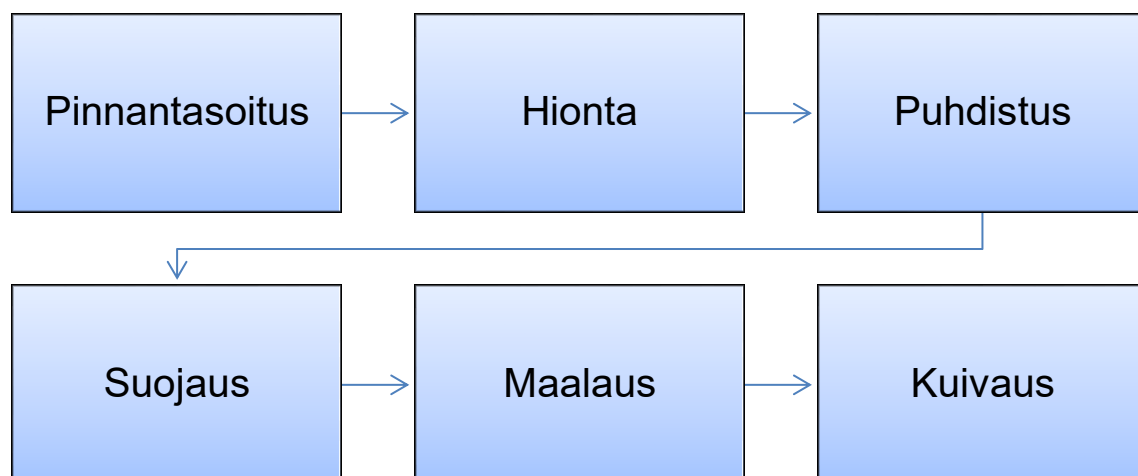
Esikäsitellyssä nanopinnoitteilla voidaan saavuttaa ympäristön kannalta merkittävästi parempi lopputulos fosfointeihin verrattuna. Lisäksi esikäsitellyissä pe-suissa syntyvää jätevettä tulee käsitellä ympäristömääräysten mukaisesti. (3.)

4.8 Tämänhetkiset maalausprosessit

Nykytilassa maalaaminen tapahtuu kahdessa eri maalaamossa, eripuolilla tehdasaluetta. Toisessa maalaamossa maalataan mastojen vaiheita mustaksi (kuva 24) ja toisessa muut osat sävyjen mukaisesti. Maalaus tapahtuu suurpaineruiskutuksella. Maalaamisessa hyödynnetään sähköstaattista ilma-avusteista suurpaineruiskutusta. Maalattavat kappaleet kulkevat kuljetustelineillä tai kuljetuskärryillä. Nykyinen vuosittainen maalinkulutus on n. 53 400 litraa, josta n. 85% on mustaa.



Kuva 26. Nykyinen maalausprosessi mastonvaiheille sekä vastapainotrukin turvakatoksille.



Kuva 27. Vastapainotrukin vastapainon maalausprosessi.

5 Johtopäätökset ja pohdinta

Vastapainotrukin rungolle, turvakatokselle sekä varastotrukkien mastokokonaisuuksille maalausmenetelmäksi parhaiten soveltuva menetelmä on jauhemaalaus. Vastapainotrukin vastapainolle jauhemaalaaminen ei ole soveltuva, koska suuren massansa vuoksi jauhemaaloin kovettaminen uunissa ja sen jälkeen vastapainon jäähdyttäminen vaatisi huomattavan pitkä ajan. Vastapainojen maalamiseen parhaiten soveltuva maalausmenetelmä on ilma-avusteinen suurpaineruiskutus. Tämän avulla saavutetaan hyvä siirtohyötysuhde maalille. Vesiohenteisella märkämaalilla ilma-avusteisessa suurpaineruiskutuksessa syntyy huomattavasti vähemmän haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC)–päästöjä.

Esikäsitteilynä jauhemaalattaville kappaleille vaaditaan metallipinnan huolellinen pesu ja joko huolellinen suihkupuhdistus (Sa 2½) tai konversiokäsittely. Konversiokäsittelynä nanopinnoitteet (zirkonium ja silaani) ovat energiatehokkaimpia ja ympäristöystävällisimpiä esikäsitteilypinnoitteita. Vesiohenteisella maalilla maalatessa kappaleen pinta tulee olla kuten jauheella maalatessa huolellisesti suihkupuhdistettu (Sa 2½) taikka muutoin esikäsitelty hyvän tartuntapinnan saamiseksi. Valmiiksi maalattujen vastapainojen päälle maalatessa tulee selvittää maalin soveltuvuus pohjamaalin kanssa.

Kun maalausvalinnoiksi valitaan jauhemaaleilla sekä vesiohenteisillä maaleilla maalaaminen, niin voidaan saavuttaa erittäin matalat ympäristökuormitukset. Vähäisillä ympäristökuormituksilla sopeudutaan kestäväan kehitykseen, sekä pystytään toimimaan todennäköisemmin tulevaisuudessa kehittyvien ympäristösäännösten rajoissa, ilman tarvittavia suuria muutoksia pintakäsittelylinjalle.

Mastonvaiheiden teippaamisesta voidaan mahdollisesti päästä eroon jauhemaalain tarjoaman mekaanisen keston vuoksi, jollei maalikalvo muutoin haittaa mastonvaiheiden välityksiä. Tämän avulla voitaisiin säästää merkittävästi maalauksen aiheuttamissa kuluissa.

Maalaamon kapasiteetin mitoittamisessa tulee ottaa huomioon mahdollisuus suureneviin tuotantomääriin. Nykyaikaisten pintakäsittelylinjojen avulla maalauskapasiteettia voidaan kasvattaa merkittävästi nykyiseen verrattuna, sekä laskemaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) aiheuttamia päästöjä.

Tulevaisuudessa jauhemaalalaus on todennäköisimmin pääsääntöinen teollinen pintakäsittelymenetelmä. Jauhemaaleja kehitetään jatkuvasti ominaisuuksiltaan paremmiksi sekä ympäristöystävällisemmiksi. Yhä matalammassa lämpötilassa kovettuvat jauhemaalit vähentävät huomattavasti jauhemaalauksessa syntyvää energiankulutusta. Märkämaaleissa käytettävien kemikaalien turvallisuus on myös parantunut merkittävästi vuosien aikana. Vesiohenteisten maalien ominaisuuksien kehittyminen mahdollistaa myös niiden kasvavan osuuden märkämaaleissa. Kestävän kehityksen näkökulmasta ajateltuna liuotinohenteisten maalien osuutta tullaan todennäköisesti vähentämään yhä tarkemmilla ympäristösäännöksillä.

Lähteet

- 1 Mitsubishi Logisnext Europe Oy. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.rocl-agv.com/en/about-us>> Luettu 15.4.2022.
- 2 Mitsubishi Logisnext Europe Oy. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.mitsubishilogisnexteurope.fi/fi/#operations>> Luettu 15.4.2022
- 3 Helander, K.; Maununen, M.; Jokinen, I.; Kuusela, A. & Nikkari, T. 2012. Pinnalla: 2, Metallituotteiden maalaus. 2. uud. p. Helsinki: Opetushallitus.
- 4 Tikkurila Oy. 2009. Metallipintojen teollinen maalaus. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/1340945-Metallipintojen-teollinen-maalaus.html>> Luettu 20.2.2022.
- 5 Teknos Oy. 2009. Korroosionestomaalauksen käsikirja. Verkkoaineisto. <https://www.teknos.com/globalassets/teknos.fi/teollisuuteen/aineisto/fi_korroosionestomaalauksen_kasikirja_2013.pdf> Luettu 20.2.2022.
- 6 FSP For Surface Protection Oy. E-coat on nykyaikaisen esikäsittelyn aatelia – Mistä siinä on kyse? Verkkoaineisto. <<https://www.fspcorp.com/fi/e-coat-on-nykyaikaisen-esikasittelyn-aatelia-mista-siina-on-kyse/>> Luettu 9.3.2022.
- 7 Membracon (UK) Ltd. 2022. How does E-coating work? Verkkoaineisto. <<https://www.membracon.co.uk/blog/how-does-e-coating-work/>> Luettu 20.3.2022.
- 8 ClearClad Coatings. What is E-coating? Verkkoaineisto. <<https://clear-clad.com/products/what-is-e-coat/>> Luettu 20.3.2022.
- 9 Tilastokeskus. Energian hinnat. 2022 Verkkoaineisto. <https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehi/> Luettu 26.4.2022.
- 10 Tilasto: Energian hinnat [verkkajulkaisu]. ISSN=1799-7984. 4. Vuosineljännes 2021, Liitekuvio 4. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 26.4.2022]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/ehi/2021/04/ehi_2021_04_2022-03-10_kuv_004_fi.html>

- 11 Bergek, C.; Harvey, S.; Klässbo, A.; Osbeck, S.; Rohdin, P. & Thollander, P. 2011. Energy efficiency opportunities within the powder coating industry. Linköping: Industrial Energy Efficiency (IEE). Verkkoaineisto. <<http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:417226/FULLTEXT01.pdf>> Luettu 2.4.2022.
- 12 Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteet – ATEX. Verkkoaineisto. <<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex>> Luettu 24.3.2022.

Pintakäsittelymenetelmien pisteytys

Pintakäsittelymenetelmän pisteytys pohjautuu lähteiden (3; 4; 5) tietoihin ja niistä tehtyihin johtopäätöksiin. Kertoimet on määritelty asian tärkeyden tai haitan merkityksen mukaisesti.

Taulukko 1. Pintakäsittelymenetelmien pisteytys.

	VOC	ATEX	Kiilto/sävy	Mekaaninen kesto	Kemiallinen kesto	Energia	Tilat	Kaikille kappaleille	Automatisointi	Valumat	Laitteiden investointi	Käyttökustannukset	Yhteensä
Suurpaineruiskutus stii-kalla, liuotin	8	7	1 0	9	1 0	6	7	1 0	6	3	7	4	7
Suurpaineruiskutus stii-kalla, vesiohenteinen	2	4	1 0	8	1 0	5	7	1 0	6	6	7	4	2 2
Sivuilmaruiskutus, vesiohenteinen	2	4	1 0	8	9	5	5	0	3	4	4	4	1 4
Jauhemaalaus	0	2	1 0	1 0	9	9	9	7	1 0	0	9	2	3 1
E-coat + jauhe	0	2	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	7	1 0	0	1 0	2	2 9
Sively	5	2	5	6	5	2	3	3	1	8	1	1	4
Telaus	5	2	5	6	5	2	3	1	1	6	1	1	4
Kasto	5	2	7	7	3	4	5	2	4	9	4	3	-6
Valelu	5	2	3	3	3	4	4	0	3	8	4	3	- 2 3
Kerroin	-2	-2	2	2	2	-2	-1	1	1	-1	-1	-2	