

Katri Rientamo

Kaksikerrosjauhemaalaus

Relicomp Oy

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Kone- ja tuotantotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SEAMK tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Katri Rientamo

Työn nimi: Kaksikerrosjauhemaalaus

Ohjaaja: Pasi Junell

Vuosi: 2020 Sivumäärä: 72 Liitteiden lukumäärä: 5

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Kurikassa sijaitsevan Relicomp Oy:n jauhemaalausprosessia ja jauhemaalauksen toteuttamista kaksikerrosjauhemaalauksena. Relicomp Oy työllistää tällä hetkellä noin 125 työntekijää ja on ohutlevytekнологiaan erikoistunut metalliteollisuuden yritys, joka tekee alihankintaa suoraan päähankkijoille.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten jauhemaalaukselle asetettujen laatuvaatimusten kasvaminen ilmastorasitusluokasta C3-M luokkaan C4-M saadaan toteutettua nykyisellä maalauslinjalla sekä selvittää vaihtoehto toteuttamiseen tulevaisuudessa.

Tutkimuksen teoriaosuudessa selvitettiin jauhemaalauksen perusteita sekä onnistuneen lopputuotteen vaikuttavien asioiden perusteita sekä niihin liittyviä standardeja. Työssä tehtiin tuotannolle työohje terästyöastevaatimuksista pintaluokittain ja koulutettiin koko henkilöstölle niiden vaikutus onnistuneeseen jauhemaalaukseen sekä lopputuotteen korroosiokestävyyteen.

Tutkimustulosten analysointi osoitti, miten monivaiheinen jauhemaalausprosessi on ja miten sitä tulee jatkuvasti valvoa sekä hallita. Tutkimuksista saatiin hyvät lähtökohdat kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen sekä kehittämiseen tulevaisuudessa. Kaksikerrosjauhemaalauksen käynnistyessä on prosessia havainnoitava jatkuvasti ja sitä kautta mietittävä mahdollisia prosessin parannustoimenpiteitä.

Avainsanat: jauhemaalaus, prosessi, esikäsittely, korroosionesto, standardi, laatu, pintakäsittely

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Katri Rientamo

Title of thesis: Dual-layer powder coating

Supervisor: Pasi Junell

Year: 2020 Number of pages: 72 Number of appendices: 5

The purpose of the thesis was to observe the powder coating process of Relicomp Oy in Kurikka and to implement it in dual-layer coating. Relicomp Oy is a metal industry company specialized in sheet metal technology and it offers subcontracting to its main suppliers.

The aim of the thesis was to examine and research how to deliver sufficient powder coating quality for elevated requirements from climate resistance class C3-M to C4-M with the current production line and an alternative solution to go with in the future.

The theoretical framework examined the principals of powder coating and standards related to it and steps to achieve the required quality level in the process. The case study of the thesis created a work procedure for the degree of finishing steel per coating class. The entire workshop staff was educated to the procedure emphasizing the importance of successful prehandling in order to achieve corrosion resistance for the finished product.

The results of the research showed that powder coating had multiple phases which needed to be monitored and controlled constantly. The research gave a good basis to execute dual-layer powder coating and to develop the process in future. The dual-layer powder coating process should be monitored constantly when implemented in production and the process development should be done according to the monitored results.

Keywords: powder coating, process, pretreatment, corrosion prevention, standard, quality, surface treatment

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuvaluettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	9
ALKUSANAT	10
1. JOHDANTO	11
1.1 Työn tausta	11
1.2 Työn tavoitteet ja rakenne.....	12
1.3 Yritysesittely Relicomp Oy	13
2. JAUHEMAALAUUS	15
2.1 Yleistä jauhemaalauksesta	16
2.2 Jauhemaalit	16
2.3 Esikäsittely.....	19
2.3.1 Esikäsittelyn tarkoitus.....	19
2.3.2 Mekaaninen esikäsittely	20
2.3.3 Kemiallinen esikäsittely	21
2.4 Konversiokäsittely	22
2.5 Jauhemaalauslaitteisto	23
2.6 Verkkouttaminen.....	24
2.7 Maalauksen kestävyys ja ilmastorasitusluokat jauhemaalauksessa	26
2.8 Terästyöaste	27
2.9 Jauhemaalauksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät	29
2.10 Laadunvarmistus ja -menetelmät	30
3. PROSESSIN NYKYTILA.....	35
3.1 Osien ripustaminen ja maalaussuojien asentaminen	37
3.2 Jauhemaalaus.....	37
3.2.1 Jauhemaalalin kierrätys	40
3.2.2 Osien purku, oheistyöt ja pakkaus	40
3.3 Laadunvarmistus ja -menetelmät	41

4. KAKSIKERROSJAUHEMAALAUUS.....	45
4.1 Kolme päälinjaa kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen.....	45
4.2 Toteutettavuus nykylinjoilla ja tulevaisuuden näkymät.....	47
4.3 Hyödyt.....	47
4.4 Eri vaihtoehtojen tutkiminen kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseksi Relicompilla.....	47
4.4.1 Uusi prosessi Relicompin linjalla toteutettavaan kaksikerrosjauhemaalaamiseen.....	48
4.4.2 Havaitut riskit ja korjaavat toimenpiteet.....	51
4.4.3 Prosessin muutokset ja tarpeet.....	52
4.4.3 Muut vaihtoehdot tulevaisuudessa nykylinjalla.....	54
5 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	64
6 YHTEENVETO	70
LÄHTEET	72
LIITTEET	75

Kuvaluettelo

Kuva 1. Reunapyöristetyt testilevyt suolasumutestauksen jälkeen	12
Kuva 2. Ei reunapyöristetyt testilevyt suolasumutestauksen jälkeen.	12
Kuva 3. Relicompin tuotantohalli Kurikassa..	13
Kuva 4. Epäonnistunut ja onnistunut tartunta.	22
Kuva 5. Suurennos syntyvästä tartuntapinnasta kemiallisessa esikäsittelyssä.	23
Kuva 6. Lämpökäyrä.	25
Kuva 7. Terävän reunan vaikutus korroosiokestävyyteen.	28
Kuva 8. Kalvonvahvuus- ja kiiltomittari.....	31
Kuva 9. Hilaristikkolevyn testausalusta	31
Kuva 10. Standardin ISO 12944-6 mukainen C4-M hyväksytty testilevy	33
Kuva 11. Asiakaan oma testilevy 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen	34
Kuva 12. Asiakkaan oma testilevy 320 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen	34
Kuva 13. Maalaamon layout	35
Kuva 14. Pintakäsittelyn prosessikuvaus	36
Kuva 15. Yleiskuva maalauskaapista.....	38
Kuva 16. Relicompin maalaamosta.....	38
Kuva 17. Relicompin maalaamosta	39
Kuva 18. Relicompin maalaamosta.....	39
Kuva 19. Osien kuljetuslaatikko	41

Kuva 20. Kastuvuus rasvanpoiston jälkeen.	42
Kuva 21. Pyyhkiminen valkoisella liinalla	42
Kuva 22. Visuaalisen seurannan taulu pintakäsittelyn kunnossapito ja esikäsittely.	43
Kuva 23. Esikäsittelyn visuaalisen seurannan taulu käytössä.	43
Kuva 24. Hilaristikko ja taivutuskoe.....	44
Kuva 25. Uunin lämpökäyrä sinkkipohjamaali testien ajon yhteydessä.	49
Kuva 26. Testilevymateriaali 4 mm	49
Kuva 27. Testilevymateriaali 2 mm.	50
Kuva 28. Testilevyt kaksikerrosmaalaus, pysäytetty uunin perälle.....	51
Kuva 29. Esimerkki uunin lämpötilan visuaaliseen seuraamiseen	53
Kuva 30. Osien ajoa IR-testauslaitteella Ruotsissa.....	55
Kuva 31. Harmaa IR-testilevy ennen ja jälkeen neutraalisuolasumutestauksen. ...	55
Kuva 32. Harmaa IR-testilevy hilaristikko ja X-viilto	56
Kuva 33. Keltainen IR-testilevy ennen ja jälkeen suolasumutestauksen	56
Kuva 34. Keltainen IR-testilevy hilaristikko ja X-viilto.	57
Kuva 35. Teknoksen testien tulokset IR-testilevyistä	57
Kuva 36. Havaittu tartunta ongelma.	58
Kuva 37. Viron testiosat, tartuntaongelma lopullisen uunituksen jälkeen (Relicomp 2020b).....	59
Kuva 38. Viron testilevy ennen ja jälkeen suolasumutestauksen (Tarvainen 2020).	59
Kuva 39. Viron testilevy hilaristikko ja X-viilto (Tarvainen 2020).	60

Kuva 40. Linjasuunnitelma pohjamaalauskaapilla ja IR-säteilijällä	61
Kuva 41. IR-säteilijän kuva	62
Kuva 42. IR-säteilijä.	62
Kuva 43. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen	64
Kuva 44. Reunakorroosion eteneminen. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen.	65
Kuva 45. Hilaristikko. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen.	65
Kuva 46. X-viilto. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen.....	66
Kuva 47. Kaksikerrosjauhemaalattujen testilevyjen standardin mukaisen testin testiraportti.	67
Kuva 48. Keltainen + lakka testilevyt 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen..	68
Kuva 49. Normaali pohjamaali + supersäänkestävä keltainen testilevy 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen..	68
Kuva 50. Terästyöasteen vaikutus pintakäsittelyn korroosionkestoon.	69

Käytetyt termit ja lyhenteet

Verkkouttaminen	Jauhemaalain kaksikomponenttireaktio käynnistetään korotetussa lämpötilassa. Tässä ensin maali sulaa, minkä jälkeen se ottaa tartunnan alustaan ja lopuksi verkkoutuu maalikalvoksi.
Polyesteri	Ulkokäyttöön suunniteltujen jauhemaalien raaka-aine.
Polyuretaani	Ulko- ja sisäkäyttöön suunniteltujen jauhemaalien raaka-aine.
Epoksi	Sisäkäyttöön suunniteltujen jauhemaalien raaka-aine.
Epoksipolyesteri	Sisäkäyttöön suunniteltujen jauhemaalien raaka-aine.
Fosfatointi	Fosfatoinnissa metallin pinnalle muodostuu ohut kiteinen kalvo, johon maali tarttuu paremmin.
Traverssi	Automaattimaalauslaitteisto.
ATEX	Atmospheres explosibles, räjähdysvaarallinen tila.
Konvektiouuni	Uuni jauhemaalain verkkouttamiseen. Konvektiouuni yhdistää kaasu- ja sähköuunien toimintoja.
Terästyöaste	Osien viimeistelyn tila ennen jauhemaalausta.
REACH	Euroopan unionin asetus kemikaalirekisteröinnistä, kemikaalien arvioinnista, lupamenettelyistä sekä rajoituksista.

ALKUSANAT

Haluan kiittää omasta puolestani koko Relicomp Oy:n henkilökuntaa. Erityisesti haluan kiittää maalaamon henkilökuntaa, joka on osallistunut prosessin kehittämiseen koko projektin ajan.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia yhteistyökumppaneita: Teknos Oy Tero Lahti, Jukka Lammi ja Harry Kouri, Core Automation Oy Santeri Peltola sekä Ponsse Oyj Hannu Tarvainen. He kaikki ovat mahdollistaneet opinnäytetyön tekemisen. Projekti on ollut pitkä ja olen oppinut aivan valtavasti jauhemaalauksen maailmasta näiden kahden vuoden aikana ja sen parissa on ollut ilo työskennellä.

Kurikassa 4.5.2020

Katri Rientamo

1. JOHDANTO

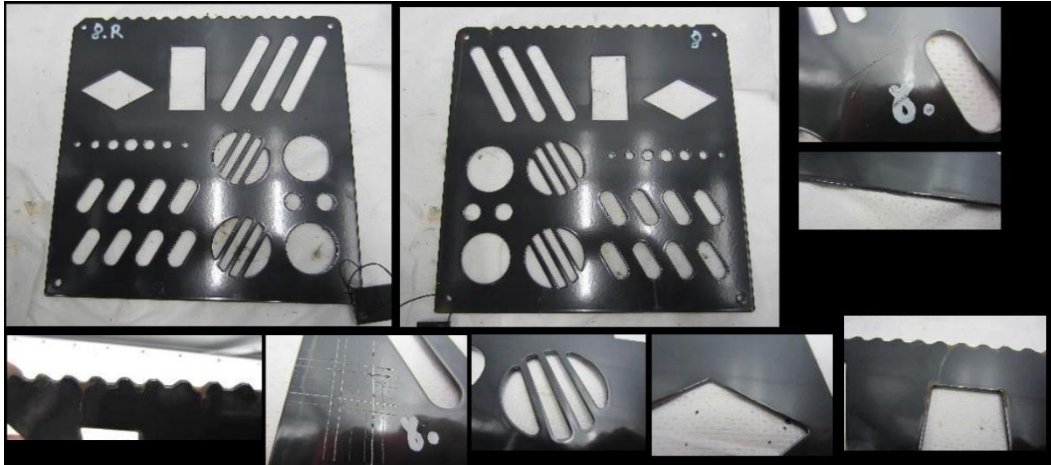
1.1 Työn tausta

Ohutlevystä muoto-osia valmistavan Relicompin suurin asiakas on nostamassa jauhemaalaukselle asetettuja vaatimuksia rasioluokkavaatimusta C3-M luokasta C4-M luokkaan. Kyseisen asiakkaan koneita menee ympäri maailmaa ja koneiden on kestettävä ääriolosuhteita, kuten kovaa auringonpaistetta ja pakkasta koko käyttöikäodotuksen ajan.

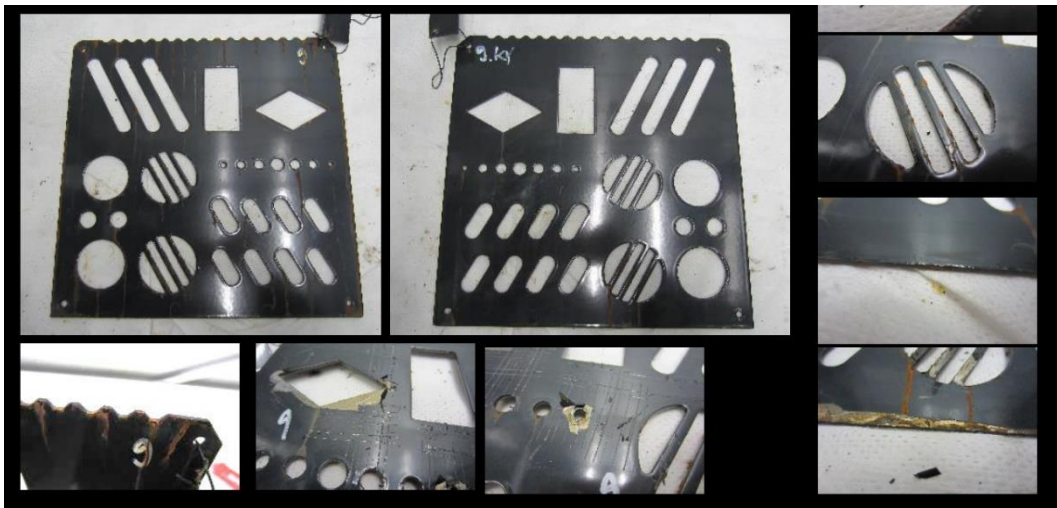
Työn taustalla on selvittää, millä menetelmillä ja prosessimuutoksilla maalausvaatimusten nousu saadaan toteutettua laadukkaasti ja tehokkaasti Relicompin jauhemaalauksessa.

Asiakkaan kanssa on tehty paljon testejä maalausprosessin ja terästyöasteen vaikutuksesta osien korroosionkestävyyteen ja reunakorroosion etenemiseen. Nämä tutkimukset ovat olleet alustavaa työtä, joilla on pystytty perustelemaan kiistattomasti osien korroosiokestävyyden parantuminen kaksikerrosjauhemaalauksella sekä uusien vaatimuksien täyttyminen.

Tutkimuksessa selvitettiin myös reunapyörityksen vaikutusta jauhemaalauksessa osien korroosion kestävyteen. Tutkimukset osoittivat selkeästi, että reunapyöritykset osissa parantavat osien korroosionkestävyyttä. Relicompin tuottamissa osissa reunapyörityksien tekeminen koneellisesti on mahdotonta osien muotojen vuoksi, ja tästä syystä päädyttiin kaksikerrosjauhemaalauksen tutkimiseen. Alla vertailukuvia reunapyöritystyistä testilevyistä suolasumutestien jälkeen. Levyt olivat suolasumukaapissa 314 tuntia, joka vastaa C3-M luokitusta.



Kuva 1. Reunapyöristetyt testilevyt suolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).



Kuva 2. Ei reunapyöristetyt testilevyt suolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).

1.2 Työn tavoitteet ja rakenne

Työn tavoitteena oli selvittää eri vaihtoehtoja kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen Relicompin nykyisellä maalauslinjalla sekä mahdollisia muita vaihtoehtoja toteutukseen tulevaisuudessa. Toisena tavoitteena oli varmistaa osien asiakasvaatimusten täyttyminen kaksikerrosjauhemaalauksessa Relicompin prosesseissa.

Tässä työssä selvitetään vaihtoehtoja kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen. Työn alussa käydään läpi jauhemaalauksen prosessin hallinnan teoriaa kokonaisuudes-

saan. Teoriaosuudessa käydään läpi jauhemaalauksen teoriaa sekä laadunvarmistuksen standardeja. Keskipäivällä käsitellään jauhemaalauksen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä laadunvarmistusta ja laadunvarmistusmenetelmiä.

Teoriaosuuteen ja nykyiseen prosessiin tutustumisen jälkeen käydään läpi kaksikerrosjauhemaalauksista ja vaihtoehdot sen toteuttamiseen Relicompin nykyisellä maalauslinjalla. Samalla selvitetään myös muita vaihtoehtoja tulevaisuudessa kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen. Työn edetessä esitellään tutkimustuloksia osien korroosiokestävyydestä eri menetelmin valmistettuna. Loppuosassa käsitellään prosessin laadunvarmistusta ja kaksikerrosjauhemaalauksen menetelmiä sekä mahdollisia haasteita ja mahdollisuuksia kaksikerrosjauhemaalauksessa.

1.3 Yritysesittely Relicomp Oy

Relicomp Oy on vuonna 1992 perustettu suomalainen ohutlevyteknologiaan erikoistunut metalliteollisuusyritys, jolla on tehdas Kurikassa. Relicomp on toiminut Kurikassa vuodesta 2014 alkaen. Aikaisemmin tuotantoa oli Kauhajoella ja Suolahdessa, mutta vuodesta 2016 alkaen kaikki valmistus on keskitetty Kurikkaan. Relicomp tarjoaa teräksen lujaa palvelua tuotekehityksestä komponenttien valmistukseen ja järjestelmätoimituksiin saakka. Alla Relicomp Oy:n tehdas Kurikassa.



Kuva 3. Relicompin tuotantohalli Kurikassa. (Relicomp Oy 2020a).

Relicomp työllistää tällä hetkellä 125 työntekijää ja kouluttaa henkilökuntaa säännöllisesti varmistaen näin asiakasvaatimusten täyttymisen. Asiakslähtöisyys on yksi tärkeimmistä yrityksen perustoimintamalleista ja yhteistyötä prosessien parantamiseksi sekä kehittämiseksi tehdään jatkuvasti yhteistyössä asiakkaiden ja yhteistyökumppaneiden kanssa.

Relicompin yksi suurimmista kilpailueduista on valmistettavien osien koko tuotantoketjun hallinta. Näin asiakkaalle pystytään tarjoamaan vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä kustannustehokkaan ja laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Relicompin pääprosessit ovat tuote- ja menetelmäkehitys, laserleikkaus, särmäys, painomuovaus, syväveto, hitsaus, jauhemaalaus ja kokoonpano. Relicompin toimintaa ohjaavat sertifioidut laatujärjestelmät ISO 9001:2015, ISO 14001, OHSAS 18001 sekä ISO 3834-2. (Relicomp Oy 2020a.)

2. JAUHEMAALAUUS

Jauhemaalaus on lisääntynyt jatkuvasti korvaten lähes kokonaan märkemaalauksen ohutlevytuotteiden teollisessa maalauksessa. Jauhemaalauksella on useita etuja verraten perinteiseen märkemaalaukseen ja siksi se kasvattaa teollisuudessa suosiotaan jatkuvasti. Etuja ovat mm. nopeus, kustannustehokkuus, jauhemaalinkierrätettävyyden, työturvallisuus, ympäristöystävällisyys sekä visuaalisesti tasainen pinta, joka kestää selvästi paremmin mekaanista rasitusta kuin märkemaaliki. (Jokinen, Kuusela & Nikkari 2012, 174,178, 179.)

Jauhemaalauslinjan investointi on yleensä suuri ja vie paljon tilaa ja siksi se yleensä vaatii suuria maalattavia kappalemääriä ollakseen kannattava investointi. Prosessin kaikki vaiheet tulee olla hyvin hallittuja, koska jauhemaalaus onnistumista ei voida arvioida pelkästään visuaalisella tarkastamisella. Prosessin kaikki vaiheet riippuvuudesta aina pakkaamiseen ja laadunvarmistukseen saakka vaikuttavat onnistuneeseen lopputulokseen. Jauhemaalaus käytetään korroosionestomaalaus standardia SFS-EN ISO 12944, jota tässä työssä myöhemmin myös avataan. Vaikka jauhemaalit eivät sisällykään kyseiseen standardiin, voidaan kyseistä standardia soveltaa maalauksen laadunvarmistuksessa, testauksessa ja menetelmänkehityksessä myös jauhemaalien kanssa. (Teknos 2013, 11; Teknos 2019.)

Jauhemaalaus on märkemaalaukseen verrattuna työturvallinen, mutta koska jauhemaalauslinjasto on maalipölyn vuoksi luokiteltu räjähdysvaaralliseksi tilaksi, on se siksi ATEX-lainsäädännön piirissä (Työterveyslaitos 2020). Kotimaisia ja eurooppalaisia jauhemaaleja on turvallinen käyttää, sillä ne noudattavat tuotteissaan REACH-kemikaalilainsäädäntöä. Teknos on sitoutunut noudattamaan ja tukemaan REACH-asetusta, varmistamaan tuotteidensa saatavuuden sekä pitämään asiakkaansa ajan tasalla tuotetiedoistaan. (Teknos [Viitattu 25.4.2020].)

2.1 Yleistä jauhemaalauksesta

Jauhemaali varautuu sähköisesti maalauspistooleissa, joista ne ruiskutetaan maalattavien tuotteiden pinnalle jauhemaalauslaitteilla. Kun maadoitettuna on maalattava kappale, pyrkii jauhe tarttumaan siihen. Lopullisen kalvonsa jauhe saa korotetussa lämpötilassa uunissa. (Teknos 2015, 35.)

Ohutlevyosissa korroosionestojauhemaalauksessa perustuu tavanomaisesti käyttökohteen vaatimukseen. Vaatimukset määrittävät osan maalattavaan alustaan soveltuvan kemiallisen ja/tai mekaanisen esikäsittelyn sekä terästyöasteen, laadukkaan jauhe-maalin, riittävän ja oikean kalvonvahvuuden sekä jauheen vaatiman verkkouttamisen. Jauhemaalattavan kappaleen on kestävä korotettua lämpötilaa (120–200 °C) ja sen tulee johtaa pinnaltaan sähköä. Kappaleen koko ja paino saattavat myös rajoittaa verkkouttamista. (Jokinen ym. 2012, 178.)

Jauhemaalamoissa käytetyt laitteet ja prosessit vaihtelevat mutta nämä vaiheet toistuvat aina niin automaatti- kuin käsitoimisessa jauhemaalauksessa. Esikäsittely, voi olla joko kemiallinen tai mekaaninen – tai molempien yhdistelmä. Jos käytössä on kemiallinen esikäsittely, kuuluu prosessiin myös osien kuivaus esikäsittelyn jälkeen. Esikäsittelyn jälkeen tapahtuu jauhemaalain levitys sekä jauhemaalain verkkouttaminen. Käsite esikäsittely esitellään tässä työssä myöhemmin. (Teknos 2019.)

2.2 Jauhemaalit

Jauhemaalit ovat jauheen muodossa olevia maaleja. Ne ovat yleensä kaksikomponenttisia, fosforihappoa tai erikoiskovettajia ja -pigmenttejä sekä lisäaineita sisältäviä epoksi-, polyesteri- tai epoksi-polyesteriseosteisia maaleja. Niiden sideaineina käytetään epoksia, polyesteriä ja polyuretaania, jotka ovat kemiallisesti kovettuvia. (Teknos 2019; Jokinen ym. 2001, 182.)

Jauhemaalit eivät sisällä haihtuvia liuottimia, joten sen maalikalvo on hyvin tiivis. Tämän lisäksi korotetussa lämpötilassa tapahtuneen verkkouttamisreaktion johdosta mekaanisen ja kemiallisen rasituksen kesto on hyvä. Jauhemaalit ovat 100-prosenttisesti liuotinvapaita, joten niistä ei synny VOC-päästöjä. Jo yhdellä 100–120

µm:n jauhemaalikerroksella päästään jopa C4-M rasisluokkaan ja tartunta alustaan on hyvä. Jauhemaali on sataprosenttisesti kierrätettäviä ja ohiruiskutettu maali voidaan käyttää uudelleen. Jos jauhemaali joutuu jätteeksi, on paras käsittelytapa poltto energiajätteenä. Jauhemaalattu kappale on heti jäähdyttyään käyttövalmis pakattavaksi tai kokoonpantavaksi. Jauhemaalauks on myös suhteellisen helposti automatisoitavissa osittain tai jopa kokonaan. (Teknos 2013, 35,64; Teknos 2019.)

Lisäämällä jauheeseen erilaisia lisäaineita saadaan maaleille eri erikoisominaisuuksia, kuten korroosionkestävyyttä, säänkestävyyttä tai ulkonäköä, kuten väri, kiiltoa tai struktuuria. Eri lisäaineilla voidaan vaikuttaa myös maalin verkouttamiseen, jolloin prosessissa voidaan käyttää eri verkouttamistapoja. Jauhemaali on puolivalmiste jauheen muodossa, joka lopullisesti valmistetaan jauhemaalain ruiskutuksen jälkeen korotetussa lämpötilassa. (Jokinen ym. 2001, 123.)

Maalin sideainepohjan perusteella jauhemaalit jaotellaan käyttökohteittain eri tarkoituksiin. Maaliyhdistelmä valitaan rakenteen, alustan, halutun käyttöiän sekä ulkonäön mukaan. Maalien tulee olla keskenään yhteensopivia ja niiden tulee soveltua käytettävissä olevaan pinnan esikäsittelymenetelmään sekä vallitseviin maalausolosuhteisiin. Tavallisimmat jauhemaalauksjärjestelmät ja korroosionestomaalityypit esitetään standardissa SFS-EN ISO 12944 osassa 5. (Teknos 2019; SFS 12944-5, 9.)

Jauhemaaleja valmistetaan sekä sisä- että ulkokäyttöön menevien kappaleiden maalaukseen sekä erikoisolosuhteisiin. Korroosionsuojausominaisuus ei ole aina ratkaisevin tekijä ulkokäytön arvioinnissa, vaan maalikalvon kiillon ja sävyn säilyvyys säärasituksessa, kuten UV-säteilyn ja kosteuden kestävyys erilaisissa lämpö- ja likaantumisolosuhteissa. (Teknos [Viitattu 4.2.2020].)

Polyesterijauhemaali on sekä ulko- että sisäkäyttöön tarkoitettu yleisin jauhemaali. Polyesterijauhe on polyesterihartsin perustuva TGIC-vapaa jauhemaali. Se soveltuu käytettäväksi metalliteollisuuden tuotteiden maalauksessa kohteissa, joissa vaaditaan hyvää säänkestävyyttä sekä kellastumiskestävyyttä lämmössä ja UV-valossa. Käyttökohteita ovat esim. jatkuvasti ulkona olevat laitteet ja rakenteet. Polyesterijauheet muodostavat mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä kalvon, joka estää hyvin korroosiota ja lisäksi säilyttää hyvin kiiltonsa myös ulko-olosuhteissa. (Teknos [Viitattu 4.2.2020].)

Polyuretaanijauhemaalit soveltuvat käytettäväksi ulko- että sisäkäytössä. Se muodostaa mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä, hyvin tasoittuvan kalvon, jolla on hyvä UV-valon kesto. (Teknos [Viitattu 4.2.2020].)

Sisätiloihin menevät kappaleet voidaan maalata kaikilla jauhemaaleilla, kunhan asiakkaan määrittelemät laatuvaatimukset täyttyvät. Alla olevissa kappaleissa on kerrottu vain sisäkäyttöön tarkoitetuista jauhemaaleista. (Teknos [Viitattu 4.2.2020].)

Epoksia sisältävät jauhemaalit eivät sovellu ulkokäyttöön niiden heikon UV-kestävyyden takia. Sen sideaineseos on epoksihartsia. Epoksijauhetta käytetään vaativiin kohteisiin lähinnä raskaan metalliteollisuuden piirissä. Se muodostaa kalvon, jolla on korkea lasittumispiste. Maalattu pinta kestää kovaa kulutusta sekä öljyä ja rasvoja. (Teknos [Viitattu 4.2.2020].)

Epoksipolyesterijauhe soveltuu käytettäväksi metalliteollisuudessa esim. valaisimien, kojeistojen, kalustojen jne. maalauksessa. Se on kiinteiden epoksi- ja polyesterisideaineiden seoksiin perustuva jauhemaali. Se muodostaa mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä kalvon, jolla on myös hyvät korroosionsuojaominaisuudet. (Teknos [Viitattu 4.2.2020].)

Jauhemaalit voivat sisältää myös raaka-aineita, joiden ansiosta maalikalvo saa joi-tain erikoisominaisuuksia ja/tai jauhemaalin kemiallinen koostumus mahdollistaa uusia käyttökohteita ja /tai verkkouttamistapoja. (Teknos Oy [Viitattu 4.2.2020].)

Jauhemaalin erikoisominaisuuksia ovat mm.

- sähkönjohtavuus, puolijohtavia tai sähköä erittäin hyvin eristäviä
- sinkkirikasteiset tai sinkkivapaat pohjamaalit
- metallisävyt ulko- ja sisäkäyttöön
- antibakteeriset korkeisiin hygieniavaatimuksiin
- antigraffitiset helpon puhdistettavuuden vuoksi
- joustavuus kappaleiden jälkimuokkaamista varten
- kuumankesto jopa 600 °C lämpötiloihin asti
- erittäin hyvät kemiallista ja mekaanista rasitusta kestäviä
- tekstuuri- tai vasaralakkapintaa eri sävyin
- ohut- tai paksunkalvo erikoiskohteisiin

- matalalämpö- tai IR-kovetteisia, ja jopa induktioverkkoutuvia. (Teknos [Viitattu 4.2.2020]; Teknos 2019.)

Erikoisominaisuudet voivat myös rajata ulkokäyttökelpoisuutta tai muita ominaisuuksia, vaikka sideainepohja sen jauhemaalille sallisikin. Esimerkkinä kuumankestomaaleissa ei ole yhtä korkeita ominaisuuksia korroosionestoon tai lakka, jonka erikoisominaisuuksien vuoksi tuotteen mekaaniset ominaisuudet ja korroosionesto eivät yllä yhtä korkealle tasolle kuin tavanomaisilla jauhemaaleilla. (Teknos 2019.)

2.3 Esikäsittely

Tuotteille soveltuvin esikäsittely valitaan yhdistelmästä, jossa on huomioitu tuotteen materiaali ja vahvuus, käyttöolosuhteiden rasittavuus sekä tuotteelle asetetut käyttöikäodotukset. Lisäksi on huomioitava lopputuotteen kuljetus- ja varastointi-olosuhteet sekä mahdolliset mikroilmaston aikaansaamat lisärasitteet esim. merikuljetusolosuhteet. (Teknos 2019.)

Esikäsittelyaste ja esikäsittelyn laatuaste valitaan maalausjärjestelmän mukaan. Maalausjärjestelmä valitaan kohteen suojausvaatimusten mukaisesti huomioiden myös esikäsittely ja esikäsittelyolosuhteet. Maalaamattoman pinnan ruostumisaste vaikuttaa ruosteenpoistomenetelmän valintaan, puhdistuskustannuksiin sekä maalauksen kestävyYTEEN. Standardissa SFS-EN ISO 8501-1 määritellään esikäsittelyasteet kuvaamalla pinnan ulkonäkö sanallisesti sekä asiaa selventävien esimerkki-
valokuvien perusteella. Esikäsittelymenetelmiä esitetään standardeissa SFS-EN ISO 8504 osissa 1–3 sekä SFS-EN ISO 12944-4. Hyvällä esikäsittelyllä ja yhdellä jauhemaalikerroksella saavutetaan helposti C3-M tai jopa C4-M luokan laatuvaatimukset standardin SFS-EN ISO 12944-6 mukaisessa testissä, jos osan terästyöaste on riittävä. (Teknos 2013, 12,18,19,30.)

2.3.1 Esikäsittelyn tarkoitus

Maalattava alusta on puhdistettava hyvin liasta ja rasvoista ennen maalausta, jotta maali verkkoutuessaan ottaa kiinni alustaan eikä pinnalla olevaan likaan. Samalla

esikäsitteilyllä pyritään muodostamaan tartuntapohja käytettävälle maalille. Se voidaan tehdä joko mekaanisesti tai kemiallisesti. Usein esikäsitteilyllä pyritään samalla muodostamaan korroosiota hidastava kerros maalikalvon alle. Esikäsitteilyn suorittamisessa on tärkeää, että se tehdään aina kaikilta osiltaan ja vaiheiltaan laitteiston ja kemikaalin toimittajan ohjeiden mukaisesti. (Teknos 2019.)

2.3.2 Mekaaninen esikäsitteily

Mekaaninen käsittely tarkoittaa käsityökaluilla tai koneellisesti tehdyn pinnan esikäsitteilyä. Käsityökaluilla tehty esikäsitteily kuten teräsharjaus tai kaavinta, koneellinen harjaus tai hionta merkitään maalausjärjestelmässä "St"-merkinnällä. Tunnuksen jälkeinen numero kuvaa puhdistusastetta valssihilseestä, ruosteesta tai aikaisemmasta maalista. Teräsharjauksen tavallisimmat esikäsitteilyasteet ovat St 2 ja St 3. Esimerkki St 2 tarkoittaa huolellisesti käsityökaluilla tai koneellisesti tehtyä puhdistusta. Paljain silmin tarkasteltaessa pinnassa ei saa olla pölyä, rasvaa tai likaa, eikä heikosti kiinni olevaa valssihilsettä, ruostetta, maalia tai muita vieraita aineita. (Jokinen ym. 2012, 60, 62–64; Teknos 2013, 19–20.)

Suihkupuhdistus on yleisin mekaanisen esikäsitteilyn vaatimus raskaan teollisuuden käyttöön ja olosuhteisiin. Suihkupuhdistusta ei voida tehdä ohutlevyosille, koska se aiheuttaa helposti muodonmuutosta osiin. Karhennettu pinta voi myös vaikeuttaa tasaisen sileän maalipinnan saamista osiin, joissa on korkeat visuaaliset vaatimukset maalipinnoille. Suihkupuhdistuksella suoritettua pinnan esikäsitteilyä merkitään maalausjärjestelmässä kirjaimella "Sa". Suihkupuhdistuksen esikäsitteilyasteet ovat Sa 1, Sa 2, Sa 2½ ja Sa 3. Esimerkkinä 2½, joka tarkoittaa hyvin huolellista suihkupuhdistusta. Paljain silmin tarkasteltaessa pinnalla ei saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa, valssihilsettä, ruostetta, maalia tai muita vieraita aineita. Pinnalle jäävien epäpuhtauksien tulee olla hyvin kiinni alustassa. Standardi SFS-EN ISO 8503-2 määrittelee vaatimukset ISO-pintaprofiilikappaleille, jotka on tarkoitettu suihkupuhdistetun teräspinnan silmämääräiseen tai kosketukseen perustuvaan vertailuun. (Teknos 2013, 19–20; Teknos 2019.)

Mekaaninen esikäsittely ei yksinään poista kaikkia vesiliukoisia suoloja tai hitsausainejäämiä maalattavilta pinnoilta ja se onkin korkeissa korroosionkestovaatimuksissa olevissa kohteissa yleensä käytössä yhdessä kemiallisen esikäsittelyn kanssa. (Teknos 2019.)

2.3.3 Kemiallinen esikäsittely

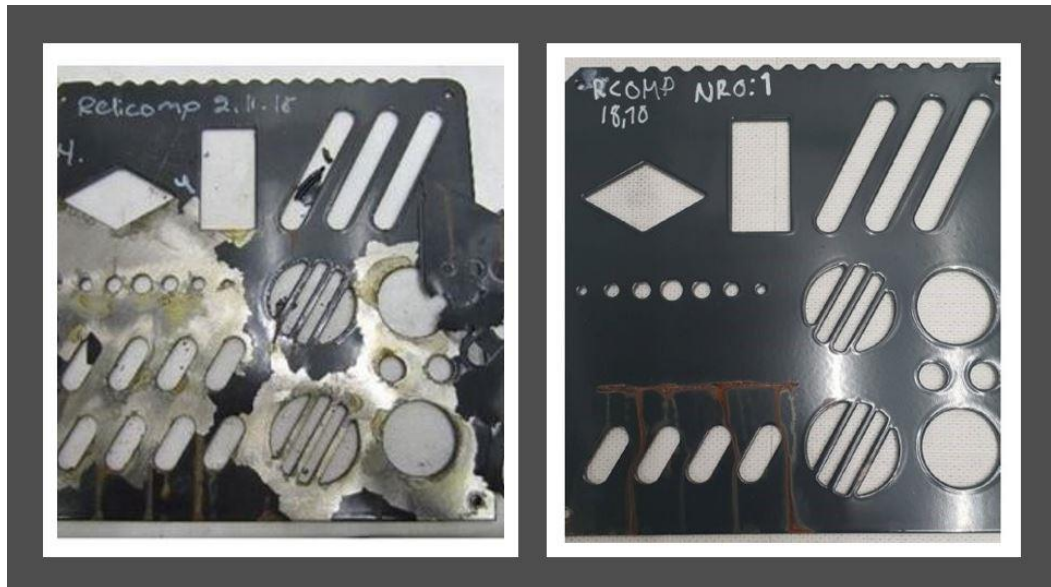
Jauhemaalauksessa yleisin käytetty esikäsittely on kemiallinen esikäsittely. Kemiallinen esikäsittely voidaan suorittaa upottamalla osat altaaseen tai vesisuihkupuhdistuksella. Rasvat ja öljyt poistetaan alkali-, emulsio- tai liuotepesulla. Alkali- ja emulsiopesun jälkeen pinnat huuhdellaan puhtaaksi vedellä, yleensä viimeisessä huuhtelussa käytetään ionivaihdettua vettä sen puhtauden takia. (Jokinen ym. 2012, 26,32–35.)

Vesisuihkupuhdistus on pinnanpuhdistusmenetelmä, jossa käytetään vain korkeapaineista vettä. Puhdistus perustuu veden iskuenergiaan pintaa vasten. Sen etu on, ettei se sisällä kiinteitä puhallusrakeita eikä siitä näin ollen synny pölyä, jolloin lähiympäristössä voidaan samanaikaisesti tehdä muita töitä. Se poistaa pinnoilta liukenevat suolat, öljyt ja rasvan eikä jätä rakeita eikä pölyä kappaleiden pintaan. Osissa kiinni olevaa valssihilsettä, leikkausoksidia, ruostetta tai kiinni jäänyttä hiontapölyä se ei kuitenkaan poista. (Teknos 2013, 19–20.)

Upottaminen tarkoittaa sitä, että kappale upotetaan kemikaalialtaaseen, joka on usein myös useampivaiheinen. Molemmissa on huomioitava esikäsiteltävien kappaleiden rakenteet ja muodot, jotta pesu on mahdollista ja pesuvedet pääsevät myös rakenteista pois. Rakenteisiin jäänyt pesuvesi pilaa verkkouttamisen aikana maalauksen, eikä heikko laatu ole aina edes selkeästi visuaalisesti heti havaittavissa. (Jokinen ym. 2012, 34–35.)

Kemiallinen esikäsittely vaatii toimiakseen hallitun prosessin ja siinä on seurattava laitteisto- ja kemikaalitoimittajan ohjeita. Kappaleiden on pysyttävä kosteina koko esikäsittelyn ajan. Osaan kuivunut rasvanpoistoaine ei poistu enää muulla kuin mekaanisella puhdistuksella. Epäonnistunut kemiallinen esikäsittely pilaa koko kappaleen.

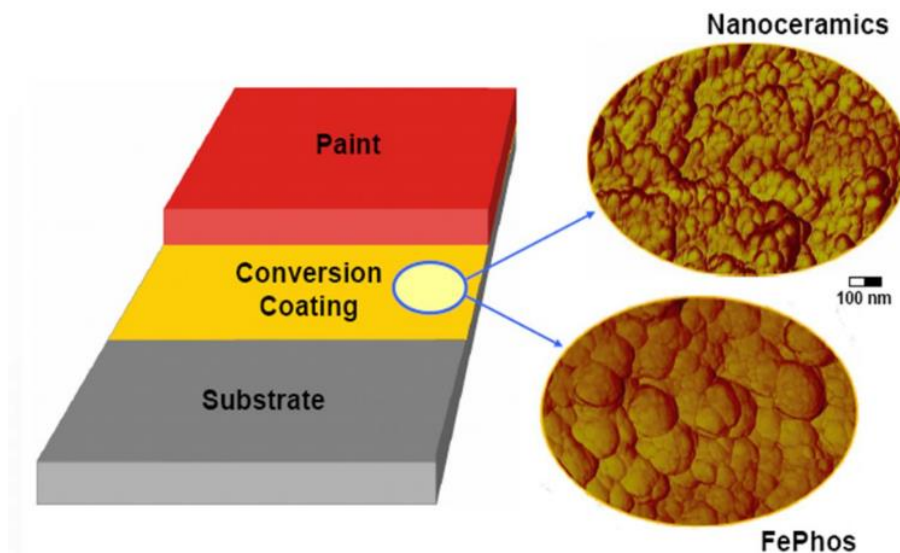
leen maalauksen, eikä sitä välttämättä havaitse heti pelkällä visuaalisella tarkastelulla. (Teknos 2019.) Alla esimerkki kuva testilevyistä, joissa esikäsittely on onnistunut ja epäonnistunut. Epäonnistuessaan tartunta maalattavaan pintaan pettää.



Kuva 4. Epäonnistunut ja onnistunut tartunta (Tarvainen 2018).

2.4 Konversiokäsittely

Pelkkä maalattavan pinnan pesu ei yleensä riitä esikäsittelyksi vaan pesun jälkeen seuraa yleensä aina konversiokäsittely. Konversiokäsittelyn tarkoituksena on antaa maalille hyvä pohja tartuntaan sekä lisätä osan korroosiokestävyyttä. Yleisimmin käytössä metalliosien maalauksessa on rauta- ja sinkkifosfatointi sekä uudet ohutkalvoteknologiaa ns. nanokeramiikkaa edustavat ympäristöystävällisemmät esikäsittelykemikaalit, jotka ovat fosfaattivapaita. (Jokinen ym. 2012, 42.) Alla kuvattuna suurennos syntyvästä tartuntapinnasta kappaleen pinnalle nanokeraamisella ja rautafosfatoinnilla.



Kuva 5. Suurennos syntyvästä tartuntapinnasta kemiallisessa esikäsittelyssä (Reli-comp 2020b).

Teknos Oy:n tuotekehitys on testannut uusia ympäristöystävällisempiä fosfaatti- ja kromivapaita esikäsittelykemikaaleja. Yleisesti puhutaan nanokeraamisesta tai ohutkalvoteknologiasta. Testaukset ovat perustuneet SFS-EN ISO 12944 standardiin ja ohutkalvoteknologialla saavutetaan jopa C5 rasitusluokitus. Rautafosfatoinnilla päästään rasitusluokkaan C3 ja sinkkifosfatoinnilla rasitusluokkaan C5. SFS-EN ISO 12944 standardin mukainen testi ei ota kantaa osan reunakorroosioon ja siksi C4-M ja korkeampiin luokituksiin suositellaan kaksikerrosjauhemaalaamista. (Teknos 2015, 6–7.)

2.5 Jauhemaalauslaitteisto

Jauhemaalaukseen tarvittava laitteisto on monimutkaisempi kuin perinteiseen märkemaalaukseen käytetty laitteisto. Jauhemaalauslaitteistoon sisältyy vähintäänkin seuraavat osakokonaisuudet: jauheen syöttö- ja ohjauslaitteisto, jauhepistooli, jauhemaalauskaappi ja kuljetin tai vaunut sekä uuni. Maalin talteenotto uudelleen kierätettäväksi vaatii laitteistolta myös talteenotto- ja seulontalaitteiston. Laitteet vaativat toimiakseen öljystä puhdasta paineilmaa. (Jokinen ym. 2012, 187.)

Jauhemaalauslaitteistoja on saatavilla manuaaliseen maalaamiseen sekä osittain tai kokonaan automatisoituun tarpeeseen. Suomessa yleisimmin käytetyt laitteistot

ovat Gema, Nordson ja Wagner. Yleisemmin käytössä osittaisessa automatisoinnissa ovat traverssit, joita on saatavilla asiakkaan tarpeen mukaisilla ohjausjärjestelmillä ja joihin voidaan liittää useita maalipistoolia. Myös jauhemaalain vaihto voidaan automatisoida laitteistoihin, jolloin järjestelmä osaa pyynnön saadessaan suorittaa itse automaattisen järjestelmän puhdistuksen. (Wagner [Viitattu 4.2.2020].)

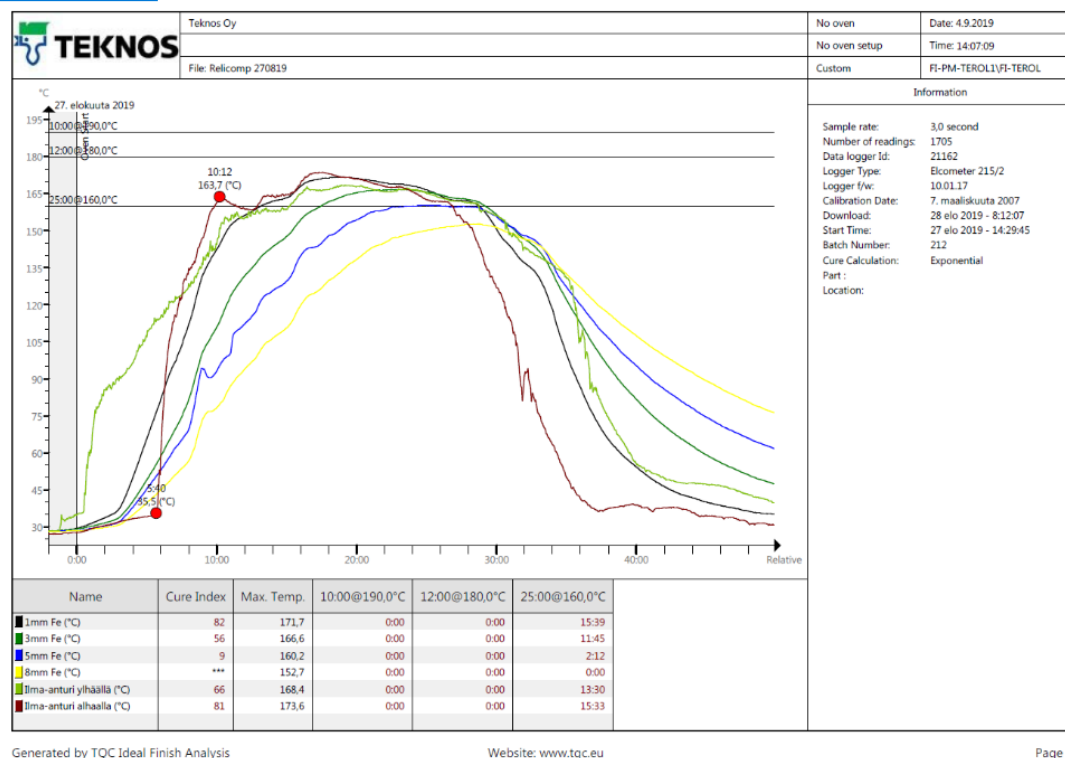
Maalausrobotit ovat kuitenkin yleistyneet enenevässä määrin, sillä maalaus- ja pintakäsittelytehtävät sopivat roboteille täydellisesti. Robottien ohjelmointi on kehittynyt niin, että niitä voidaan ohjata ilman erityisiä ohjelmointitaitoja ja niillä saavutetaan maalausprosessiin toistettavasti aina oikea maalimäärä oikeaan paikkaan optimoiden maalinkulutusta. Maalausrobotti eroaa teollisuusrobotista siinä, että se on valmistettu ja suunniteltu ATEX -tiloihin turvallisiksi. Nykyisin jo pienien sarjojen robotijauhemaalamiseen on olemassa helppoja ja kustannustehokkaita ohjelmointitapoja eikä robottijauhemaalamisen edellytyksenä ole enää suuret sarjakoot. (Yaskawa [Viitattu 4.2.2020].)

2.6 Verkkouttaminen

Jauhemaalain kaksikomponenttireaktio käynnistetään korotetussa lämpötilassa. Ensin maali sulaa, minkä jälkeen se ottaa tartunnan alustaan ja lopuksi verkkoutuu maalikalvoksi. Jauhemaalain verkkouttaminen voidaan tehdä panos- tai jatkuvatoimisessa uunissa ja uuni voi olla konvektioilma-tyyppinen ja ilman lämmitys toimii sähköllä tai kaasulla. Kappaleiden lämmitystä voidaan tehostaa tai jauhemaalain verkkouttaminen voidaan tehdä kokonaan tai osittain infrapunatoimisilla (IR) säteilijöillä. (Teknos 2019.)

Jauhemaalien valmistajat ovat antaneet maaleille maalikohtaiset verkkouttamisohjeet, joissa määritellään kappaleelle vaadittu lämpötila ja aika. Toinen maali voi tarvita huomattavasti vähemmän aikaa tai lämpötilaa kuin toinen maali. Materiaalivahvuus vaikuttaa myös verkkouttamiseen, sillä verkkoutuminen käynnistyy vasta kun maalattu materiaali saavuttaa vaaditun lämpötilan. (Jokinen ym. 2012, 207–209.)

Verkkoutuminen on hyvin prosessikohtainen sillä myös uunin lämmön tasaisuudella ja todellisella lämpötilalla on suuri vaikutus ja sitä pitää aina arvioida maalausprosessikohtaisesti ajamalla uunista verkkouttamisen lämpökäyriä. Lämpökäyrien ajojen aikana on tärkeää tietää järjestelmän ilmoittama uunin lämpötila ja ratanopeus. (Jokinen ym. 2012, 211.) Alla olevassa kuvassa esitettynä esimerkki lämpökäyrän ajosta.



Kuva 6. Lämpökäyrä (Relicomp 2020b).

Uuni voi olla konvektioilma-tyyppinen ja ilman lämmitys voi olla joko sähköllä tai kaasulla. Yleisimmin teollisuudessa käytössä ovat nestekaasulla lämpenevät panos- tai jatkuvatoimiset uunit.

Kappaleiden lämmitystä voidaan tehostaa tai jauhemaalain verkkouttaminen voidaan suorittaa joko kokonaan tai osittain infrapunatoimimisilla säteilijöillä, jotka voivat olla joko sähkö- tai kaasu käyttöisiä. IR-tekniikkaa on jo Euroopassa käytössä niissä jauhemaalalausprosesseissa, jotka on suunniteltu kaksikerrosjauhemaalaukseen. (Hedson [Viitattu 4.2.2020]; Jokinen ym. 2012, 209–210.) Jopa induktiolämmitystä

voidaan käyttää kappaleiden esilämmitykseen ja/tai jauhemaalain verkkouttamiseen kokonaan. (Teknos 2019.)

2.7 Maalauksen kestävyys ja ilmastorasitusluokat jauhemaalauksessa

Maalauksen kestävyysluokat määritellään standardissa SFS-EN ISO 12944 osassa

1. Kestävyysluokat on jaettu kolmeen eri luokkaan:

2–5 vuotta	L (low) – alhainen
5–15 vuotta	M (medium) – kohtalainen
yli 15 vuotta	H (high) – korkea

Kestävyysluokka ei ole kuitenkaan sama kuin ”takuu aika”. Takuu aika on yleensä lyhyempi kuin kestävyysluokajakso. Kestävyysluokalla tarkoitetaan maalauksen oletettua kestoikää ennen huoltomaalauksen tekoa, joka auttaa mahdollisten huoltomaalauksuunnitelmien teossa. (Teknos 2015, 11–12.)

Kun kuvataan tuotteen kohteessa vallitsevia olosuhteita, käytetään standardin SFS-EN ISO 12944 osaa 2, jossa ympäristöolosuhteet on jaettu metallin korroosioon vaikuttavien tekijöiden perusteella rasitusluokkiin C1-C5. Luokittelu perustuu ensimmäisenä vuonna tapahtuvaan teräksen ja sinkin syöpymisnopeuteen. Ilman epäpuhtauksien mukaan ilmasto voidaan luokitella maaseutu-, kaupunki-, meri- tai teollisuusilmastoon. Näiden lisäksi on olemassa myös erikoisrasituksia, jotka voivat olla esimerkiksi syövyttävät kaasut. Ympäristön rasitusluokkaa määritettäessä otetaan erityisesti huomioon kohteen välittömässä läheisyydessä korroosioon vaikuttavat tekijät. Lähiympäristöllä (mikroilmastolla) on korroosioneston kannalta oleellisempaa kuin paikkakunnan ilmastolla (makroilmastolla). Standardi luokittelee ilmastorasitusluokat kuuteen eri ryhmään:

C1 hyvin lievä. Sisällä: lämmitetyt rakennukset, puhdasilma.

C2 lievä. Ulkona: Maaseutuilmasto. Sisällä lämmitettävät rakennukset.

C3 kohtalainen. Ulkona: Kaupunki- ja teollisuusilmasto. Sisällä: Tuotantotilat, korkea kosteus.

C4 ankara. Ulkona: Tehdas- ja merenrannikkoalueet. Sisällä: Kemian teollisuuden tuotantolaitokset.

C5-I erittäin ankara. Ulkona: Teollisuusalue, syövyttävää ja kosteaa (teollisuus). Sisällä: Jatkuvaa kondensoitumista, saasteita.

C5-M erittäin ankara (meri). Ulkona: Rannikkoalueet, korkea suolapitoisuus (meri). Sisällä: Jatkuvaa kondensoitumista, saasteita. (Teknos 2015, 12,30.)

Jauhemaalivalmistajien sivuilta pystyy kestävyysluokan ja rasisluokkien perusteella etsimään oikean jauhemaalajärjestelmän tuotteille. Ohjeissa opastetaan oikeaan esikäsittelyyn, maalin valintaan sekä oikeaan maalikalvonvahvuuteen. (Teknos [Viitattu 5.2.2020].)

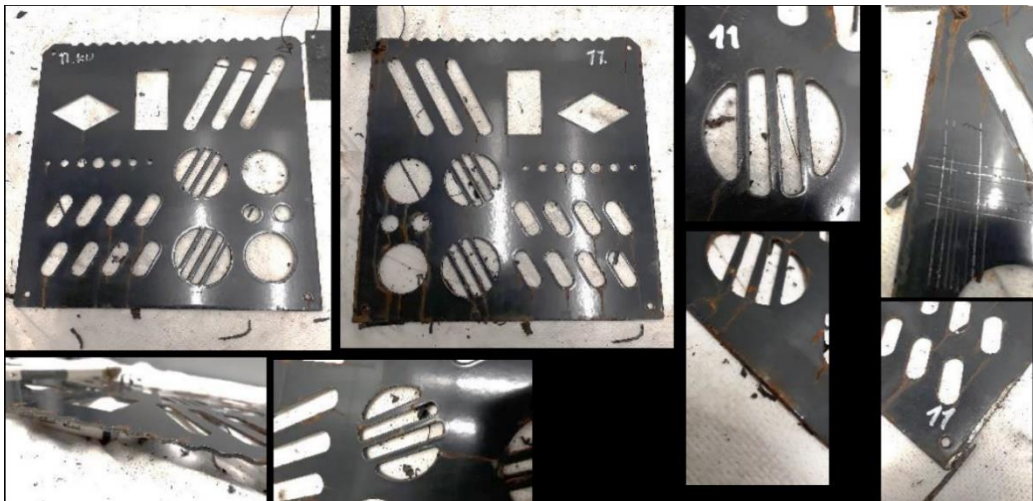
2.8 Terästyöaste

Jauhemaalauksella luodaan kappaleelle haluttu visuaalinen ulkonäkö sekä korroosiosuojaus. Jauhemaalauksella ei kuitenkaan pystytä korjaamaan karkeita metallityössä tehtyjä virheitä tai jo edennyttä korroosiota. Jauhemaalattava rakenne on viimeisteltävä ennen kuin se voidaan maalata. Maalattavat pinnat tehdään mahdollisimman sileiksi eikä pinnoilla saa olla pistesyöpymiä, ruostetta, reunajäystettä, huokosia tai teräviä reunoja. Terävissä reunoissa pinnoitepaksuus jää liian ohueksi ja reunat ovat alttiita vaurioille. Myös epätasaisuuksien kohdalla maalikalvo jää liian ohueksi, eikä anna riittävää suojaa. Jauhemaal ei peitä mitään visuaalisia virheitä kappaleissa vaan ennemminkin näyttää pienetkin virheet selkeämmin. (Teknos 2019.)

Puutteellisella terästyöasteella ei saavuteta jauhemaalauksella saavutettua korroosiosuojasta tai visuaalista ulkonäköä. On siis erittäin tärkeää, että myös metallintyöstöä tekevät työntekijät tuntevat osien terästyöastevaatimukset. Normaaleissa jauhemaalauksen esikäsittelyissä kappaleista ei poistu hitsausroiskeet, tussimerkin-

nät, leikkauskuonat, kiinnipalanut hiontapöly tai noki, jotkut leikkausnesteet tai hitsaussprayt, ruoste tai hapettumat eikä valssaus- tai karkaisuhilse, eikä teipeistä jäävät liimat. (Teknos 2019.)

Terävien reunojen pyöristämisen merkitys pintakäsittelyn korroosionsuojaan on suuri, sillä riittävän maalikalvon kerryttäminen metallituotteiden teräviin leikkuupintoihin ja rakenteellisesti ongelmallisiin kohtiin on haaste jauhemaalauksessa. Maalin verkkouttaminen kiristää maalikalvoa ja se vetäytyy teräviltä reunoilta ja kohdista, joissa tartunta alustaan on heikko. Liian ohut maalikalvo mahdollistaa kosteuden pääsemisen materiaaliin ja täten korroosion etenemisen. (Teknos 2019.) Alla kuva testilevyistä, jotka ovat olleet 314 tuntia suolasumukaapissa, joka vastaa C3-M ilmastorasitusluokan testiä.



Kuva 7. Terävän reunan vaikutus korroosiokestävyyteen (Tarvainen 2019).

Testistä voi selkeästi nähdä, että korroosio lähtee etenemään ensimmäisenä leikatuista reunoista sekä maalin kutistumisen takia reunalla olevasta liian ohuesta maalikalvosta.

Terästyöasteiden määrittämisessä käytetään yleisimmin standardia SFS-EN ISO 8501 osaa 3. Standardissa esitettyjen esikäsittelyasteiden tarkoitus on saada virheelliset teräspinnat, mukaan lukien hitsit ja muokatut pinnat, sopiviksi maaleilla ja vastaavilla tuotteilla pinnoittamista varten. Toinen käytetty terästyöastestandardi on SFS-EN ISO 8145 Korroosionestomaalaus, joka käsittelee suihkupuuhdistettujen ja konepajapohjamaalilla käsiteltyjen teräspintojen mekaanisten esikäsittelyjen laa-

tuasteet. (SFS-EN ISO 8501-3; SFS 8145.) Terästyöastevaatimukset tulisi aina näkyä nimenomaan valmistuksen kuvissa, jotta vaatimuksien täyttäminen pystyttäisiin arvioimaan jo osan tarjousvaiheessa. Samalla tuotanto saa riittävät tiedot lopputuotteen vaatimuksista ja pystyy tekemään tuotteille niiden vaatiman viimeistelyn.

Matalalla esikäsittelyasteella esimerkiksi SFS-EN ISO 8501-3 P1 terästyöasteella ei lopputuotteelle saada kuin korkeintaan C2 ilmastonrasitusluokka. Mitä korkeammat ilmastonrasitusvaatimukset lopputuotteella on, sitä vaativampi on terästyöastevaatimus. (SFS-EN ISO 8501-3.)

2.9 Jauhemaalauksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät

Jauhemaalauks on osa tuotteen valmistuksen kokonaisuutta. Onnistunut kokonaisuus saavutetaan, kun eri valmistusvaiheiden henkilöstö ymmärtää tuotteen laatuvaatimukset. Hyvällä rakenteiden ja maalausjärjestelmän suunnittelulla, metallityön laadulla, oikealla esikäsittelyllä ja jauhemaalauksella saadaan tuotteille haluttu visuaalinen ulkonäkö ja korroosiota kestävä pinnoite pitkäksi aikaa. Kansainvälinen korroosionestomaalausstandardi SFS-EN ISO 12944 sisältää seuraavat osat:

Osa 1 Yleistä. Siinä esitetään muutamia perustermejä ja määritelmiä sekä yleinen johdanto muihin standardiosan osiin.

Osa 2 Ympäristöolosuhteiden luokittelu

Osa 3 Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia

Osa 4 Pintatyypit ja pinnan esikäsittely

Osa 5 Suojamaaliyhdistelmät

Osa 6 Laboratoriomenetelmät suorituskyvyn testaamiseksi

Osa 7 Maalaustyön toteutus ja valvonta

Osa 8 Erittelyiden laatiminen uudisrakenteille ja huoltomaalaukseen. (Teknos 2013, 11; Teknos 2019.)

Jauhemaalauksessa lopputuotteen laatuun vaikuttavat useat tekijät. Maalauksen onnistuminen edellyttää oikein suunniteltua maalausjärjestelmää, ammattitaitoista ja motivoitunutta henkilöstöä ja sitä, että työn kaikki vaiheet, tarkastukset ja dokumentoinnit suoritetaan ohjeiden mukaisesti. Lisäksi tuotesuunnittelussa tulisi ottaa huomioon tuotteen rakenne niin, että jauhemaali voidaan ruiskuttaa joka paikkaan, esikäsittely on mahdollista toteuttaa siten, että pesuvesi ei jää esikäsittelylinjalla kappaleiden sisään. (Teknos 2019.)

2.10 Laadunvarmistus ja -menetelmät

Jauhemaalauksella on kokonaisuudessaan prosessi, jossa laatua ei voida arvioida pelkästään lopputarkastuksen eli maalikalvon visuaalisen arvioinnin perusteella. Siksi jauhemaalauksessa tehtäessä on jatkuvasti ohjattava ja valvottava kaikkia niitä tekijöitä, joilla on vaikutusta lopputulokseen. Standardissa SFS-EN ISO 12944 osassa 7 käsitellään maalaustyön toteutusta ja valvontaa. (Teknos 2013, 46; Teknos 2019.)

Ennen maalaustyön aloitusta ripustaja tarkistaa visuaalisesti, että osa täyttää sille asetetut terästyöastevaatimukset. Prosessia on valvottava hallitusti niin, että osien esikäsittely, maalaus sekä verkkouttaminen tapahtuvat kunkin prosessin ohjeiden mukaisesti. Lopuksi, kun osa on jäähtynyt pakkaajat tarkistavat osat visuaalisesti sekä tekemällä tarkastussuunnitelman mukaiset testaukset ja mittaukset osille. (Teknos 2019.)

Tarkastussuunnitelma on maalaamokohtainen ja maalaamoissa voi olla jopa tuotekohtaisia tarkastussuunnitelmia. Laadunhallinnan kannalta on oleellista, että jauhemaalaukselle on olemassa tarkastussuunnitelmat, jolla voidaan varmistaa onnistunut lopputulos, toimiva prosessi ja asiakasvaatimusten täyttyminen. (Teknos 2013, 46.)

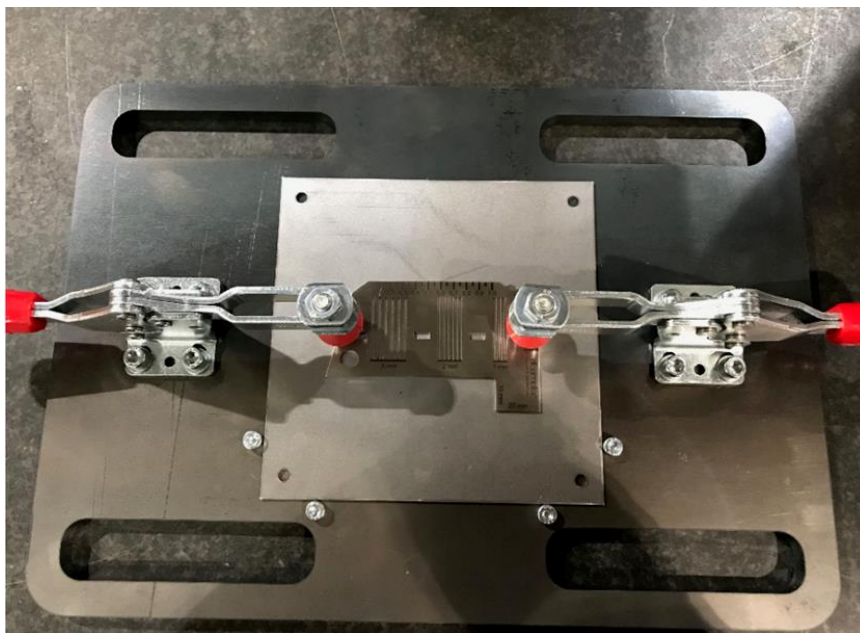
Jauhemaalamoissa yleisemmin käytetyt laadunvalvontamenetelmät ovat kalvonpaksuuden sekä kiillon mittaaminen kalibroinnin piirissä olevilla kalvonvahvuus- ja kiiltomittareilla. Esimerkkikuvia mittareista alla.



Kuva 8. Kalvonvahvuus- ja kiiltomittari (Elcometer [Viitattu 5.2.2020]).

Tarkastukset ja mittaukset varmistavat asiakasvaatimusten täyttymisen mutta kertovat myös prosessissa tapahtuvista muutoksista.

Jauhemaalauksen tartuntaa voidaan arvioida hilaristikkokokeella SFS-EN ISO 2409, joka määrittelee hilaristikkotestauksen. Se on nopea ja varma tapa testata maalin tartuntaa alustaan. Sitä voidaan käyttää alle 250 μm kalvonpaksuuksilla. Tärkeää tulosten tarkastelussa on huomioida, että viillot ovat tehneet ristikon maalin läpi metallin pintaan saakka. Ristikot voidaan tehdä ristikkoviiltoleikkurilla tai matto-
puukolla hilaristikkolevyä apuna käyttäen, josta kuva alla. (SFS-EN ISO 2409.)



Kuva 9. Hilaristikkolevyn testausalusta (Relicomp 2020b).

Viiltojen teon jälkeen ristikkoo harjataan kevyesti laitepakkauksessa olevalla harjalla, jonka jälkeen lasketaan kokonaan tai osittain irronneiden ruutujen määrä. Tulos on hyvä, jos kiinni jääneitä ruutuja on yli 95 %. (SFS-EN ISO 2409.)

Toinen tapa arvioida maalin tartuntaa alustaan on vetonuppikoe. Vetonuppikokeen menetelmä on kuvattu standardissa SFS-EN ISO 4624. Palvelua saa jauhemaalija kemikaalitoimittajilta sekä tarkastuslaitoksilta. Vetolujuustesterin voi ostaa myös itselle, mutta laitteet ovat melko arvokkaita. (SFS-EN ISO 4624.)

Taivutustesti testaa aliverkkoutumisen, maalin tai esikäsittelyn ongelmia. Taivutustestistä on olemassa standardi SFS-EN ISO 1519 ja SFS-EN ISO 6860, mutta käytännön tuotannossa voidaan testi tehdä esimerkiksi särmäämällä hilaristikkopalasta 1 nurkka 90°kulmaan ja mikäli maalipinta kestää muovauksen, ei verkkoutumisessa, maalissa tai esikäsittelyssä ole ollut ongelmia. Tätä tulee kuitenkin arvioida aina prosessi- ja maalausjärjestelmäkohtaisesti. (Teknos 2019.)

Uuninlämpötilamittarilla voidaan seurata oikeaa verkkouttamislämpötilaa. Maalien toimittajat mittaavat lämpötilaa uunilämpökäyrillä, mutta on tärkeä seurata myös itse lämpötilaa edes suuntaa antavasti.

Jauhemaalikalvon visuaalinen arviointi on prosessin tärkein yksittäinen tehtävä, koska sillä arvioidaan kokonaisuuden onnistuminen tuotteelle. Tämä on yksi keino viestiä maalausprosessin vaiheisiin laatuvaatimusten täyttymisestä ja toimivasta prosessista. Mikäli tuotteissa havaitaan poikkeamia, kuten esimerkiksi väärää maalikalvonvahvuutta tai kiiltoa, on prosessin alkupään reagoitava virheen syyn etsintään välittömästi. Visuaalisessa arvioinnissa on tarkastuspisteellä oltava riittävä valaistus. Yleisesti hyväksytty riittävä valaistusvoimakkuus on 750–1000 lux. (Teknos 2019.)

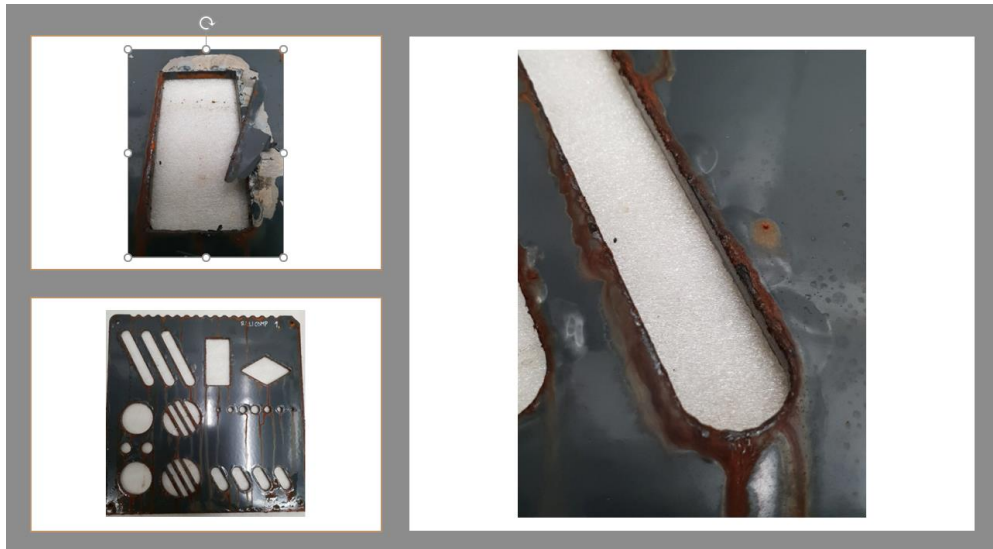
Uusien maalausjärjestelmien kelpoisuuden arvioimisessa käytetään standardin SFS-EN ISO 12944 osaa 6. Maalausjärjestelmän soveltuvuutta arvioidaan laboratoriossa käyttäen veden kondensaatiotestiä (SFS-EN ISO 6270), neutraalia suola-sumutestiä (SFS-EN ISO 9227) sekä vesi- ja kemikaalinkestävyydestä (SFS-EN ISO 2812-1 ja -2). Paras menetelmä uusien maalien ja maalausjärjestelmien käytönotossa on kuitenkin testaus käytännön olosuhteissa. (Teknos 2015, 13.)

Suolasumutestausta on hyvä tehdä myös jauhemaalauksen prosessin toiminnan varmistamiseksi. Testausta tekevät jauhemaalali- ja kemikaalitoimittajat asiakkailleen tai palvelun voi ostaa tarkastuslaitoksilta. Alla kuva standardin SFS-EN ISO 12944-6 menetelmän mukaisesti tehdystä neutraalista suolasumutestauksesta (SFS-EN ISO 9227) 480 tuntia. Kuvan testilevy täyttää testin jälkeen C4-M luokan rasitusvaatimukset.



Kuva 10. Standardin ISO 12944-6 mukainen C4-M hyväksytty testilevy (Lahti 2019).

Näiden lisäksi asiakkaat voivat testata maalauksen laatua omin testein esimerkiksi laittamalla johonkin tiettyyn koneeseen maailmalle osan, jonka kiiltoa, haalistumista tai korroosiota arvioidaan tietyn ajan kuluttua visuaalisesti. Maalauksen UV-kestävyyttä pystytään nykyisin testaamaan omilla laitteistoilla. Alla esimerkkikuva asiakkaan tekemästä neutraalista suolasumutestauksesta omalle testilevyilleen. Testilevyt on tehty kemiallisella esikäsitteilyllä ja yhden kerroksen jauhemaalauksella. Kuvassa 11. levy ollut kaapissa 480 tuntia ja kuvassa 12. 320 tuntia. 480 tunnin testaus vastaa C4-M luokituksen ilmastorasitusta ja 320 tunnin testaus C3-M luokan rasitusta. Testeissä on keskitytty reunakorroosion etenemisen tutkintaan.



Kuva 11. Asiakaan oma testilevy 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).

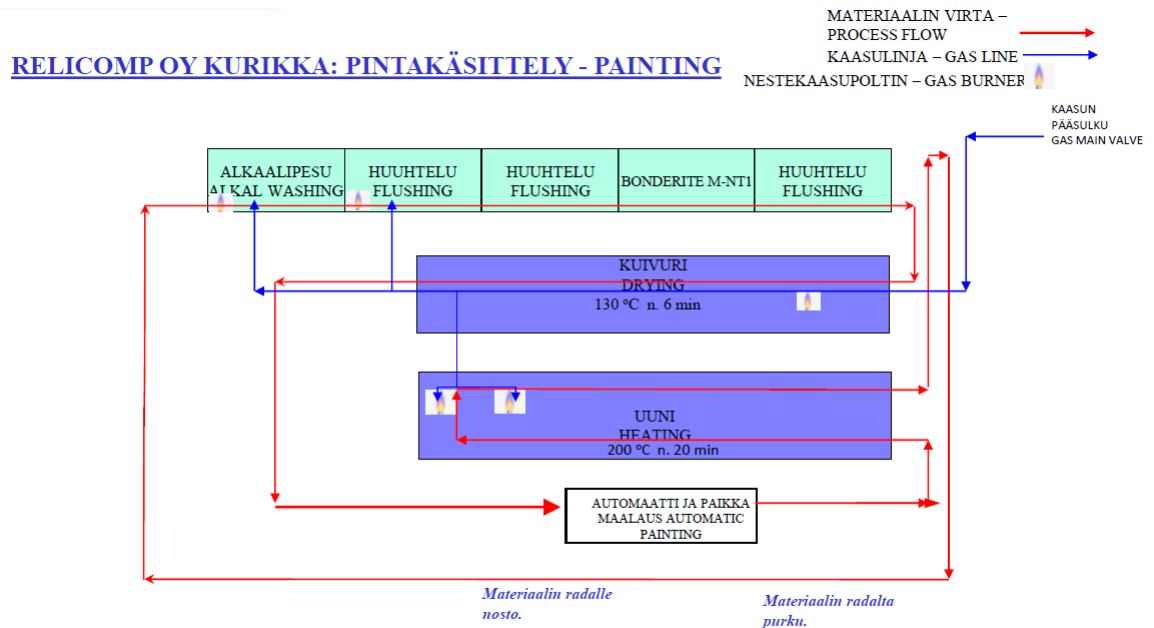


Kuva 12. Asiakkaan oma testilevy 320 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).

Asiakaspalautteiden merkitys on ensiarvoisen tärkeää, kun arvioidaan maalausjärjestelmän riittävyttä ja jauhemaalausprosessin laaduntuottokykyä sekä asiakasvaatimusten täyttymistä. (Teknos 2019.)

3. PROSESSIN NYKYTILA

Relicompin jauhemaalaamossa on jatkuvatoiminen rata, jonka pituus on 275 metriä. Osien verkkouttaminen suoritetaan nestekaasulla toimivalla uunilla. Alla kuva maalaamon linjan layoutista.

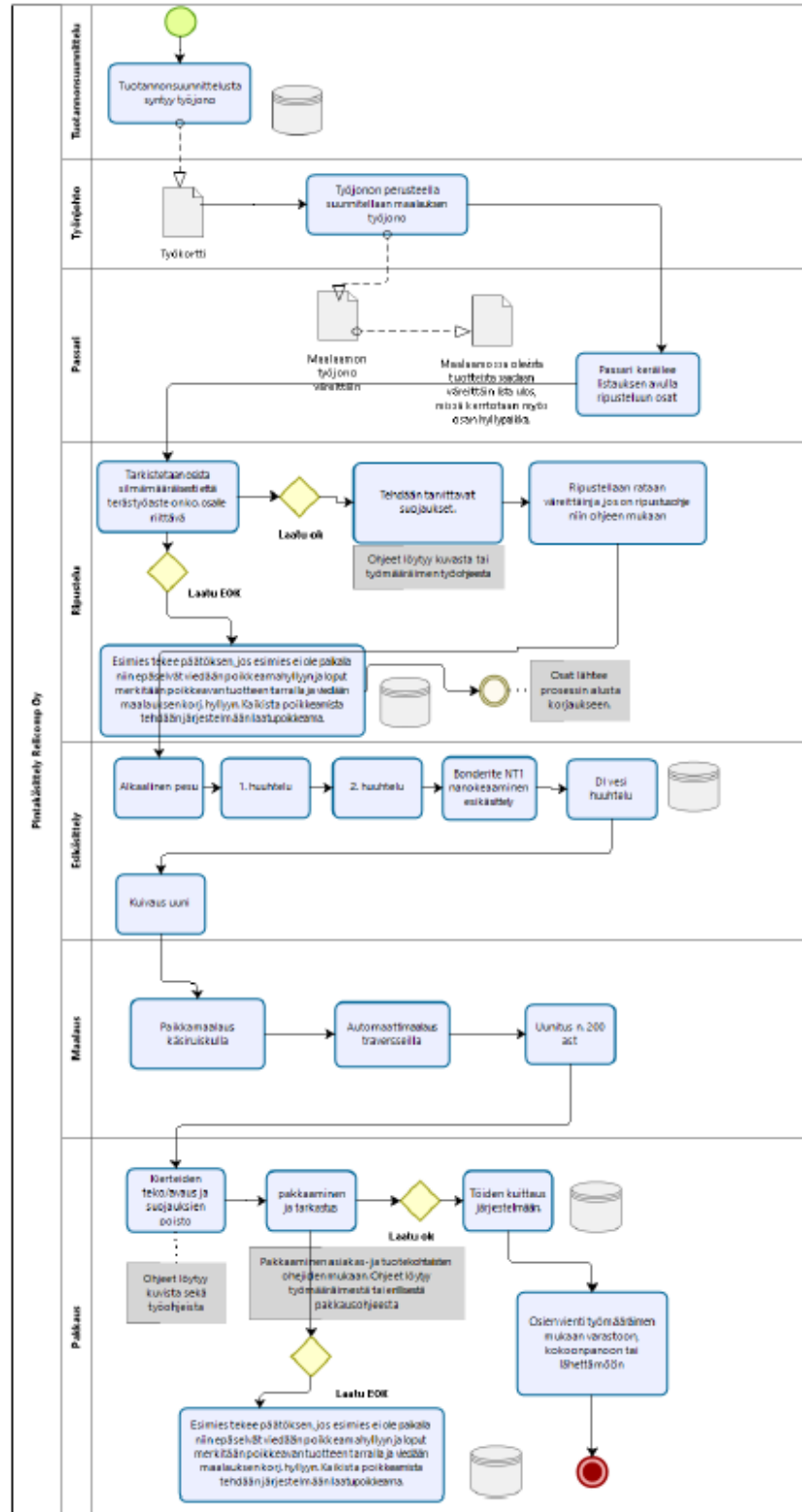


Kuva 13. Maalaamon layout (Relicomp 2020b).

Esikäsitteilynä on 5-vaiheinen kemiallinen esikäsitteily, jossa on alkaalinen rasvanpoisto ja konversiokäsittelynä Bonderite M-NT1. Viimeinen huuhtelu on toteutettu ionivaihdetulla vedellä. Osia ei pääsääntöisesti raepuhalleta vaan riittävällä terästyöasteella, kemiallisella esikäsitteilyllä ja oikealla maalausjärjestelmällä päästään SFS-EN ISO 12944-6 standardin mukaisesti testattuna C4-M rasisusluokkaan.

Maalaamossa on tuhansia aktiivisia maalausnimikkeitä, joita maalataan n. 30 eri maalilla ja sävyllä. Viikoittain toistuvat päänimikkeet maalataan kuitenkin vain noin 10 eri maalilla. Kaksikerrosjauhemaalausta on toteutettu jo nykyisessä prosessissa, kun jauhemalin päälle on maalattu jauhelakkakerros. Osat ja määrät ovat olleet kuitenkin niin pieniä, että kaksikerrosjauhemaalaus on pystytty toteuttamaan nykyiselläkin linjalla hyvällä suunnittelulla.

Koko prosessin kesto osan ripustamisesta jäähtyneeksi pakattavaksi osaksi kestää normaalina päivänä n. 4 h, mutta kesto riippuu paljon maalattavien kappaleiden koosta, muodoista ja määrästä sekä siitä, miten pystytään ajamaan maalattavaa tavaraa samoilla väreillä.



Kuva 14. Pintakäsittelyn prosessikuvaus (Relicomp 2020b).

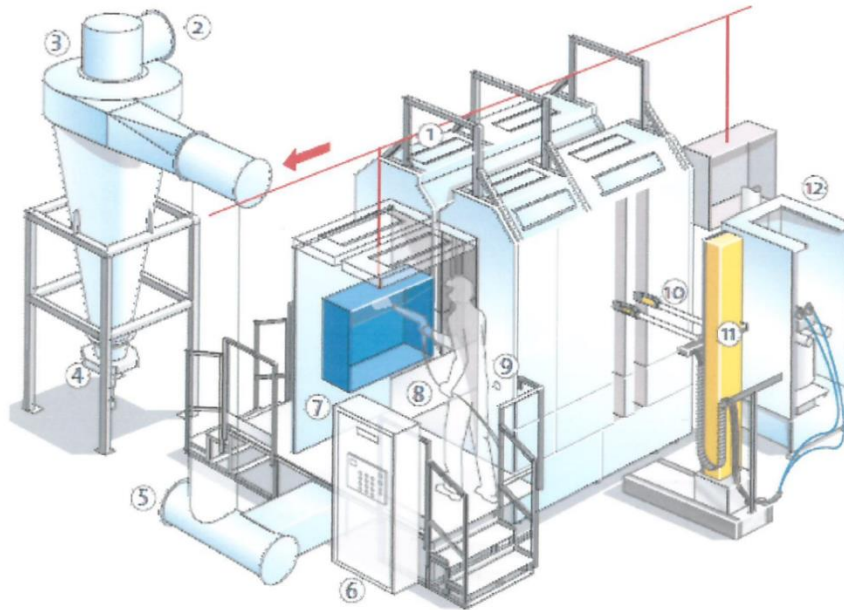
3.1 Osien ripustaminen ja maalaussuojien asentaminen

Ennen osien ripustamista radalle niihin asennetaan tarvittavat maalaussuojat. Maalaussuojan tarkoitus on suojata kappaleesta jokin haluttu kohta maalilta, joka yleisemmin on joko kierre tai koneistettu pinta. Ripustajat arvioivat maalaussuojien ja osien ripustuksen yhteydessä osien terästyöastetta eli sitä, että täyttääkö terästyöaste sille asetetut vaatimukset. Mikäli kappaleessa ei havaita poikkeamaa, osa jatkaa matkaansa maalausradalle. Ellei osa täytä vaatimuksia, kirjataan siitä laatu-poikkeama ja osa palautetaan edelliseen työvaiheeseen korjattavaksi.

Joillekin osille on olemassa ripustusohjeet, mutta yleensä ripustajat ripustavat osat radalle parhaaksi oppimallaan tavalla. Osan ripustuksessa on tärkeintä, ettei osaan jää nurkkia tai kourua, josta pesuvesi ei pääse pois ja näin esikäsittely ei onnistuisi kappaleelle kaikilta osin. Ripustuksessa on myös tärkeää täyttää rata tehokkaasti, jotta maalausala saadaan hyvin käyttöön. Osat eivät saa kuitenkaan osua toisiinsa. Kun osat ripustetaan tiheästi, tulee maalihukkaa vähemmän ja maadoitus on osissa tasaisempi. Tulevaisuudessa osien ripustusohjeita lisätään, sillä toimet osien automaattijauhemaalaamisesta etenevät ja ripustusohjeet auttavat tulevaisuudessa jauhemaalausprosessin kehittämistä.

3.2 Jauhemaalaus

Relicompilla on Wagnerin jauhemaalauskaappi, traverssit ja käsijauhemaalauslaitteet. Traversseja on 2 kpl, joissa jauhemaalauspistooleja on 6 kpl/traverssi. Jauhemaalausyksikössä on automaattinen puhdistustoiminto, joka mahdollistaa nopeat värinvaihdot. Traverssit eivät pääse muotojen kulmiin ja rakenteiden hankaliin paikkoihin. Molemmilla puolilla traverssimaalausta on paikkamaalauspaikat, joissa kappaleisiin on mahdollista tehdä käsimaalauksella tarvittavat paikkamaalaukset.



Kuva 15. Yleiskuva maalauskaapista (Relicomp 2020b).



Kuva 16. Relicompin maalaamosta (Relicomp 2020b).



Kuva 17. Relicompin maalaamosta (Relicomp 2020b).



Kuva 18. Relicompin maalaamosta (Relicomp 2020b).

3.2.1 Jauhemaalain kierrätys

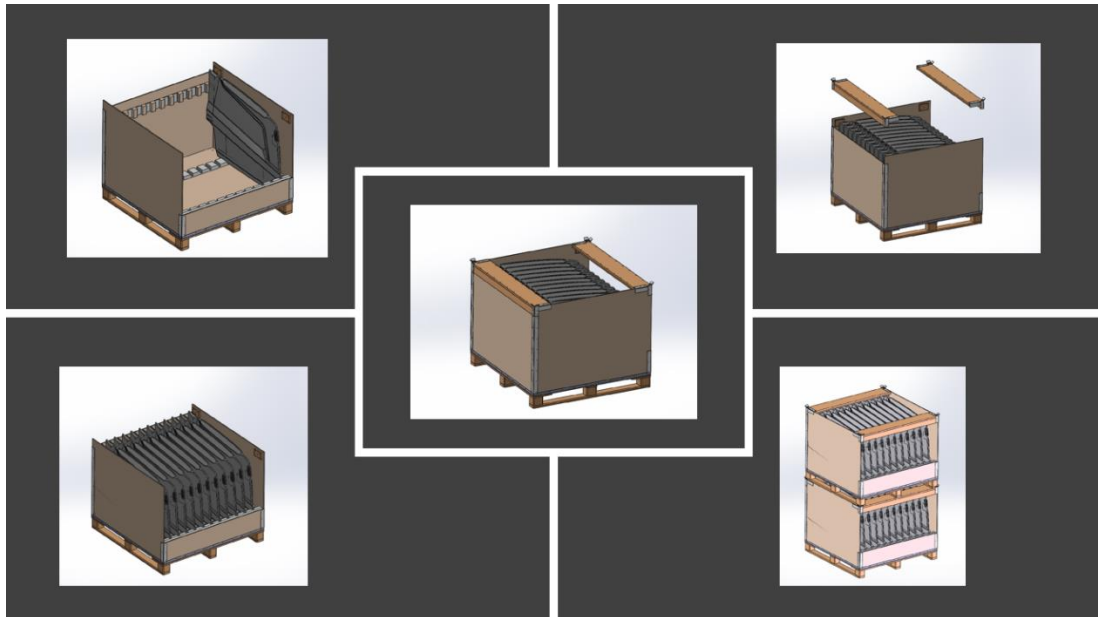
Jauhemaalaus on sähköstatiikan ansiosta tehokasta ja ruiskutuksen hyötysuhde on korkea, jopa 80–90 % maalista jää kappaleisiin. Ohimennyt jauhemaalai otetaan talteen ja siihen mahdollisesti kertynyt lika ja epäpuhtaus poistetaan seulomalla. Tämän jälkeen jauhemaalai voidaan ruiskuttaa uudelleen ja lopullinen käyttösuhte voi olla jopa 90–95 %. (Teknos 2019.)

Nykyisin Relicompilla kierrätetään jo noin 80 % kaikista maaleista. Vain erikoisherikat värit, kuten lakka tai valkoinen maali, jätetään kierrättämättä. Kierrättämisen perusedellytyksenä on maalaamon siisteys, koska kierrätettävä jauhe ei saa sisältää epäpuhtauksia tai toisen maalin jäämiä, jotka pilaisivat maalauksen.

3.2.2 Osien purku, oheistyöt ja pakkaus

Maalausprosessin viimeinen vaihe on osien purku radalta. Tässä vaiheessa osat tarkistetaan visuaalisesti ja niille tehdään maalikalvonvahvuus ja -kiilto mittaukset sekä mahdolliset suojauksien poistot ja kierteiden avaamiset. Asiakkaiden maalausohjeissa määritellään maalipinnan tarkastukselle vaadittu valaistusvoimakkuus, joka on 750–1000 lux. Linjan pakkaamon päässä mitattiin valaistusvoimakkuudet ja niiden todettiin olevan 950–1100 lux.

Viimeisenä osat pakataan toimitettavaksi joko suoraan asiakkaalle tai oman kokonpanon tarpeisiin. Osien pakkaamisessa on tärkeää suojata osat mahdollisimman hyvin, että osat eivät pääse naarmuuntumaan siirtojen ja kuljetuksien aikana, koska jauhemaalipinta saavuttaa lopullisen kovuutensa vasta noin viikon päästä maalauksesta. Pääasiakkaiden osille on olemassa myös kuljetuslaatikoita, jotka on suunniteltu nimenomaan tiettyjen visuaalisesti kriittisten osien käyttöön. Kuljetuslaatikoiden sisällä on osalle tarvittavat suojat, joilla varmistetaan, etteivät osat vaurioidu kuljetuksien ja siirtojen aikana. Kuljetuslaatikot on suunniteltu pääosin niin, että ne ovat kasaan taitettavia, jolloin säästetään rahtikustannuksissa kuljetuslaatikoita palautettaessa. Alla esimerkkikuva kuljetuslaatikosta.

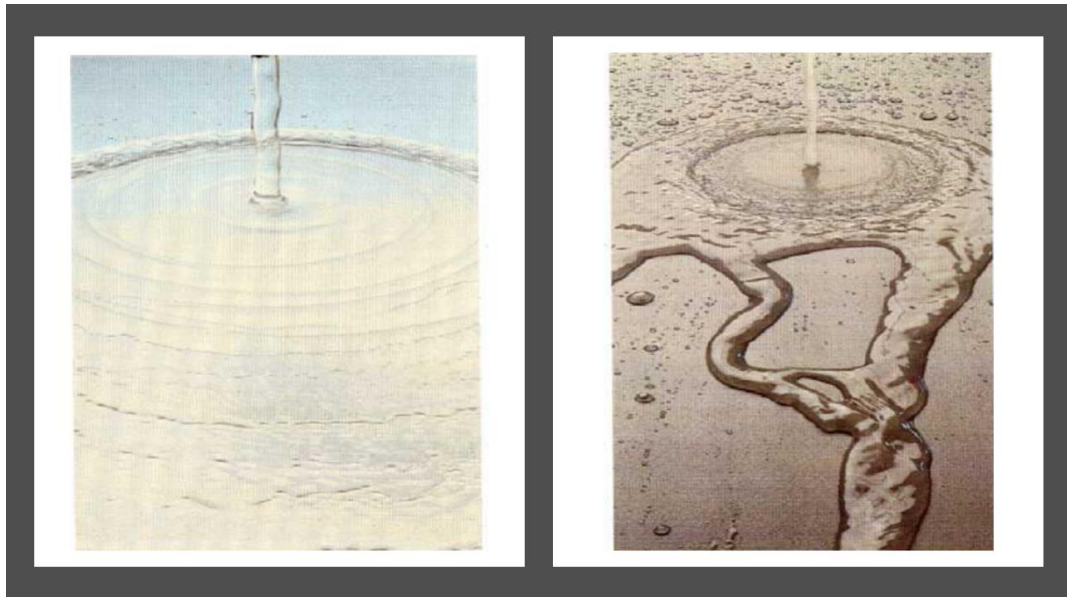


Kuva 19. Osien kuljetuslaatikko (Relicomp 2020b).

3.3 Laadunvarmistus ja -menetelmät

Relicompin pintakäsittelyn laadunvarmistus ja -menetelmät tulevat pääsääntöisesti asiakaskohtaisista pintakäsittelyohjeista ja luvuissa 2.9 sekä 2.10 avatuista asioista. Koko henkilöstölle koulutettiin pintakäsittelyprosessiin vaikuttavien asioiden tärkeys kuin myös terästyöastevaatimukset. Tuotannolle on tehty erillinen työohje, jossa on kuvattuna pintaluokittain vaatimukset (Työohje terästyöaste- ja pintakäsittelyvaatimukset tuotannolle, liite 1).

Esikäsittely on prosessin tärkein vaihe. Esikäsittelyn kuntoa arvioidaan visuaalisesti, titraamalla sekä mittaamalla pH ja/tai johtokykyä. Kylpyjen puhtautta seurataan visuaalisesti ja tuotteen kastuvuutta arvioidaan rasvanpoiston jälkeen.



Kuva 20. Kastuvuus rasvanpoiston jälkeen (Relicomp 2020b).

Vasemmassa kuvassa vesifilmi on ehjä ja rasvanpoisto kappaleesta on onnistunut. Oikeassa kuvassa vesifilmi ei ole ehjä ja silloin rasvanpoisto ei ole onnistunut. Visuaalisesti pesuja voidaan arvioida myös pyyhkimällä kappaleita valkoisella liinalla, jolloin kappaleista ei saa irrota liinaan epäpuhtauksia.



Kuva 21. Pyyhkiminen valkoisella liinalla (Relicomp 2020b).

Esikäsittelyjen jokainen vaihe varmistetaan päivittäin titraamalla ja tuloksista pidetään pöytäkirjaa. Päivittäiset tulokset kirjataan myös visuaaliseen seurantatauluun, josta on helposti todettavissa esikäsittelyn kunto. Tulokset kertovat myös, milloin kylvyt alkavat olla vaihtokuntoisia.

MAALAAMO
Kunnossapito ja esikäsitteily



Päivitetty:

Viikko:

	Ohje	Huoltomenetelmä	Työtyyppi	Huoltotyyppi	Ed. huolto	Seuraava huolto	ma	ti	ke	to	pe	Vapaa	Esikäsitteily	raja-arvo	maanantai	tiistai	keskiviikko	torstai	perjantai
Esikäsitteily	1.0	Tarkista puhdistus laite ja välineet	Maalaa	Uusi									1. Rasvanpoisto						
	1.1	Isuuttaminen tarkistus, suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Ph	11					
	1.2	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Vapaa alk.	8-15					
	1.3	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Kok. alk.	max. 35					
	1.4	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									2. Huuhtelu						
	1.5	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Ph	8-10					
	1.6	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Johtokyky	< 2000 µS/cm					
	1.7	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									3. Huuhtelu						
	1.8	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Ph	7-10					
	1.9	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Johtokyky	< 200 µS/cm					
	2.0	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									4. Nanokeramiikka						
	2.1	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Zirkonium	0,100-0,250 nm					
	2.2	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Johtokyky	< 800 µS/cm					
	2.3	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Ph	4,2-6,0					
	2.4	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									5. Huuhtelu						
	2.5	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi									Johtokyky	0-50 µS/cm					
Kulutus	2.6	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	2.7	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.0	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.1	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.2	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.3	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.4	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.5	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.6	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.7	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	3.8	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	4.0	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	4.1	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	4.2	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	4.3	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	4.4	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	4.5	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
Rata ja apulähteet	5.1	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.2	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.3	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.4	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.5	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.6	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.7	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.8	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.9	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.10	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.11	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.12	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.13	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.14	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.15	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.16	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
Jauhemäärä	5.17	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.18	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.19	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.20	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.21	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.22	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.23	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.24	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.25	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.26	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.27	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.28	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.29	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.30	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.31	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															
	5.32	Isuuttaminen suuntaus ja puhdistus	Maalaa	Uusi															

Kuva 22. Visuaalisen seurannan taulu pintakäsittelyn kunnossapito ja esikäsitteily (Relicomp 2020b).

Päivitetty: 3.6.2019					
Viikko: 23					
Esikäsitteily	raja-arvo	maanantai	tiistai	keskiviikko	to
1. Rasvanpoisto					
Ph	11	10	10		
Vapaa alk.	8-15	11	11		
Kok. alk.	max. 35	33	30		
2. Huuhtelu					
Ph	8-10	8.8	8.7		
Johtokyky	< 2000 µS/cm	1064	1734		
3. Huuhtelu					
Ph	7-10	8.2	8.3		
Johtokyky	< 200 µS/cm	150	370		
4. Nanokeramiikka					
Zirkonium	0,100-0,250	0,152	0,126		
Absorbanssi	nm				
Johtokyky	< 800 µS/cm	278	274		
Ph	4,2-6,0	4,7	5,5		
5. Huuhtelu					
Johtokyky	0-50 µS/cm	4	4		

Kuva 23. Esikäsitteilyn visuaalisen seurannan taulu käytössä (Relicomp 2020b).

Ripustuksessa osat tarkastetaan visuaalisesti, jotta ne täyttävät terästyöastevaatimukset eikä osissa ole merkintöjä, jotka näkyvät maalin alta. Maalauksen jälkeen pakkaajat tarkistavat osat visuaalisesti pääsääntöisesti 1 m etäisyydeltä, ellei osalle ole poikkeavaa tarkastusohjetta. Maalatusta sarjasta tarkistetaan maalikalvon vahvuus sekä -kiilto. Tulokset kirjataan ERP-järjestelmään. Vähintään kerran päivässä linjasta ajetaan läpi testilevy, johon tehdään hilaristikko ja taivutuskoe. Testilevyllä varmistetaan esikäsittelyn ja verkkouttamisen onnistuminen. Alla kuva hilaristikko- ja taivutuskoelevystä.



Kuva 24. Hilaristikko ja taivutuskoe (Relicomp 2020b).

4. KAKSIKERROSJAUHEMAALAUS

Normaalisti yksikerrosjauhemaalauksessa jauhetta levitetään kappaleeseen 60–120 µm riippuen maalattavasta tuotteesta ja käytetystä maalista. Nykyaikaisilla esikäsittelymenetelmillä yhden kerroksen jauhemaalaus on ollut tyydyttävä monissa tapauksissa jopa pidempään ulkorasitukseen. Tavaroiden vienti raskaampaan ilmastoon pitkillä kuljetusajoilla ja asiakastietoisuuden lisääntyminen ovat muuttaneet maalauksen laatuvaatimuksia, jotka kasvavat jatkuvasti. (Teknos 2019.) Asiakkaiden lopputuotteiden laatuvaatimusten kasvaessa jatkuvasti vaaditaan valmistusprosesseilta, käytettäviltä materiaaleilta ja jauhemaalattavien osien tuotesuunnittelulta entistä enemmän.

Korroosiota voidaan hidastaa eristämällä metalli syövyttävistä materiaaleista ja ympäristöstä. Oikea terästyöaste edistää maalin tartuntaa ja maalin kiinni pysymistä maalattavalla pinnalla ja on syy sille, miksi osia pyöristetään ja/tai karhennetaan. Oikealla korkean laadun kemiallisella esikäsittelyllä varmistetaan jauhemaalintarunta ja metallin pinta voidaan tehdä kestävämmäksi hapettumisilmiölle ja hidastaa korroosioprosessia, kiinteä ja riittävän paksu jauhemaalikalvo pitää korroosioympäristön metallin pinnan ulkopuolella. Kaksikerrosjauhemaalaus parantaa korroosiokestävyyttä vaikeasti maalattavilla alueilla, terävillä reunoilla ja muilla alueilla, jotka ovat yleisesti jauhemaalauksessa heikoimpia kohtia ja korroosion lähtökohtia. Kaksikerrosjauhemaalaus on tutkitusti ainoa turvallinen ja oikea valinta saavuttaa C4-M ja sitä korkeammat luokitukset toistuvasti. (Teknos 2015, 10; Teknos 2019.)

4.1 Kolme päälinjaa kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen

Kaksikerrosjauhemaalausta on mahdollista toteuttaa kolmella eri menetelmällä, jotka ovat:

1. Pohjamaali ja täydellinen verkkouttaminen + pintamaali ja täydellinen verkkouttaminen

Tässä menetelmässä jauhemaalilla verkkoutetaan loppuun saakka molempien jauhemaalikerrosten välissä. Tämä voidaan toteuttaa sekä panos-, että linjatyyppisessä maalaamossa. (Kouri 2019.)

Linjatyyppisessä maalaamossa tämä ei ole välttämättä kustannustehokkain tapa, koska linjalla ajetaan samat osat käytännössä kaksi kertaa läpi. Panostyyppisessä maalaamossa tämä on helpompi toteuttaa kustannustehokkaasti.

Tässä menetelmässä riskinä voi olla pohjamaalin ylipoltto, joka aiheuttaa ensimmäisen maalikerroksen pinnan lasittumisen ja toisen maalikerroksen tartunnan pettämisen. Tämä on huomioitava erityisesti sinkkiä sisältävien pohjamaalien verkkouttamisessa. Menetelmä on toteutettavissa, mutta laadun kannalta vaatii prosessin hallinnalta paljon onnistuakseen.

2. Pohjamaali ja osittainen verkkouttaminen + pintamaali ja täydellinen verkkouttaminen

Tässä menetelmässä pohjamaalin levityksen jälkeen tehdään jauhemaalille vain osittainen verkkouttaminen, jossa jauhemaalilla pinta kovettuu vain sen verran, ettei päälle levitettävä pintamaali sekoitu pohjamaaliin. Lopullinen verkkouttaminen tapahtuu molemmille jauhemaalikerroksille samanaikaisesti lopullisessa uunituksessa. (Kouri 2019.)

Tämä menetelmä voidaan toteuttaa sekä panos- että linjatyyppisissä maalaamoissa. Yksikerrosjauhemaalaukseen suunnitelluilta linjatyyppisiltä maalaamoilta menetelmä vaatii linjaan ja prosessiin suuria muutoksia. Osittainen verkkouttaminen voidaan toteuttaa millä tahansa uunitus-vaihtoehdolla. Menetelmä on oikein toteutettuna laadullisesti hallittavissa ja samalla kustannustehokas ratkaisu.

3. Pohjamaali + pintamaali ja täydellinen verkkouttaminen

Tässä menetelmässä heti pohjamaalin levityksen jälkeen pinnalle levitetään pintamaali ja molemmat kerrokset verkkoutetaan samanaikaisesti lopullisessa uunituksessa. (Kouri 2019.)

Menetelmä voidaan toteuttaa sekä panos- että linjatyyppisessä maalauksessa, mutta jauhemaalain pinnasta ei tule visuaalisesti hyvää, koska maalit sekoittuvat keskenään. Tämä on myös ruiskutuksellisesti sekä radalla kuljetuksellisesti haasteellista toteuttaa.

4.2 Toteutettavuus nykylinjoilla ja tulevaisuuden näkymät

Suomessa käytössä olevat jauhemaalaukselinjat on suunniteltu yksikerrosjauhemaalaukseen. Kaksikerrosjauhemaalauksella on kuitenkin pääosin toteutettavissa prosessit ja linjamuutokset myös nykyisille maalaukselinjoille. Kaksikerrosjauhemaalauksen kysyntä tulee lähitulevaisuudessa kasvamaan, kun asiakkaiden laatuvaatimukset ja tietoisuus kaksikerrosjauhemaalauksen hyödyistä kasvavat. Muualla Euroopassa on jo käytössä jauhemaalaukselinjoja, joilla osia kaksikerrosjauhemaalataan IR-tekniikan avulla.

4.3 Hyödyt

Riittävän maalikalvon kerryttäminen metallituotteiden teräviin leikkuupintoihin ja rakenteellisesti ongelmallisiin kohtiin on haaste jauhemaalauksissa, sillä maalin verkottaminen kiristää maalikalvoa ja se vetäytyy teräviltä reunoilta sekä kohdista, joissa tartunta alustaan on huono. Kaksikerrosjauhemaalauksella saadaan kalvonvahvuutta kerrytettyä myös korroosion kannalta riskialttiisiin ongelmakohtiin. Sillä saadaan myös erittäin tiivis ja paksu pinta. Nämä pidentävät tuotteen kestoa huomattavasti. (Teknos 2019.)

4.4 Eri vaihtoehtojen tutkiminen kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseksi Relicompilla

Relicompilla lähdettiin testaamaan kahta eri vaihtoehtoa kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen. Ensimmäinen oli nykyisellä linjalla toteutettava pohjamaali ja täydellinen verkkouttaminen + pintamaali ja täydellinen verkkouttaminen. Toisena

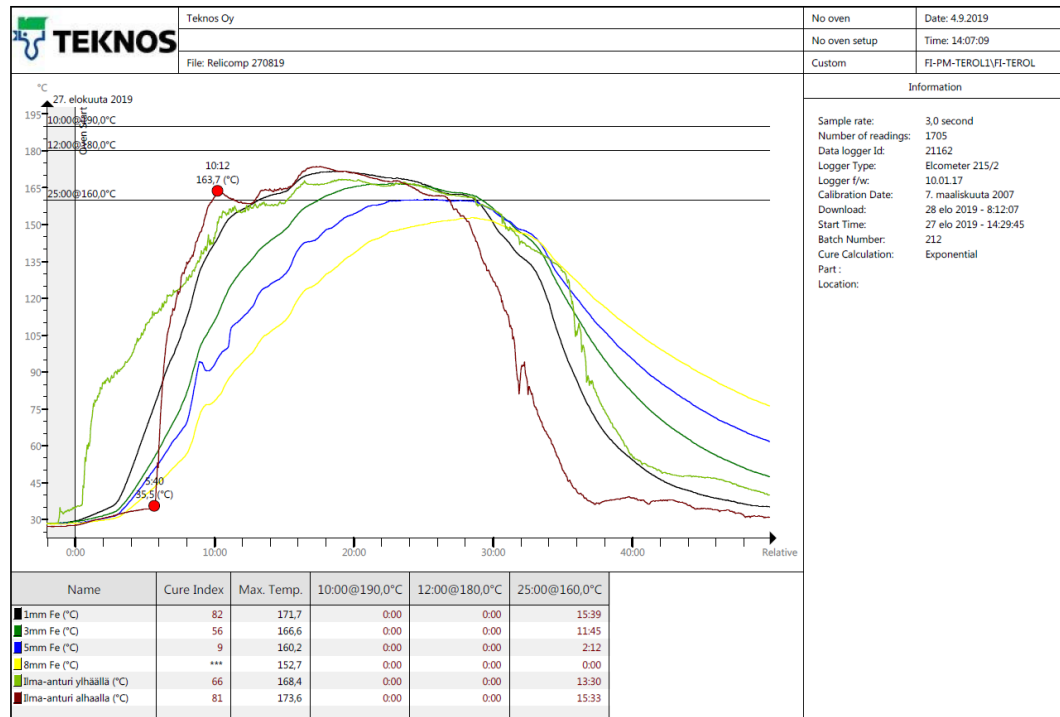
vaihtoehtona testattiin IR-säteilijöitä, joilla pohjamaalin verkkouttaminen käynnistettiin ja maalattiin pintamaali, jonka jälkeen molemmat jauhemaalikerrokset verkkoutettiin loppuun nestekaasu-uunissa. Kappaleessa 4.1 esitetyistä menetelmistä jätettiin testien ulkopuolelle vaihtoehto 3, koska osilla on korkeat vaatimukset visuaaliselle ulkonäölle.

IR-tekniikkaa kaksikerrosjauhemaalauksessa testattiin testimaalaamossa Ruotsissa ja Virossa. Omassa prosessissa kaksikerrosjauhemaalauksta lähdettiin testaamaan ajamalla rataa kokonaan ympäri kaksi kertaa.

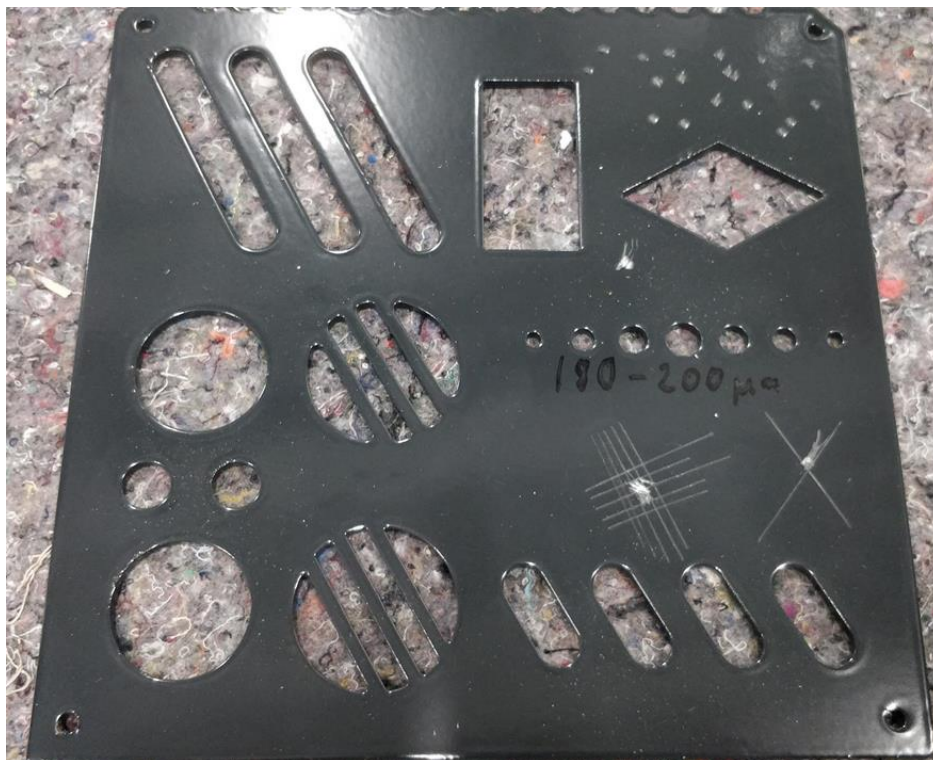
4.4.1 Uusi prosessi Relicompin linjalla toteutettavaan kaksikerrosjauhemaalamiseen

Nykyisellä linjalla testejä lähdettiin toteuttamaan niin, että osien ripustelu ja ensimmäisen kerroksen maalaus tapahtuisi kuten tähänkin saakka, mutta osat jätettiin radalle toiselle kierrokselle. Toisella kierroksella esikäsittelystä sammutettiin kaikki muut vaiheet lukuun ottamatta viimeisiä huuhteluja. Esikäsittelylinjan huuhtelut jätettiin päälle siksi, että se huuhtelisi osista epäpuhtaudet, jotka maalipinnalle olivat mahdollisesti ehtineet tulla. Toinen syy oli esikäsittelylinjan katosta tippuva kosteus. Jos se jäisi kappaleisiin eikä sitä huuhdeltaisi pois, pilaisi se lopullisen maalipinnan. Toinen kierros toteutettiin muuten kuten normaaliprosessissakin toimitaan.

Ensimmäiset testit ajettiin sinkkipohjamaalilla, joka on verkkouttamisen kohdalla haastavampi pinnan lasittumisen vuoksi. Saman testin yhteydessä ajettiin uunin lämpökäyrät, jolla varmistettiin verkkouttamisen lämpötila sinkkipohjamaalille. Sinkkipohjamaalin käyttö vaatii uunin lämpötilan laskemista normaalista 180 °C:sta 160 °C:een sinkkirikastuksen vuoksi. Alla kuvia testeistä sekä uunin lämpökäyrästä. Uunin lämpökäyrästä näkee, että vaikka uuni on säädetty 160 °C, ohuiden materiaalien lämpötila nousee uunituksen aikana noin 170 °C:een.



Kuva 25. Uunin lämpökäyrä sinkkipohjamaali testien ajon yhteydessä (Lahti 2019).



Kuva 26. Testilevymateriaali 4 mm (Lahti 2019).



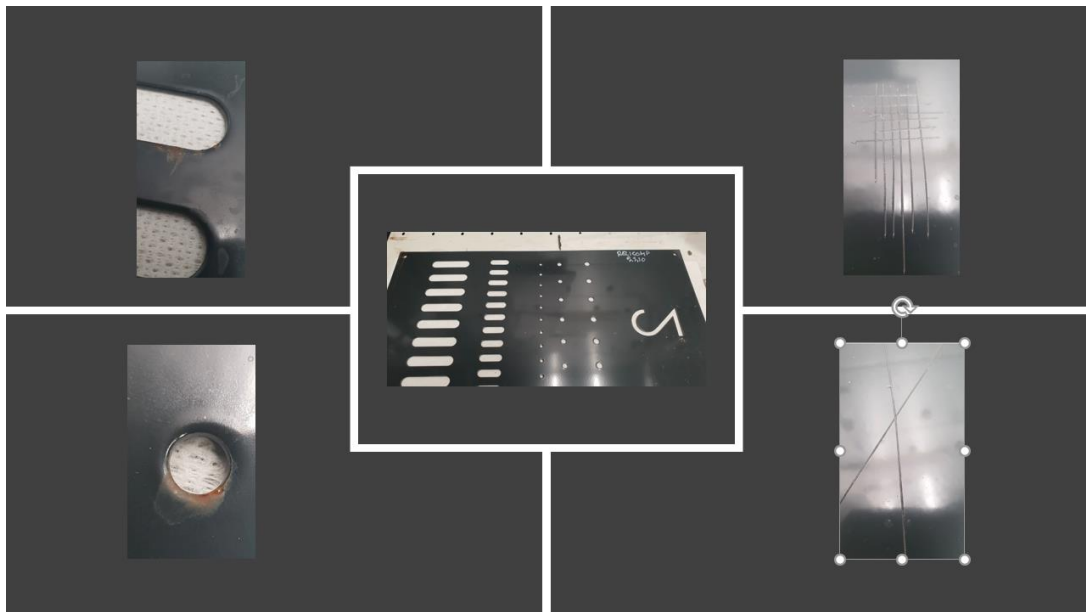
Kuva 27. Testilevymateriaali 2 mm (Lahti 2019).

Testilevyille suoritettiin isku-, taivutus- ja pulttikoe sekä hilaristikot ja X-viilto. Iskukoe suoritettiin perinteisesti paukuttaen vasaralla levyjen pintaa. Maali ei lohjennut irti, vaan "venyi" iskun alla ja maalipintaan jäi normaali iskun jälki kuten kuuluikin. Taus- tapuolelta maalia irtosi, mutta tämä on normaalia, koska voima oli niin kova, että se ylitti maalin adheesiovoiman reippaasti. Taivutuskoe tehtiin vain 2 mm materiaalille. Levy taivutettiin noin 45° kulmaan. Maali pysyi kiinni taitoksen pienemmässä kulmassa, mutta ei taustapuolella isommassa kulmassa. Tämäkin on täysin normaalia. Maalikerroksien paksuudet huomioon ottaen, ei maalin kuulukaan pysyä kiinni. Tässäkin tapauksessa taitokseen kohdistuva vääntölujuus ylitti maalin adheesiovoiman ja maali irtosi venyneestä kohdasta. Taitoksen reunalla maali pysyi hyvin kiinni, eikä irronnut veitsellä. Pulttikoe tehtiin kiristämällä reikiin pultteja ilman priikkoja kovalla väännöllä, jonka jälkeen pultti avattiin. Maali ei pyöri pultin alla, vaan litistyi "kauniisti" kasaan, kuten sen pitääkin. Hilaristikko ja X-viilto tehtiin mattopuukolla hilaristikkolevyn avulla. Molemmissa testeissä maalia irtosi vain mattoveitsen terän alta, ei muualta. Testit onnistuivat hyvin. Testit osoittivat, että sinkkipohjamaalia käytettäessä on uunin lämpötilan laskeminen 160 °C:een välttämätöntä tehdä. (Lahti 2019.)

Asiakas hyväksyy osissa myös tavallisen pohjamaalin käytön, joka on prosessin kannalta riskittämpi, koska uunin lämpötilaa ei tarvitse laskea pohjamaalin verk-

kouuttamisen kohdalla. Testejä ajettiin myös tavallisella pohjamaalilla ja testien maaus onnistui hyvin. Linjalla ajettiin testien lisäksi oikeita tuotantokappaleita ja havainnoitiin ongelmia, joita prosessissa tuli esiin.

Testilevyjä testattiin neutraalisuolasumutestauksella useita kertoja ja tulokset olivat erinomaisia. Testien yhteydessä tehtiin erillisiä testejä levyistä, jotka pysäytettiin tahallisesti prosessissa uunin perälle noin 20 minuutin ajaksi. Tällä varmistuttiin siitä, ettei tavallisen pohjamaalin ylipoltto aiheuta radanpysähdys tilanteessa ongelmia pintamaalin tartuntaan. Testistä kuvia alla.



Kuva 28. Testilevyt kaksikerrosmaalaus, pysäytetty uunin perälle (Tarvainen 2019).

Levyt testattiin neutraalisuolasumu testauksella 480 tuntia, joka vastaa C4-M ilmas-tonrasitusluokitusta. Levyt olivat visuaalisesti hyvässä kunnossa ennen testiä ja testin jälkeen. Kalvonvahvuus oli pyydettyssä nimellimitassa 140 μm . Muutamassa kohdassa oli hieman jäysteestä johtuvaa reunakorroosiota. Tartunta oli kunnossa. Levyt läpäisivät hyvin testin. (Tarvainen 2019.)

4.4.2 Havaitut riskit ja korjaavat toimenpiteet

Testejä suoritettaessa huomattiin normaali tuotannossa olevien osien kohdalla ongelmia huuhteluveden poistumisessa kappaleista. Jo ensimmäinen pohjamaalikerros tekee rakenteista niin tiiviitä, ettei huuhteluvesi kuivu enää nykyisellä kuivurilla,

vaan tiettyihin osiin jäi huuhteluvesijäämiä, jotka sinne jäädessään pilaisi lopullisen maalipinnan. Ongelmallisten rakenteiden kohdalla mietittiin osien rakenteisiin ”vesireikiä” sekä urituksia, jotka edesauttaisivat huuhteluvesien poistumista rakenteista huuhtelun jälkeen. Testejä tehtiin myös niin, että muutetut osat jätettiin kuivuriin seisomaan ajatuksella, että korjaantuu korjattua, kun kuivurin lämpötilaa nostetaan. Nämä toimenpiteet olivat toimivia ja osiin ei havaittu enää jäävän ongelmallisesti huuhteluvettä.

Kuten kappaleessa 4.4.1 on avattu, nähtiin mahdollinen riski myös pohjamaalikerroksen lasittumisessa, niin ettei pintamaali saa tartuntaa pohjamaaliin. Sinkkipohjamaalia käytettäessä on prosessissa huomioitava sinkkipohjamaalin verkkouttamisen lämpötila, joka poikkeaa normaalista prosessista. Normaalina pohjamaalia käytettäessä ei riskiä testien mukaan ollut.

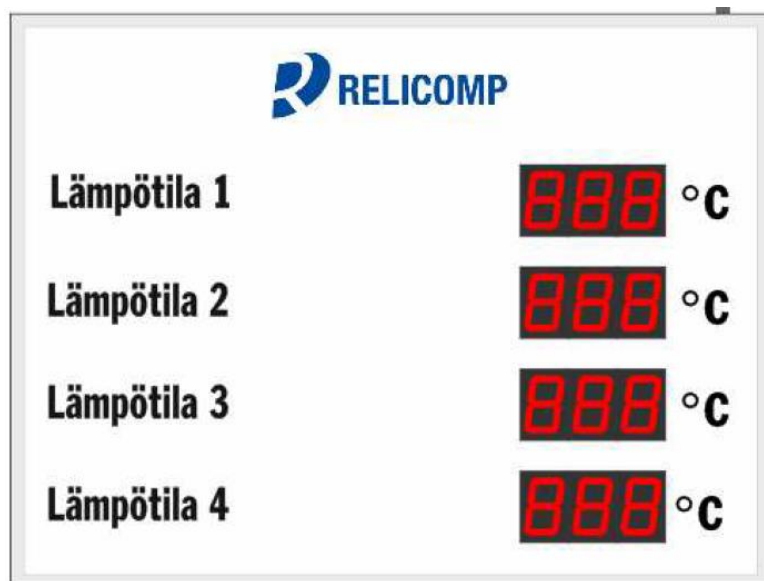
Laatuvaatimuksien kasvaminen vaikuttaa myös maalikalvonvahvuusvaatimuksiin, sillä liian paksu maalikerros ei kestä enää rasituksessa vaan halkeaa. Kaksikerrosjauhemaalauksessa pohjamaalin kalvonvahvuuden on oltava tasainen ja nimellimitassaan, jotta pintamaalikerroksen maalaaminen onnistuu niin, että ulkonäkövaatimukset saadaan edelleen prosessissa täytettyä. Kalvonvahvuusvaatimukset vaikuttavat myös oleellisesti korjausmaalattaviin osiin, sillä korjausmaalauksia ei enää pystytä toteuttamaan kuten yksikerrosmaalatuissa osissa. Korjausmaalauksessa kalvonvahvuus on otettava huomioon, ettei se kasva yli sallitun. Henkilöstöä on koulutettu ja prosessiparannuksia on tehty. Näillä toimenpiteillä on varmistettu laatuvaatimuksien täyttyminen.

4.4.3 Prosessin muutokset ja tarpeet

Esikäsittelyprosessissa muiden kuin huuhtelujen sulkeminen on prosessissa aina manuaalinen toiminto. Prosessin hallinnan helpottamiseksi voisi toiminnon automatisoida. Kun kaksikerrosmaalausprosessin esikäsittelyvaiheiden toiminta kytketään ohjauskeskukseen, esikäsittely saataisiin yhdellä napin painalluksella sopivaksi kaksikerrosmaalattaville osille. Ellei ohjauskeskukseen kytkeminen ole mahdollista, on esikäsittelyssä tehtävät toimenpiteet kuvattava ja ohjeistettava selkeästi henkilökunnalle.

Osien huuhteluvesijäämien poistumiseen auttaisi pesulinjan päässä oleva pisarapuhallin tai ilmaveitsi, joka puhaltaisi muodoista enimmäkseen huuhteluvedet ennen kuivuria. Nykyinen puhallin on niin alitehoinen, ettei siitä ole apua. Todettiin, että on kartoitettava tehokkaampi pisarapuhallus tai ilmaveitset esikäsittelylinjan päähän. Osien kuivumiseen kuivurissa auttaisi kuivurin nestekaasupolttimen vaihto suurempaan, jolla kuivurin lämpötilaa saataisiin nostettua noin 120 °C:sta 140 °C:n. Kuivauskammiota olisi myös suhteellisen helppo jatkaa, jolloin osat saisivat lisää aikaa kuivumiseen. Nämä toimet varmistaisivat yhdessä rakenteisiin tehtyjen muutosten kanssa huuhteluvesijäämien poistumisen rakenteista ensimmäisen maalauskerän jälkeen.

Jos myöhemmin tulee osia, joissa on sinkkipohjamaali vaatimus kaksikerrosjauhe-maalauksessa, on uunin lämpötilan laskeminen varmistettava ja hallittava verkkoutamisessa. Prosessin seuranta helpottaisi infotaulu uunin lämpötilan seurannalle, ja se edesauttaisi prosessin seuranta ja oikeaa verkkouttamislämpötilaa. Esimerkki mahdollisesta infotaulusta alla.



Kuva 29. Esimerkki uunin lämpötilan visuaaliseen seuraamiseen (Relicomp 2020b).

Maalikalvonvahvuuksien ja -kiillon seuranta taajuutta kasvatetaan toistaiseksi 15 %:lla, kun kaksikerrosjauhe-maalauksella otetaan käyttöön. Tällä varmistetaan pohja- ja pintamaalin oikeasta maalikalvonvahvuudesta.

Kaksikerrosjauhemaalaus nykyisellä linjalla vaatii muutoksia myös maalaamon henkilöstöön. Kun linjalla ajetaan osia kaksi kertaa, ei ole tarvetta niin suurelle henkilömäärälle kuin normaalia yksikerrosmaalausta tehtäessä. Toisen kierroksen kohdalla ei osia pakata eikä uusia osia ripusteta radalle, joten henkilöstöresurssien muutos tarve on otettava huomioon suunnittelussa.

Prosessia on havainnoitava aktiivisesti, kun kaksikerrosjauhemaalaus käynnistyy tuotannossa. Havainnoinnilla varmistutaan tehtyjen toimenpiteiden oikeellisuudesta ja riittävydestä laadukkaiden osien valmistuksessa. Terästyöaste- ja pintaluokka-vaatimuskoulutuksia on jatkettava koko henkilöstölle ja samalla on kartoitettava maalaajille lisäkoulutusta tarpeen mukaan.

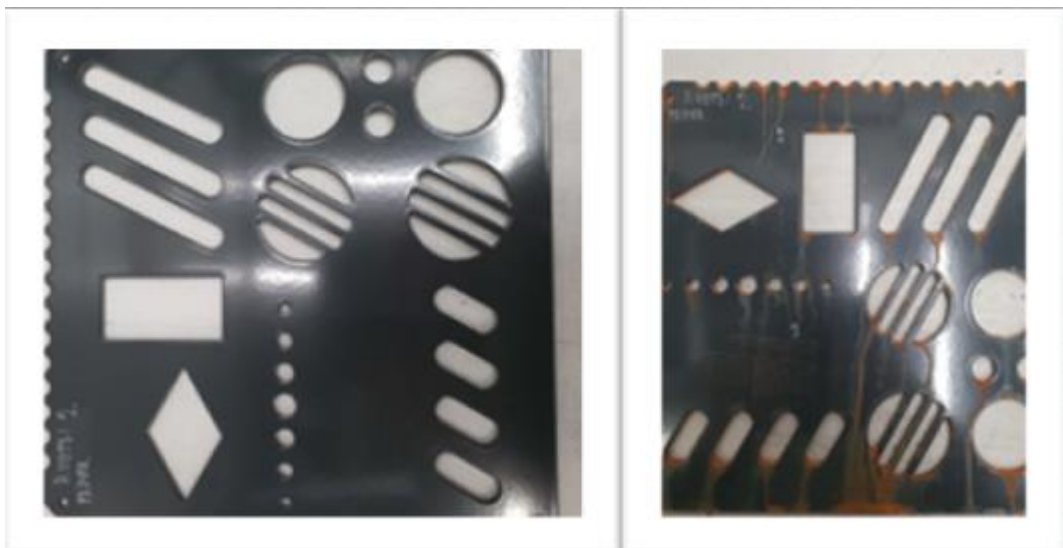
4.4.3 Muut vaihtoehdot tulevaisuudessa nykylinjalla

Relicompilla tehtiin myös laajamittaisia testejä IR-säteilijöiden käytöstä jauhemaalilin osittaisessa verkkouttamisessa. Ensin testejä tehtiin Ruotsissa testimaalaamossa, jossa testit onnistuivat hyvin. Ongelmaksi testimaalaamossa tuli oikeiden osien koko, jossa ei päästy testaamaan lopullisen uunituksen vaikutusta lopulliseen tartuntaan ja verkkoutumisen onnistumiseen.

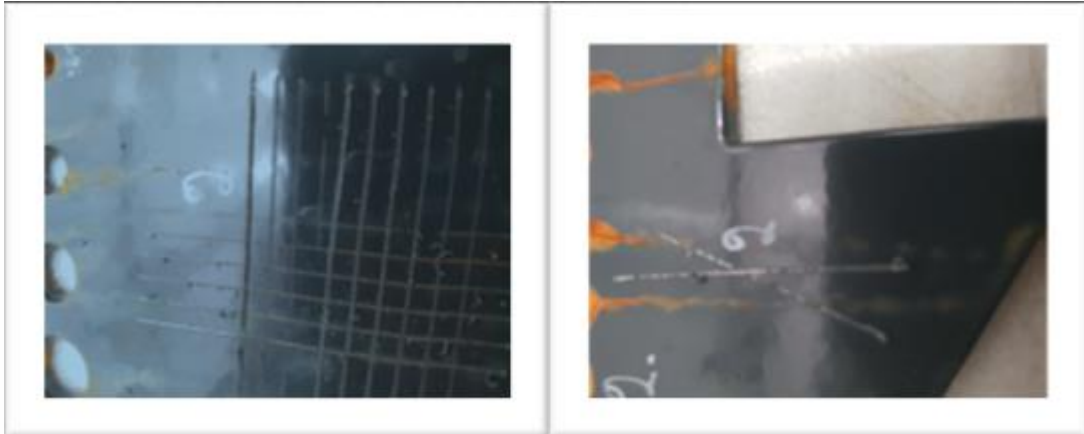


Kuva 30. Osien ajoa IR-testauslaitteella Ruotsissa (Relicomp 2020b).

Alla kuvia testilevyistä, jotka on ajettu testimaalaamossa. IR-säteijöiden avulla on tehty ensimmäiselle maalikalvolle osittainen verkkouttaminen ja lopullinen verkkouttaminen tehtiin sähkötoimisessa uunissa. Testilevyjä ajettiin pohjamaali + harmaa ral 7021 sekä keltainen ral 1003 + lakka, testilevyissä maalia 160–230 μm .

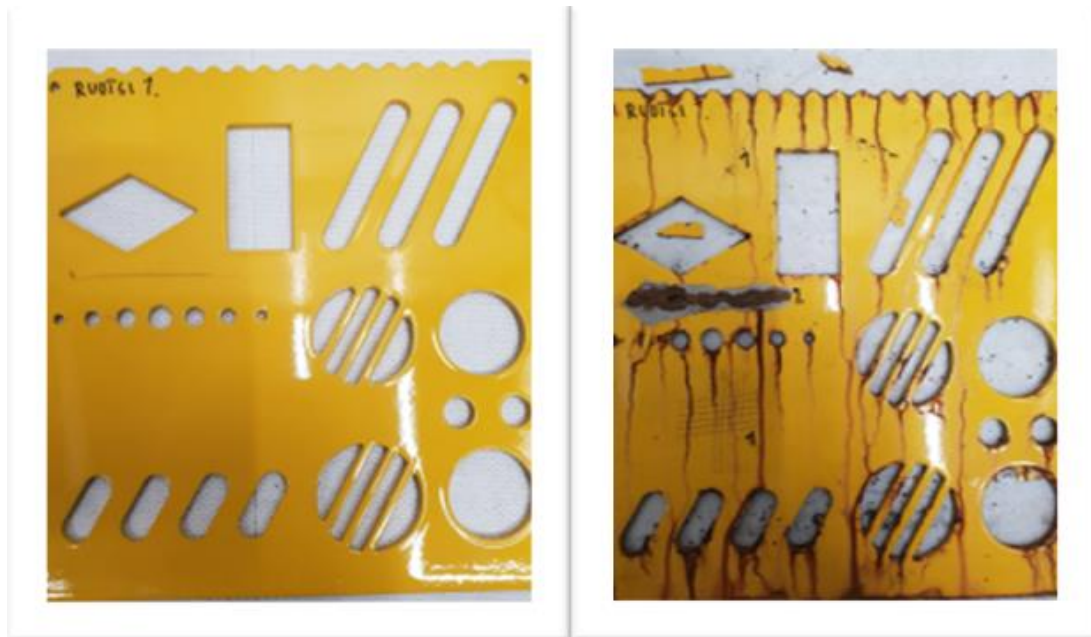


Kuva 31. Harmaa IR-testilevy ennen ja jälkeen neutraalisuolasumutestauksen (Tarvainen 2019).



Kuva 32. Harmaa IR-testilevy hilaristikko ja X-viilto (Tarvainen 2019).

Harmaiden testilevyjen visuaalisessa analysoinnissa kaikissa levyissä 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen tutkittiin tartuntaa. Tartunta ok, hilaristikko 0, x-viilto ok. Levyt olivat visuaalisesti hyvässä kunnossa, leikkauspintojen alareunoissa oli korroosiovaurioita johtuen testimaalaus- ja uunitusolosuhteista. (Tarvainen 2019.)



Kuva 33. Keltainen IR-testilevy ennen ja jälkeen suolasumutestauksen (Tarvainen 2019).



Kuva 34. Keltainen IR-testilevy hilaristikko ja X-viilto (Tarvainen 2019).

Keltaisten testilevyjen visuaalisessa analysoinnissa kaikissa levyissä 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen tutkittiin tartuntaa. Tartunta ok, hilaristikko 0, x-viilto ok. Levyt olivat visuaalisesti hyvässä kunnossa, leikkauspintojen alareunoissa oli korroosioaurioita johtuen testimaalaus- ja uunitusolosuhteista. (Tarvainen 2019.)

Keltaisen testilevyt olivat visuaalisesti huonomman näköisiä verraten harmaisiin, koska keltainen maali ja lakka yhdistelmä eivät anna yhtä hyvää korroosiosuojaa kuin pohjamaali ja harmaa maali. Testeissä kuitenkin tutkittiin tartuntaa ja siltä osin kaikki testilevyt onnistuivat.

Samanlaiset testilevyt lähetettiin myös Teknoksen suolasumutestaukseen ja tulokset olivat samanlaisia, kuin ylläolevissa testeissä. Tulokset ovat alla.

	Text on masking tape	Paint layers	Tot. µm	Blistering	Rusting	Cracking	Flaking	Corr*	Corr**	Cross-cut
SS19F728	180°C	DZ18030 + UA40110	230	0	RiO	0	0	0	0	0
SS19F729	220°C	DZ18030 + UA40110	200	0	RiO	0	0	0	0	0
SS19F730	Primer + pinta 7021	BZN8000 + QZ85350	200	0	RiO	0	0	0	0	0
SS19F731	Primer + pinta 7021	BZN8000 + QZ85350	180	0	RiO	0	0	0	0	0
SS19F732	Pohja alipolito n. 90 + pinta	BZN8000 + QZ85350	160	0	RiO	0	0	0	0	0
SS19F733	-	BZN8000 + QZ85350	170	0	RiO	0	0	0	0	0
SS19F734	-	BZN8000 + QZ85350	230	0	RiO	0	0	0	0	0

Kuva 35. Teknoksen testien tulokset IR-testilevyistä (Lammi 2019).

Todellisia tuotantokappaleita testattaessa havainnoitiin ongelmia tartunnassa, kun kappaleessa oli sekä ohutta että paksua materiaalia eli paksu materiaali ei ehtinyt saavuttaa verkkouttamislämpötilaa ja tartuntaa materiaalin ei ollut.

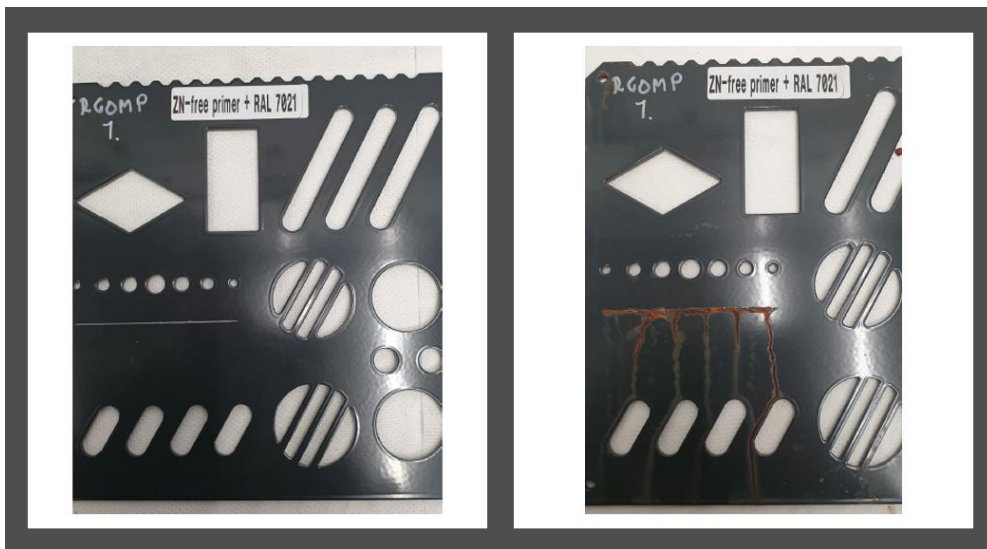


Kuva 36. Havaittu tartunta ongelma (Relicomp 2020b).

Tartuntaongelman kanssa lähdettiin seuraavaksi selvittämään, että korjaako lopullinen uunitus tartuntaongelman. Virossa Tallinnassa testaattiin tuotannossa olevia todellisia osia, jossa myös ensimmäisen maalikerroksen verkkouttaminen tehtiin IR-tekniikalla ja lopullinen uunitus nestekaasu-uunissa.



Kuva 37. Viron testiosat, tartuntaongelma lopullisen uunituksen jälkeen (Relicomp 2020b).



Kuva 38. Viron testilevy ennen ja jälkeen suolasumutestauksen (Tarvainen 2020).

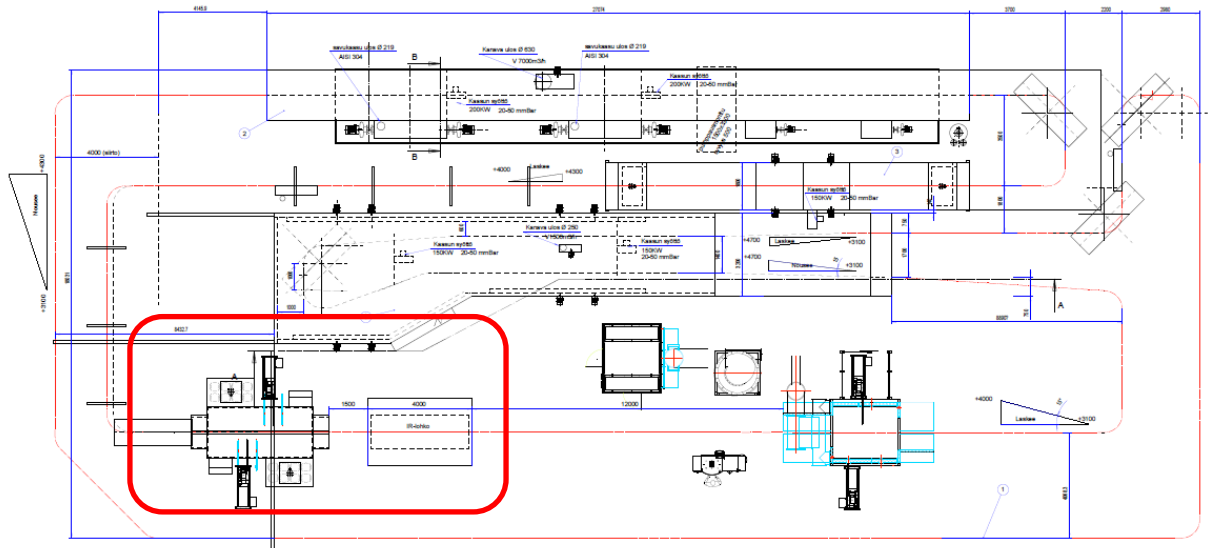


Kuva 39. Viron testilevy hilaristikko ja X-viilto (Tarvainen 2020).

Testilevyjen visuaalisessa analysoinnissa kaikissa levyissä 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen tutkittiin tartuntaa. Tartunta oli ok, hilaristikko 0, x-viilto oli ok. Levyt olivat visuaalisesti hyvässä kunnossa. (Tarvainen 2020.)

Testien perusteella voidaan päätellä, että lopullinen uunitus korjaa tartunnan myös ensimmäisen maali-kerroksen kohdalla, vaikka tartunta alustaan jäisi ensimmäisen kerroksen verkkouttamisen yhteydessä vajaaksi.

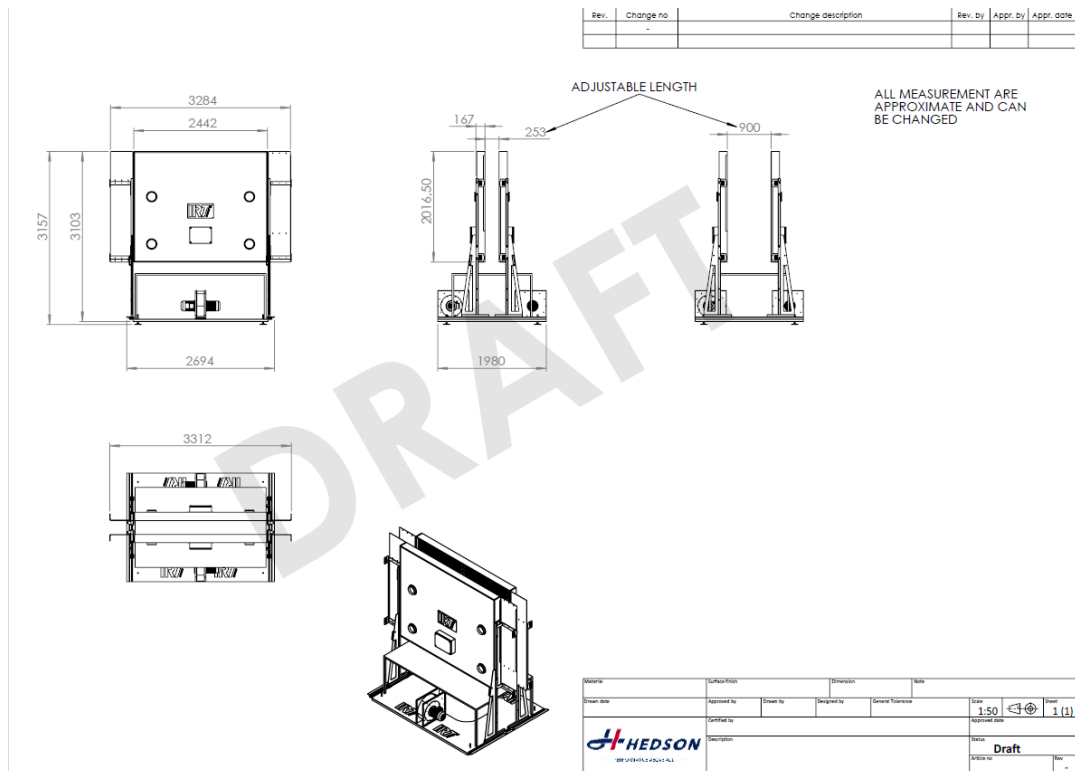
Nykyiseen Relicompin maalauslinjaan suunniteltiin muutos IR-säteilijöiden käyttöönottoon, jossa rataa pidennettäisiin kuivauksen jälkeen ja nykyistä maalauskaappia siirrettäisiin eteenpäin. Tällä varmistetaan osien riittävä jäähtyminen ennen pohja- ja pintamaalin ruiskutusta. Osien tulee olla alle 50 °C ennen toisen jauhemaalikerroksen levitystä, optimilämpötila toisen kerroksen levitykselle on noin 30 °C. Toisaalta kaksikerrosjauhemaalattavat osat ovat ohutta materiaalia ja jäähtyminen nopeaa eli on mahdollista ettei radan pidentämiselle ole tarvetta, mutta tämä haluttiin kuitenkin ottaa suunnitelmassa huomioon. Alla kuva linjasuunnitelmasta pohjamaalauskaapilla sekä IR-säteilijöillä, jotka näkyvät kuvassa punaisella ympyröitynä.



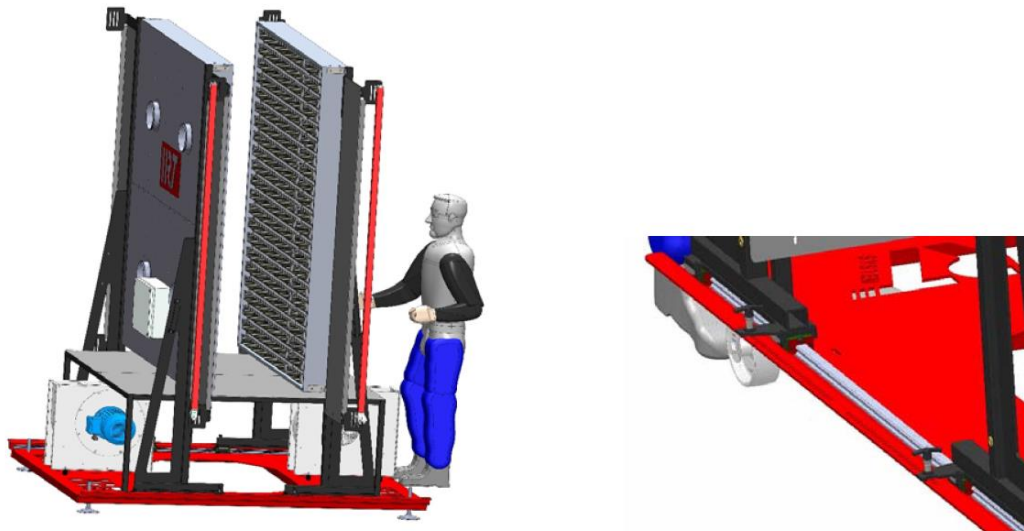
Kuva 40. Linjasuunnitelma pohjamaalauskaapilla ja IR-säteilijällä (Relicomp 2020b).

Pohjamaalin maalauskaappi olisi edullisinta ostaa käytettynä niin, että rakennettaisiin uuden kaapin ohjaukset vanhaan keskukseen. On kuitenkin mietittävä, että tarvitaanko jauhemaalille kierrätystä, sillä se tuo kaapille lisäkustannuksia. Traversseja kaappiin suunniteltiin asennettavaksi molemmin puolin kaappia 1 kpl, joissa olisi 3 kpl jauhemaalaspistooleja/traverssi.

Parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin sähkötoiminen IR-säteilijä, sillä se antaa mahdollisuuksia säteilijöiden säädöille ja eri ohjelmien teolle toisin kuin kaasukäyttöinen säteilijä. Säteilijöissä olisi useita lohkoja ja niitä pystyttäisiin säätämään eri voimakkuuksille ja päälle tai pois. Säättömahdollisuus antaisi mahdollisuuksia eri kokoisten ja paksuisten osien ajamiselle linjalla kaksikerrosmaalauksella. IR-säteilijöiden tulisi osien muotojen ja koon vuoksi olla leveyssäädettävät. Myös automatiikka otettiin säteilijöissä huomioon niin, että IR-laite tunnistaisi osat linjalla esimerkiksi RFID:n avulla ja hakisi automaattisesti säteilijöille oikean leveyden ja ohjelman, jolla verkkoittaminen tehdään. Arvioitiin, että nykyisille kaksikerrosmaalattaville osille tarvittaisiin noin 10 eri ohjelmaa. Alla ensimmäinen versiokuva IR-säteilijöistä. Ensimmäisen version jälkeen mietittiin vaihtoehtoa, että säteilijöiden ylä- ja alapuolelle asennettaisiin yhdet moduulit noin 20–30°kulmaan, jolloin vaikeille muoto-osille lämpö tulisi optimaalisessa asennossa myös ylhäältä ja alhaalta.



Kuva 41. IR-säteilijän kuva (Peltola 2020).



Kuva 42. IR-säteilijä (Peltola 2020).

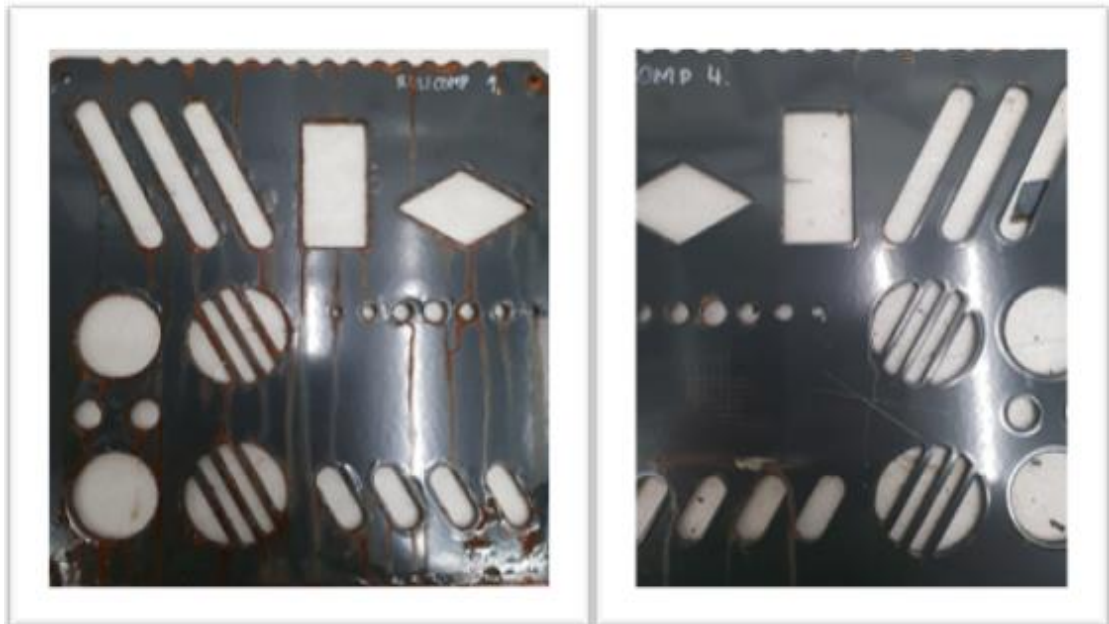
IR-säteilijöiden liitântäteho on 432 kW ja 624 A. Teho on melko suuri, mutta laitteisto vaatii tämän verran, jos sitä ajetaan täysillä tehoilla kaikki moduulit käytössä. Tätä ei todellisuudessa tuotannossa kuitenkaan tapahdu. Säteilijät olisivat päällä vain, kun kaksikerrosmaalattavaa osaa linjalla ajetaan ja kun osat ovat säteilijän kohdalla.

Tarve sähkölle on kuitenkin niin suuri, että se vaatisi tehtaalle uuden sähköpääkeskuksen, joka voitaisiin sijoittaa vanhan pääkeskuksen kanssa samaan tilaan. Säteilijät myös tuottavat paljon lämpöä, joten myös lämmöntalteenotto otettiin huomioon investointi- ja takaisinmaksuaikalaskelmassa. (Karkea investointilaskelma ja takaisinmaksuaika, liite 2).

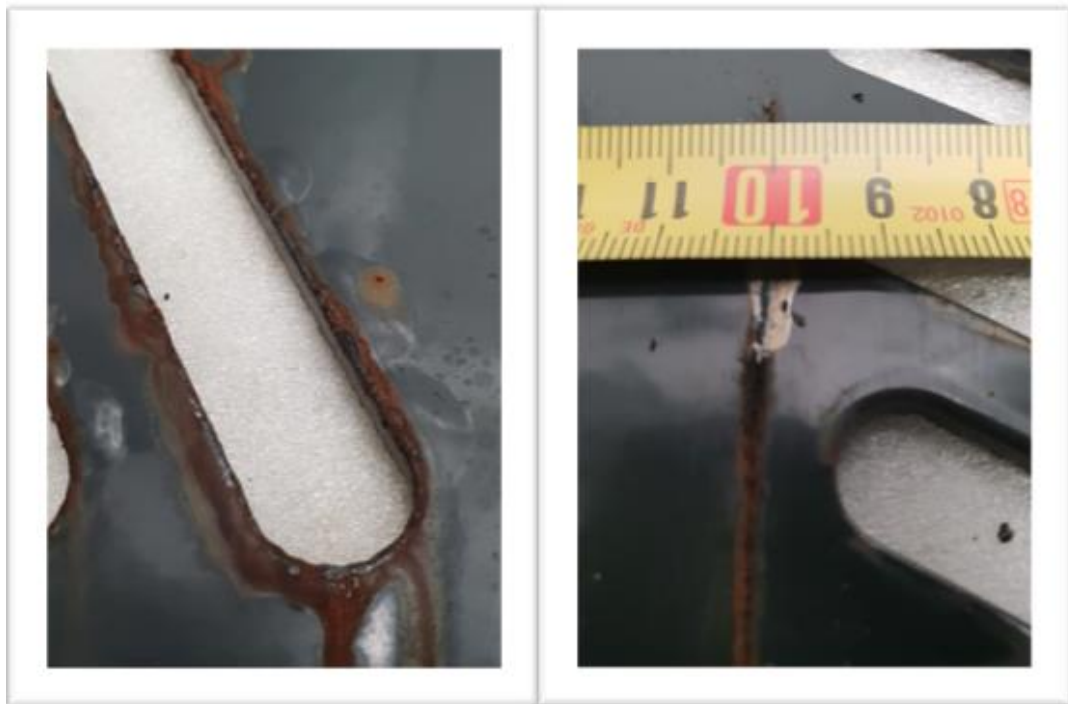
5 TULOSTEN ANALYYSINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaksikerrosjauhemaalauksen laatua testattiin omassa jauhemaalausprosessissa maalatuista testilevyistä neutraalisuolasumutestauksella, josta tuloksia tutkittiin visuaalisesti verraten tuloksia yksikerrosjauhemaalattuihin testilevyihin. Testilevyt olivat neutraalisuolasumutestauksessa 480 tuntia, joka vastaa C4-M luokitusta.

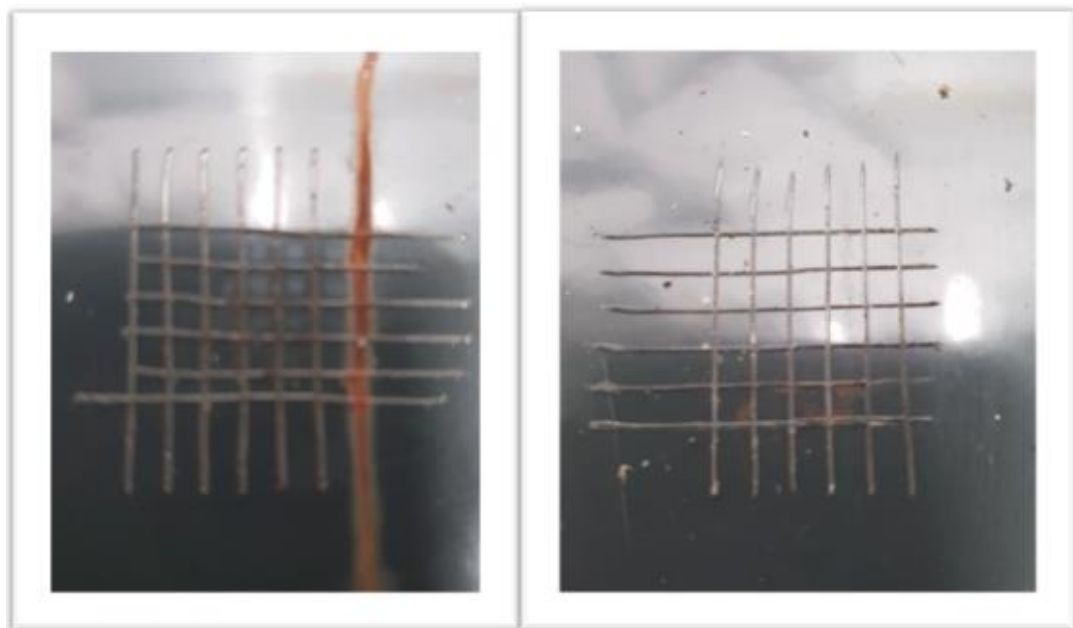
Yksikerrosjauhemaalauksen testilevyt maalattiin Teknoksen Infralit Polyesteri ral 7021 120 μm ja kaksikerrosjauhemaalauksen testilevyt maalattiin Teknoksen pohjamaalilla 60-80 μm normaali uunitus + ral 7021 60–80 μm normaali uunitus.



Kuva 43. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).



Kuva 44. Reunakorroosion eteneminen. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).



Kuva 45. Hilaristikko. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).



Kuva 46. X-viilto. Vasemmalla yksikerrosjauhemaalattu ja oikealla kaksikerrosjauhemaalattu testilevy 480 tuntia suolasumutestauksen jälkeen (Tarvainen 2019).

Vasemmalla on yksikerrosjauhemaalaus ja oikealla on kaksikerrosjauhemaalaus testilevyjen kuvat. Yksikerrosjauhemaalaustestin visuaalisessa analysoinnissa tartunta oli ok, hila 0, X-viilto oli ok. Leikkausreunoissa oli kuplimista. Maali irtosi reunoilta noin 10 mm matkalta. Leikkauspinnolla oli alkavaa reunakorroosiota. Visuaalinen ulkonäkö oli heikko alkavan reunakorroosion takia. (Tarvainen 2019.)

Kaksikerrosjauhemaalaus testin visuaalisessa analysoinnissa tartunta oli ok, hila 0, X-viilto oli ok. Levy olivat visuaalisesti testin jälkeen erinomaisessa kunnossa, eikä ollut alkavaa reunakorroosiota. (Tarvainen 2019.)

Kaksikerrosjauhemaalattuja testilevyjä on testattu myös Teknoksen laboratoriossa SFS-EN ISO 12944-6 standardin mukaisella testauksella, josta testiraportti alla. Testilevyt ovat läpäisseet C4-M mukaisen ilmastonrasitusluokituksen.



PERFORMANCE OF PAINT SYSTEM

Paint system:

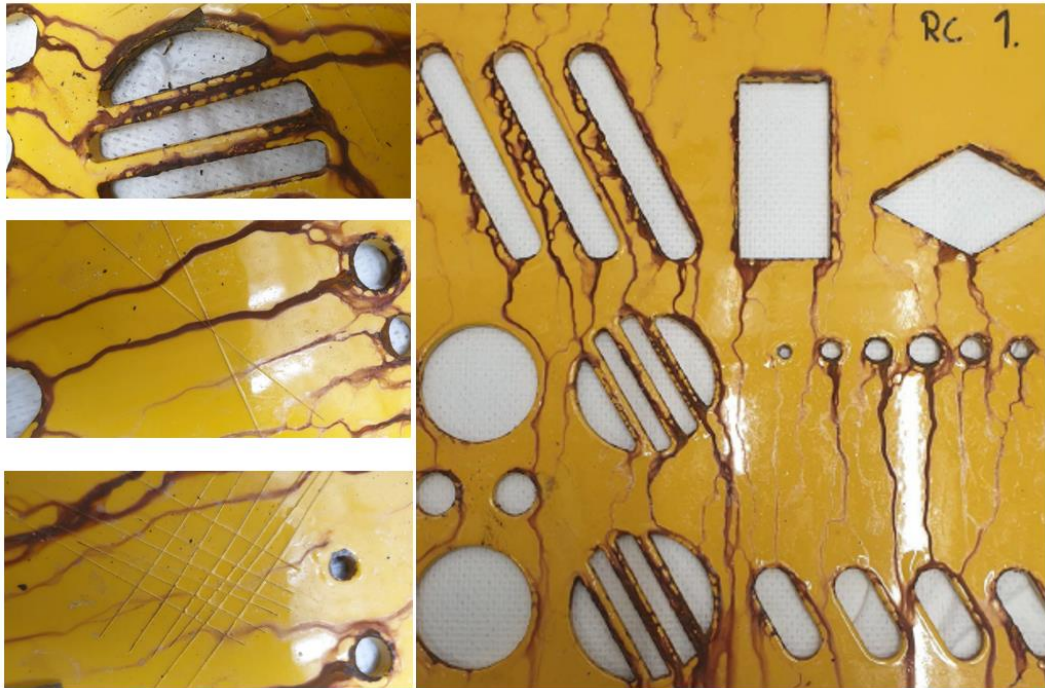
<u>Paint layers</u>	<u>Trade name</u>
1 st coat	BZN8000
2 nd coat	DZ18030
Substrate:	Type of metal: Metal
	Surface preparation: Customer
Curing:	Environment: Customer
	Duration: Customer
Test panels:	SS18F613-616

Tests and results:

Test:	Neutral salt spray ISO 9227				
	480h	SS18F613 1A	SS18F614 1B	SS18F615 2	SS18F616 3
Results:					
-blistering	ISO 4628-2	0	0	0	0
-rusting	ISO 4628-3	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0
-cracking	ISO 4628-4	0	0	0	0
-flaking	ISO 4628-5	0	0	0	0
-scribe corrosion	ISO 12944-6	0 mm	0 mm	0,6 mm	0 mm
-cross-cut, dry	ISO 2409	-	-	-	-

Kuva 47. Kaksikerrosjauhemaalattujen testilevyjen standardin mukaisen testin testiraportti. (Lammi 2020).

Suuri merkitys osien korroosionkestävyydessä on myös maalausjärjestelmään valituilla maaliyhdistelmillä. Alla kuvia Teknoksen pohjamaali ja supersäänkestävä keltainen sekä keltainen ja lakka -yhdistelmien eroavaisuuksista, kun levyt ovat olleet neutraalisuolasumukaapissa 480 tuntia.



Kuva 48. Keltainen + lakka testilevyt 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen. (Tarvainen 2020).



Kuva 49. Normaali pohjamaali + supersäänkestävä keltainen testilevy 480 tuntia neutraalisuolasumutestauksen jälkeen. (Tarvainen 2020).

Pintakäsittelyn korroosionkestävyydessä ei voida unohtaa myöskään terästyöasteen vaikutusta. Alla kuvia testilevyistä, joissa on puutteellinen terästyöaste. Kuvia on ennen testiä sekä testin jälkeen. Kappaleet ovat olleet neutraalisuolasumutestauksessa 240 tuntia, joka vastaa C3-M ilmastorasitusluokitusta. Kuvista näkee selkeästi, että korroosio lähtee etenemään puutteellisesta terästyöasteesta.



Kuva 50. Terästyöasteen vaikutus pintakäsittelyn korroosionkestoon. (Teräsrakenneyhdistys 2014).

Kaksikerrosjauhemaalauksella saavutetaan selkeästi paremmat tulokset verrattuna yksikerrosjauhemaalaukseen. Kaksikerrosjauhemaalauksella, riittävällä terästyöasteella ja oikein valituilla maaliyhdistelmillä saavutetaan asiakkaan vaatimuksena oleva C4-M ilmastorasitusluokka osien maalaukselle. Kaksikerrosjauhemaalauksella on mahdollista toteuttaa laadukkaasti nykyisellä maalauslinjalla tai tulevaisuudessa IR-tekniikkaa hyödyntäen.

6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Kurikassa sijaitsevan Relicomp Oy:n jauhemaalausprosessia ja jauhemaalauksen toteuttamista kaksikerrosjauhemaalauksena. Relicomp Oy työllistää tällä hetkellä noin 125 työntekijää ja on ohutlevytekologiaan erikoistunut metalliteollisuuden yritys, joka tekee alihankintaa suoraan päähankkijoille. Asiakkaat ovat laatutietoisia ja prosesseja kehitetään jatkuvasti, jotta laatuvaatimukset pystytään täyttämään.

Työn taustalla oli Relicompin suurimman asiakkaan jauhemaalaukselle asetettujen vaatimusten nousu ilmastorasitusluokasta C3-M luokkaan C4-M. Aikaisemmin oli jo tutkittu reunapyörityksen vaikutusta osien korroosion kestävyysasteeseen. Tutkimukset osoittivat selkeästi, että reunapyöritys parantaa osien korroosion kestävyysastetta. Kuitenkin Relicompin valmistamat osat ovat muoto-osia eikä niihin ollut mahdollista toteuttaa laadukkaasti toistettavia reunapyörityksiä, sillä markkinoilla olevat reunapyörityskoneet toimivat vain suorille leikkeille ja tästä syystä päädyttiin tutkimaan kaksikerrosjauhemaalauksia. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttaminen Relicompin nykyisellä maalauslinjalla ja muita mahdollisuuksia toteuttamiseen tulevaisuudessa.

Työn teoriaosuudessa selvitettiin laajasti jauhemaalauksen perusteita sekä siihen liittyviä standardeja. Käytännön työn kannalta havainnoitiin jauhemaalausprosessia ja korroosiokestävyysasteen suuresti vaikuttavaa terästyöstettä osissa sekä eri esikäsittelyvaihtoehtoja. Työssä käytettiin apuna kansainvälistä korroosionestomaalausstandardia SFS-EN ISO 12944 sekä suomalaisen kansainvälisesti toimivan Teknos Oy:n tekemiä tutkimustuloksia liittyen jauhemaalaukseen.

Teoriaosuuden lopussa tutkittiin jauhemaalauksen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä laadunvarmistusta ja -menetelmiä. Jauhemaalauksella on kokonaisuudessaan prosessi, jossa laatua ei voida arvioida pelkästään lopputarkastuksen perusteella vaan laatuun vaikuttavat useat eri tekijät. Kaikkia virheitä ei pystytä havaitsemaan pelkällä visuaalisella tarkastamisella, vaan jauhemaalauksia tehtäessä on jatkuvasti ohjattava ja valvottava kaikkia tekijöitä, joilla on vaikutusta onnistuneeseen lopputuotteeseen.

Käytännön työ aloitettiin nykytilan kuvaamisella, jossa havainnollistettiin koko jauhemaalalausprosessi aina ripustuksesta pakkaamiseen ja laadunvarmistukseen saakka. Osiossa kuvataan myös, miten jauhemaalalausprosessia kokonaisuudessaan Relicompilla valvotaan ja hallitaan. Työn aikana koulutettiin koko henkilöstölle terästyöastevaatimukset ja terästyöasteen vaikutus jauhemaalauksen korroosionkestävyyteen (Terästyön laatuaste koulutusaineisto pintakäsittely ja hitsaus, liite 3 ja terästyön laatuaste koulutusaineisto levy ja muovaus, liite 4), josta tehtiin lopuksi tuotannolle työohje. (Työohje terästyöaste ja pintakäsittelyvaatimukset tuotannolle, liite 1).

Nykytilan kuvaamisen jälkeen keskityttiin kaksikerrosjauhemaalaukseen. Osion alussa käytiin läpi kaksikerrosjauhemaalaukseen liittyvää teoriaa. Tämän jälkeen tutkittiin mahdollisuuksia kaksikerrosjauhemaalauksen toteuttamiseen Relicompin nykyisellä maalauslinjalla ja siihen liittyviä riskejä sekä korjaavia toimenpiteitä. Osion loppupuolella tutkittiin IR-säteilijöiden käytön mahdollisuutta nykylinjalla kaksikerrosjauhemaalauksessa sekä siihen liittyviä riskejä. Tutkittiin myös IR-säteilijöiden vaatimia muutoksia nykyiselle maalauslinjalle sekä tulevaisuudessa mahdollisen investoinnin kustannuksia ja säästöjä.

Työ onnistui hyvin, sillä työlle annetut tavoitteet saavutettiin. Työn aikana löydettiin vaihtoehto toteuttaa kaksikerrosjauhemaalalaus Relicompin nykyisellä maalauslinjalla sekä vaihtoehto toteuttamiseen tulevaisuudessa. Työ osoitti myös sen, miten haastavan ja monivaiheisen prosessin kanssa ollaan tekemisissä ja miten moni asia jo ennen itse jauhemaalalausta vaikuttaa onnistuneeseen lopputulokseen. Testien perusteella voidaan päätellä, että molemmat vaihtoehdot täyttävät asiakkaan jauhemaalaukselle asettamat laatuvaatimukset.

LÄHTEET

- Elcometer. Ei päiväystä. Kalvonvahvuus ja -kiilto mittarit. [www-dokumentti]. YTM Oy. [Viitattu 5.2.2020]. Saatavana: <https://www.ytm.fi/tuotteet/mittaus-testaus-ja-tyoturvallisuus/mittaus-ja-testauslaitteet/>
- Hedson. Ei päiväystä. IR-Säteilijät. [www-dokumentti]. Hedson Oy. [Viitattu 4.2.2020]. Saatavana: <https://www.hedson.com/industrial-solutions/>
- Jokinen, I., Kuusela, A. & Nikkari, T. 2001. Metallituotteiden maalaus. Helsinki: Opetushallitus.
- Jokinen, I., Kuusela, A. & Nikkari, T. 2012. Pinnalla 2; Metallituotteiden maalaus. 2. uudistettu painos. Jyväskylä: opetushallitus.
- Kouri, H. 2019. Myyntijohtaja. Teknos Oy. Haastattelu 15.1.2020.
- Lahti, T. 2019. Testilevyjen kuvat sekä lämpökäyrä. Teknos Oy [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Katri Rientamo 4.9.2019. [Viitattu 4.9.2019].
- Lammi, J. 2019. Teknoksen testien tulokset IR-testilevyistä. Teknos Oy [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Katri Rientamo 16.9.2019. [Viitattu 16.9.2019].
- Lammi, J. 2020. Teknoksen testien tulokset standardin mukaisesti testatuista kak-sikerosjauhemaalatuista testilevyistä. Teknos Oy [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Katri Rientamo 27.4.2020. [Viitattu 27.4.2020].
- Peltola, S. 2019. Core Automation Oy. IR-säteilijöiden budjettitarjous. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Katri Rientamo 29.1.2020. [Viitattu 29.1.2020].
- Relicomp Oy. 2020a. Yrityskuvaus ja kuva tehtaasta. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.2.2020]. Saatavana: <https://relicomp.fi/>
- Relicomp Oy. 2020b. Kuvat. [pdf-tiedosto]. Yrityksen sisäistä materiaalia. [Viitattu 23.4.2020]. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- SFS-EN ISO 2409:2013. 2013. Maali ja lakat. Hilaristikkokoe. Helsinki: SFS. Saatavana: SFS Online-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- SFS-EN ISO 4624:2016. 2016. Maali ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. Helsinki: SFS. Saatavana: SFS Online-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.

- SFS 8145:2001. 2001. Korroosionestomaalaus. Suihkupuhdistettujen tai suihku-puhdistettujen ja konepajapohjamaalilla käsiteltyjen teräspintojen mekaanisten esikäsittelyjen laatuasteet. Helsinki: SFS. Saatavana: SFS Online-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- SFS-EN ISO 8501-3:2007. 2007. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 3: Hitsien, leikkaussärmien ja muiden pintavirheellisten alueiden esikäsittelyasteet. Helsinki: SFS. Saatavana: SFS Online-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- SFS-EN ISO 12944-4:2017. 2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 4: Pintatyypit ja pinnan esikäsittely. Helsinki: SFS. Saatavana: SFS Online-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- SFS-EN ISO 12944-5:2019. 2019. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. Helsinki: SFS. Saatavana: SFS Online-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Tarvainen, H. 2018. Testilevyjen kuvat. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Katri Rientamo 18.10.2018. [Viitattu 18.10.2018].
- Tarvainen, H. 2019. Testilevyjen kuvat ja analysointi. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Katri Rientamo 23.10.2019. [Viitattu 23.10.2019].
- Tarvainen, H. 2020. Testilevyjen kuvat ja analysointi. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Katri Rientamo 18.2.2020. [Viitattu 18.2.2020].
- Teknos. Ei päiväystä. REACH. [www-dokumentti]. Teknos Oy. [Viitattu 25.4.2020]. Saatavana: <https://www.teknos.com/fi-FI/tietoa-meista/yritysvastuu/reach/>
- Teknos. 2013. Korroosionestomaalauksen käsikirja [www-dokumentti]. Teknos. [viitattu 20.2.2020]. Saatavana: https://www.teknos.com/globalassets/tek-nos.fi/teollisuuteen/downloads/fi_korroosionestomaalauksen_kasi-kirja_2013.pdf
- Teknos. 2015. Jauhemaalaus eri korroosiorasitusluokkiin [www-dokumentti]. Teknos. [viitattu 21.2.2020]. Saatavana: https://www.teknos.com/globalassets/tek-nos.fi/teollisuuteen/jauhemaalaus_korroosionesto_esite_fi.pdf
- Teknos. 2019. Pintakäsittely koulutus aineisto [pdf-tiedosto]. Yrityksen sisäistä materiaalia. [Viitattu 25.4.2020]. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- Teknos. Ei päiväystä. REACH. [www-dokumentti]. Teknos Oy. [Viitattu 25.4.2020]. Saatavana: <https://www.teknos.com/fi-FI/tietoa-meista/yritysvastuu/reach/>

Teknos. Ei päiväystä. Jauhemaalilaadut. [www-dokumentti]. Teknos Oy. [Viitattu 4.2.2020]. Saatavana: <https://www.teknos.com/fi-FI/teollisuus/tuotteet/tuote-haku/jauhemaalit/>

Teknos. Ei päiväystä. Maalausjärjestelmän valinta. [www-dokumentti]. Teknos Oy. [Viitattu 5.2.2020]. Saatavana: <https://www.teknos.com/fi-FI/teollisuus/jauhe-maalit/jauhemaalausjarjestelmat/>

Teräsrakenneyhdistys. 2014. Terästyöasteen vaikutus pintakäsittelyssä saatavaan korroosionsuojaan. [www-dokumentti]. Teräsrakenneyhdistys. [Viitattu 9.5.2020] Saatavana: http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/665/7ed4695/Terastyoaste_esitys.pdf

Työterveyslaitos. 2020. ATEX. [www-dokumentti]. Työterveyslaitos. [Viitattu 25.4.2020]. Saatavana: <https://www.ttl.fi/vesihuoltolaitosten-tyoturvallisuus-opas/riskien-tunnistus-ja-hallintakeinot/tapaturmavaaralliset-tyot/rajahdysvaaralliset-tilat/>

Yaskawa. Ei päiväystä. Maalausrobotti. [www-dokumentti]. Yaskawa. [Viitattu 4.2.2020]. Saatavana: <https://www.yaskawa.fi/fi/ratkaisut/sovellus/maalaus/>

Wagner. Ei päiväystä. Jauhemaalauslaitteisto. [www-dokumentti]. Wagner Oy. [Viitattu 4.2.2020]. Saatavana: <https://www.wagner-industri.fi/jauhemaalauslaitteet/>

LIITTEET

Liite 1. Työohje terästyöaste ja pintakäsittelyvaatimukset tuotannolle

Liite 2. Karkea investointilaskelma ja takaisinmaksuaika

Liite 3. Terästyön laatuaste koulutusaineisto pintakäsittely ja hitsaus 29.11.2019

Liite 4. Terästyön laatuaste koulutusaineisto levy ja muovaus 24.3.2020

Liite 5. Yleistarkastusohje pintakäsittely 11.5.2020