

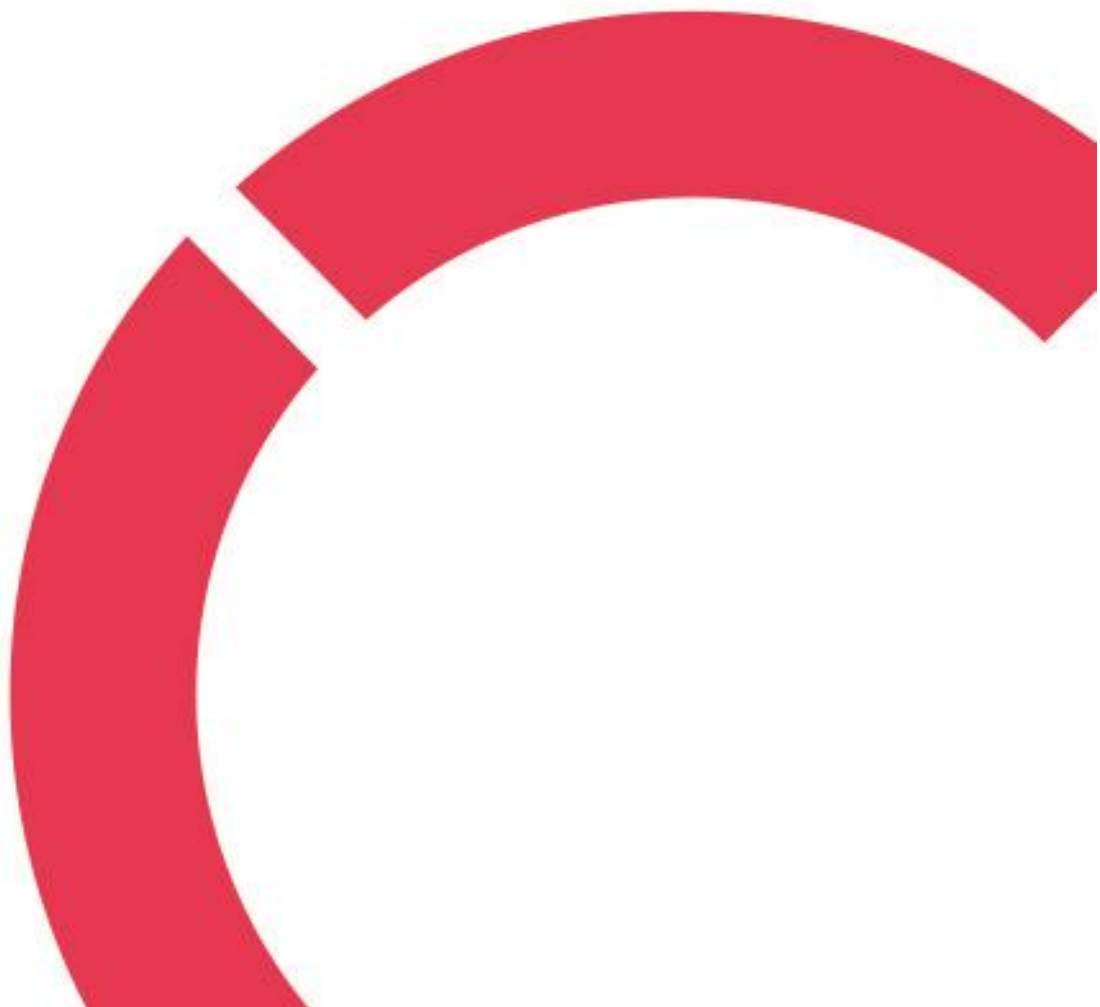
Riku Honkajarju

MAALAUSSLINJASTON OPTIMOINTI

CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotantotalous

Marraskuu 2023



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika 16.11.2023	Tekijä/tekijät Riku Honkaharju
Koulutus Tuotantotalous		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Projektin nimi MAALAU LINJASTON OPTIMOINTI		
Työn ohjaaja Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Sivumäärä 22
Työelämäohjaaja Mika Pottala		
<p>Tämä opinnäytetyö toteutettiin Best-Hall Oy:lle pintakäsittelylinjastoon. Yritys tilasi automaattiradan sekä sinkopuhalluskoneen, joka yhdistettiin jo olemassa olevaan maalausrataan, ja tehtäväksi jäi linjaston käyttöönotto ja optimoiminen. Laatuongelmia sekä erilaisia käytännön ongelmia ratkaistiin yhdessä tuotannon sekä laitetoimittajien kanssa. Simuloinnilla selvitettiin, minkälainen vaikutus mahdollisesti olisi, jos yksi tuotannon vaihe pysäytetään. Lisäksi selvitettiin pullonkaulat sekä optimaalinen maalausorsien määrä linjastossa.</p>		

<p>Asiasanat automaattirata, käyttöönotto, laitetoimittaja, linjasto, maalausrata, optimointi, pullonkaula, simulointi</p>

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date 16.11.2023	Author Riku Honkaharju
Degree programme Industrial Engineering and Management BE		
Name of thesis SURFACETREATMENT LINE OPTIMIZATION		
Centria supervisor Jari Kaarela, Sakari Pieskä	Pages 22	
Instructor representing commissioning institution or company Mika Pottala		
<p>This thesis was carried out for Best-Hall Surface Treatment Line. Best-Hall has had a powder coating line in use since 2012, which had a separate shot blasting line. With the renovation, Best-Hall made a investment, ordering a new surface treatment line and new shotblasting machine. This new line was connected to the already existing powder coating line, and the task was to coordinate and optimize production starting. Quality problems and mechanical problems were solved together with production and suppliers.</p>		
<p>Key words bottleneck, optimizing, powder coating, production, shot blasting, surface treatment line</p>		

TIIVISTELMÄ SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 YRITYKSEN JA KEHITTÄMISKOHTTEEN ESITTELY	2
2.1 Best-Hall maalauslinjasto prosessikuvaus	3
2.2 Riippuratakuljetin.....	4
2.3 Sinkopuhallus	4
2.4 Jauhemaalauksen laitteisto.....	4
3 TERÄKSEN ESIKÄSITTELY JA KORROOSIONSUOJAMAALAU	5
3.1 Esipuhdistus.....	6
3.2 Teräksen ruosteenpoistomenetelmät	6
3.3 Teräsharjaus, kaavinta ja hionta.....	6
3.4 Suihkupuhdistus (Sa).....	7
3.5 Vesisuihkupuhdistus (Wa).....	7
3.6 Kemialliset esikäsitteilyt	8
3.7 Teräksen korroosionsuojamaalaus.....	8
4 JAUHEMAALAU	10
4.1 Jauhemaalauksen laitteisto.....	11
4.2 Jauhemaalit.....	11
4.3 Faradayn häkki jauhemaalauksessa	12
4.4 Uunitusaika	12
4.5 Tarkastaminen ja korjausmaalauksen	12
4.6 Jauhemaalauksen automatisointi	13
5 AUTOMAATTISET TUNNISTUSTEKNIIKAT	14
5.1 Viivakoodit.....	14
5.2 RFID	14
5.3 Konenäkö	15
6 TUOTANNON SIMULOINTI	16
6.1 Enterprice dynamics	16
7 MAALAUSLINJASTON OPTIMOINTI	17
7.1 Uunin lämpökäyrämittaukset	18
7.2 Viivakoodi128:n käyttöönotto.....	18
7.3 Simulointi	19
7.4 Pohdinta ja jatkokehittämisehdotukset	19
LÄHTEET	21
KUVIOT	
KUVIO 1. Työpisteiden tärkeimmät tehtävät	3
KUVIO 2. Antureiden lämpötilakäyrä.....	18

KUVIO 3. Viivakoodin luominen.....	18
KUVIO 4. Viivakoodin muoto.....	19

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Esikäsittelytunnukset	5
TAULUKKO 2. Teräksen ruostumisasteet	6
TAULUKKO 3. Esikäsittelyasteet.....	7
TAULUKKO 4. Infralit polttoajat	11

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Best-Hall Oy:lle pintakäsittelylinjastoon. Best-Hall Oy:llä on ennestään ollut jauhemaalaukselinjasto käytössä vuodesta 2012, jossa ollut erillinen sinkopuhalluslinjasto. Uudistuksen myötä Best-Hall Oy teki investoinnin, jossa tilattiin uusi jauhemaalaukselinjasto sekä uusi sinkopuhalluslaitteisto. Tämä uusi rata yhdistettiin jo olemassa olevaan jauhemaalaukselinjastoon ja tehtäväksi jäi ratojen yhteensovittaminen. Laatuongelmia sekä erilaisia käytännön ongelmia ratkaistiin yhdessä tuotannon sekä laitetoimittajien kanssa.

Alustavaa simulointia tehtiin jo ennen tilauksen tekoa Centria-ammattikorkeakoulun toimesta, mutta kun rataa otettiin käyttöön, päätettiin tehdä vielä tarkempaa simulointia verraten todenmukaiseen rataan ja pyrittiin saamaan kuljettimen sekä koneiden maksimaalinen nopeus/pullonkaulat selvitettyä. Simuloinnin pohjalta selvitettiin, minkälainen vaikutus mahdollisesti olisi, jos yksi tuotannon vaihe pysäytetään. Tästä pyrittiin löytämään apua, kun suunnitellaan niin sanottua Non-Stop-mallia. Toisin sanoen linjastoa pyöritetään pysähtymättä pullonkaulan kohdalta ja mahdollisesti ylikapasiteetissa tuotantoaika pidennetään porrastamalla työaikoja.

Kappaleiden lämpökäyrämittauksella pyrittiin selvittämään vakioputkien optimaaliset uunitus- sekä jäähdytysajat. Tällöin saadaan materiaalivirtausta nostettua ja ripustusorret nopeammin kiertoon, jolloin ulkona olevat tuotteet saadaan nopeammin sisätiloihin roikkumaan ennen sinkopuhallusta. Tämä vaikuttaa tuotteen laatuun sekä sinkopuhallusnopeuteen. Jäissä olevat tuotteet hidastavat merkittävästi tuotteen lämpenemistä uunissa matalan alkulämpötilansa takia, mikä vaikuttaa merkittävästi materiaalin virtausnopeuteen.

Rataa käyttöönottaessa huomattiin, että kappaleiden ripustukseen täytyy kiinnittää enemmän huomiota, koska samalla ripustamisella mennään sinkopuhalluksen läpi. Ongelman selvittämisessä oltiin yhteydessä laitetoimittajaan sekä kiinnitettiin huomiota ripustustyyliin sekä maalaustelineisiin.

Lopussa vielä käsitellään GS1-128-viivakoodin tekemistä ja käyttöönottoa tuotannon yhdellä osa-alueella. Pohdinnassa mietitään, voitaisiinko tätä vielä kehittää tulevaisuudessa lisää.

2 YRITYKSEN JA KEHITTÄMISKOHTTEEN ESITTELY

Best-Hall Oy perustettiin vuonna 1975 kolmen henkilön toimesta (Leif Kempas, Bjarne Skog ja Taisto Virtanen), jolloin teräsrakenteinen kangaskatteinen halli oli Suomessa melko tuntematon. Kestävä rakenne herätti heti kiinnostusta ja runsaslumisilla alueilla huomattiin teräsrungon ylivoimaisuus. Alkujaan yritys toimi Kruunupyyn kunnassa, jossa sijaitsee myös ensimmäinen Best-Hall Oy, mutta melkopian yrityksen laajentuessa toiminta siirrettiin Kälviän kuntaan. Alussa yrityksen toiminta pääosin keskittyi kangaskatettuihin halleihin, mutta vuonna 2010 yrityksen toiminta laajentui myös teräshalleihin. Vuodesta 1997 toiminta on ollut osa Wiklöf-konsernia, jonka tärkeänä periaatteena on aina ollut pitää työpaikat kotimaassa. (Best-Hall.)

2.1 Best-Hall maalauslinjasto prosessikuvaus

Maalauslinjasto koostuu seuraavista vaiheista: panostus, sinkopuhallus, jauhemaalaus, uunitus, jäähdytys, purku, pakkaus ja siirto varastoon. Kuvio 1 näyttää työpisteiden tärkeimmät tehtävät:



KUVIO 1. Työpisteiden tärkeimmät tehtävät

2.2 Riippuratakuljetin

Toiminnaltaan järjestelmä on vaunuratajärjestelmä, jossa useat maalausorret liikkuvat itsenäisesti pyssähtyen sekä vaihtaen raiteita tarpeen mukaan. Toiminta perustuu jatkuvasti pyörivään ketjuun, jossa vaunun mekanismi on joko vapaana vedosta tai päällä. Stoppiasema nostaa vaunun mekanismin ylös vapauttaen vedon ketjulta, ja kun vaunulla on lupa mennä eteenpäin stoppiasema aukeaa, jolloin mekanismi laskee ja veto nousee päälle laittaen maalausorren liikkeelle. Toimintaa ohjaa ohjelmoitu logiikka, joka käyttää apunaan antureita, RFID:tä sekä paineilmaa.

2.3 Sinkopuhallus

Sinkopuhalluslaitteistoa käytetään maalattavien elementtien ruosteenpoiston sekä halutun pinnankarheuden takaamiseksi. Laitteistossa kiertää jatkuvasti teräskuula, joka nostetaan ruuvien ja elevaattorin avulla ylös säiliöön. Ennen säiliötä on jatkuva imu sekä teräskuulaverho seulaverkolla, josta poistetaan mahdolliset sinne kuulumattomat osat sekä liian pieneksi kuluneet teräskuulat ja pöly. Säiliöstä teräskuula jaetaan siivillä varustettuihin turbiineihin, joka heittää teräskuulan puhdistettavaa kappaletta kohden. Puhalluskammioista taas kuljetetaan ruuvien avulla teräskuula takaisin kiertoonsa. Rata ohjaa sinkonopeuden/hidastukset, mutta turbiinit saavat käskyn puhallukseen singon valoverhoilta.

2.4 Jauhemaalaus laitteisto

Jauhemaalaus järjestelmä toimii automaattitraverseilla sekä kahdella maalauspisteellä. Suurin osa kappaleen maalauksesta tapahtuu automaattisesti ja työntekijät paikkamaalaavat kohdat, joita kone ei pysty maalaamaan. Laitteistossa on myös jauhemaalain kierrätys sekä automaattinen säkinvaihto. Maalattavan kappaleen paikoitus tapahtuu valoverhojen avulla kommunikoiden maalausradan kanssa.

3 TERÄKSEN ESİKÄSITTELY JA KORROOSIONSUOJAMAALAUUS

Metallituotteet pintakäsitellään aina jollain tavalla ja yleisin tapa on maalaus. Prosessin onnistuminen vaatii aina oikeaa suunnittelua ja ammattitaitoa. Ennen maalausta pitää tunnistaa maalattava tuote ja sen pinnalla olevat epäpuhtaudet, jotka on aina poistettava huolellisesti ennen maalausta. Esikäsitteily poistavat metallipinnoilta epäpuhtaudet, jotka haittaavat maalausta. Hyvä esikäsitteily ja maalaus vaikuttavat yhdessä tuotteen lopulliseen laatuun.

Teräksen esikäsitteilyssä parannetaan maalikalvon tarttuvuutta sekä kestävyyttä. Maalauksen huonosta laadusta 50–70 % johtuu huonosta esikäsitteilystä. Esikäsitteilymenetelmät valitaan epäpuhtauden laadun ja asennus/sijointus paikan mukaisten rasitusolosuhteiden mukaan, huomioiden kappaleen muoto sekä pintakäsittelyn suorituspaikka. (Tikkurila, 10.)

Standardeissa ISO 8504 osioissa 1-3 sekä 12944-4 esitetään esikäsitteilymenetelmiä. Esikäsitteilymenetelmiä valittaessa on syytä ottaa huomioon seuraavat tekijät: käytännön suoritusmahdollisuudet, pinnan tila ja kunto, laatuastevaatimus, taloudelliset seikat sekä erikoisvaatimukset. Maalausjärjestelmän mukaan valitaan esikäsitteilyn laatuaste (Teknos käsikirja, 18). Esikäsitteilymenetelmät tunnuksineen taulukko 1.

TAULUKKO 1. Esikäsitteilytunnukset (edu.fi)

Esikäsitteilytoimenpide	Tunnus
Lian ja rasvan poisto	Pe
Fosfatoiinti	Fo
Kromatoiinti	Kr
Happopeittäys	Be
Tartuntamaalaus	Ta
Epoksikonepajapohja	E,EPF
Polyvinyylibutyyraalikonepajapohja	PVB,PVBF
Sinkkisilikaattikonepajapohja	SS,ESIZ
Sinkkiepoksikonepajapohja	SE,EPZ
Teräsharjauus	St
Suihkupuhdistus	Sa
Liekkipuhdistus	Fl
Pyyhkäisysuihkupuhdistus	SaS
Paikallinen suihkupuhdistus	PSa
Paikallinen puhdistus käsi- tai konetyökaluilla	PSt
Paikallinen koneellinen puhdistus	PMa

3.1 Esipuhdistus

Esipuhdistuksella maalattavalta pinnalta poistetaan mahdolliset ruosteenpoistoa ja maalausta haittaavat epäpuhtaudet. Esikäsitteilytoimenpiteen valintaan vaikuttavat tuotannon laatu/määrä, epäpuhtauksien laatu/määrä sekä seuraava pintakäsittelyvaihe. (Tikkurila, 11.)

Vesipesulla voi pinnasta poistaa vesiliukoisia yhdisteitä ja pesutehoa voidaan parantaa lämpötilaa nostamalla tai mekaanisen vaikutuksen avulla. Korkeapainepesussa vesi voi olla nesteenä tai osittain höyryn muodossa, jolloin puhutaan höyrypuhdistuksesta. Vesi- ja höyrypesussa voidaan käyttää lisäaineena pesuainetta. Pesuaineella nesteen tunkeutumista likakerrokseen saadaan paranemaan. Jos pesuainetta käytetään alkoholia, ei erillistä huuhteluvaihetta tarvita. (Tikkurila, 11.)

3.2 Teräksen ruosteenpoistomenetelmät

Ruosteenpoistomenetelmät voidaan jakaa mekaanisiin, termisiin ja kemikaalisiin menetelmiin, jossa maalattavalta pinnalta poistetaan valssihilse sekä ruoste. Standardissa SFS-ISO 8501-1 määritellään teräspinnan tila, joka ilmaista ruostumisasteena taulukossa 2, kun taas puhdistetun pinnan tila ilmaistaan esikäsitteilyasteena/esikäsitteilyn laatuasteena. (Teknos Käsikirja, 18.)

TAULUKKO 2. Teräksen ruostumisasteet

A: Teräspinta, jota laajalti peittää hyvin kiinni oleva valssihilsekerros, mutta jossa ruostetta on vähän tai ei lainkaan.
B: Teräspinta, jolla on alkavaa ruostumista ja jolta valssihilsekerros on alkanut irrota.
C: Teräspinta, jolta valssihilse on ruostunut pois, tai jolta se voidaan kaapia, mutta jossa paljain silmin tarkasteltuna on havaittavissa vähäistä kuopparuostetta.
D: Teräspinta, jolta valssihilse on ruostunut pois, ja jossa paljain silmin tarkasteltaessa on havaittavissa yleistä kuoppakorrosiota.

3.3 Teräsharjaus, kaavinta ja hionta

Puhdistaminen tapahtuu käyttämällä ruosteenpoistoon teräsharjaa, kaavintaa taikka hiontaa. Menetelmillä saavutettava lopputulos on suihkupuhdistusta huonompi. Näitä menetelmiä käytetään lähinnä pieniin korjausmaalauksiin, joissa suihkupuhdistus ei ole mahdollista. (Edu.fi.)

Koneellinen harjaus ei muokkaa metallia, jolloin se sopii ohuille materiaaleille. Menetelmän huonona puolena koneellinen harjaus kiillottaa puhdistettavaa pintaa, poistamatta valssihilsettä, jolloin maalin tartunta on heikkoa. (Jokinen, Kuusela & Nikkari 2012, 92.)

3.4 Suihkupuhdistus (Sa)

Suihkupuhdistuksessa raemateriaalin suihkutusta tapahtuu käyttämällä paineilmaa, painevettä tai sinkopyörää. Suihkupuhdistus on yleisin ja tehokkain menetelmä teräs- ja valurautakappaleiden ruosteenpoistoon. Taulukossa 3 näytetään esikäsittelyasteiden vaatimukset. Useat maalityypit edellyttävät suihkupuhdistusta asteeseen Sa2½ ja yleensä Sa3laatua käytetäänkin vain, jos rasitusolosuhteet ovat erittäin vaativat. Suihkupuhdistuksen jälkeen pinnoilta luonnollisesti poistetaan pöly, roskat sekä puhdistusmateriaali. (Tikkurila, 16.)

TAULUKKO 3. Esikäsittelyasteet

Sa1	Kevyt suihkupuhdistus
Sa2	Huolellinen suihkupuhdistus
Sa2½	Hyvin huolellinen suihkupuhdistus
Sa3	Suihkupuhdistus metallinpuhtaaksi
SaS	Pyyhkäisy puhdistus

3.5 Vesisuihkupuhdistus (Wa)

Vesisuihkupuhdistuksessa käytetään vain vettä. Vesi suihkutetaan 34-70 MPa:n paineella puhdistettavalle pinnalle ja kappaleen puhdistus perustuu veden iskuenergiaan pintaa vastaan. Vesisuihkupuhdistuksessa ei käytetä kiinteää puhallusraetta, jolloin toimenpide ei synnytä pölyä. Liukenevat suolat, öljyt ja rasvat poistuvat hyvin vesipuhdistuksella, eikä pinnalle jää rakeita/pölyä. Haittoina ovat valssihilseen jääminen sekä pinnan profiilittomuus. (Teknos käsikirja, 20.)

3.6 Kemialliset esikäsitteilyt

Kemiallisilla esikäsitteilyillä poistetaan metallipinnoilta maalin kiinnipysymistä haittaavat aineet. Niillä myös annetaan korroosionsuojaa yhdessä maalauksen kanssa. (Jokinen ym. 2012, 25.)

Kemiallisessa ruosteenpoistossa valssihilse ja ruoste poistetaan metallille soveltuvalla peittäusaineella, peittäus voidaan tehdä hapolla tai emäksellä. Peittäusliuoksen tarkoitus on poistaa hapettumiskerrokset syövyttämättä perusmetallia. Peittauksen jälkeen metallin pinta neutraloidaan ja kuivataan nopeasti. (Tikkurila, 17.)

Peittauksilla poistetaan metallin pinnalta sellaisia epäpuhtauksia, jotka eivät lähdä pois pesussa, jolloin metallin pinnasta saadaan puhtaampi. Peittäusaine valitaan metallin pinnalla olevien epäpuhtauksien ja lopputulokselta oletetun laadun mukaan. (Jokinen ym. 2012, 40.)

3.7 Teräksen korroosionsuojamaalaus

Teräs tulee suojata korroosiota vastaan kestävänp lopputuloksen takaamiseksi. Yleisin korroosionestomenetelmistä on teräksen maalaaminen. Maalaamisen optimoimiseksi tulee ottaa huomioon kohteen raskuusluokka, sekä maalin käyttöominaisuudet. Korroosionestomaalaus on suunniteltava huolellisesti, koska laatua on vaikea arvioida pelkästään valmiilta maalikalvolta. Hyvä suunnittelu mm. esikäsitteilyn, muodon ja liitosten suhteen on perusta teknisesti hyvälle ja taloudellisesti edulliselle pintakäsittelylle. (Teknos teräsrakentaminen.)

Teolliseen korroosionestomaalaukseen on rakennettu standardi ISO 12944, joka liittyy märkä- sekä jauhemaalaukseen. Standardissa määritellään maalauksen kestävyys kolmeen luokkaan, jossa kestävyysluokka ei määrittele takuu aikaa vaan pintakäsittelyn odotettavissa olevaa kestoikää. (Teknos Käsi-
sikirja, 11-12.)

1. Alhainen (L) 2-5 vuotta
2. Kohtalainen (M) 5–15 vuotta
3. Korkea (H) <15 Vuotta

(SFS-EN ISO 12944-1-10.)

Huomiota on syytä kiinnittää myös ympäristön olosuhteisiin, joka määritellään standardissa kuuteen ilmastorasitus luokkaan. Luokittelu perustuu teräksen ja sinkin syöpymisnopeuteen ensimmäisen vuoden aikana. (Teknos Käsikirja, 12.)

1. C1 Hyvin lievä
2. C2 Lievä
3. C3 Kohtalainen
4. C4 Ankara
5. C5-I Hyvin ankara (Teollisuus)
6. C5-M Hyvin ankara (Meri)

(SFS-EN ISO 12944-2-12.)

4 JAUHEMAALAUUS

Jauhemaalauus on monivaiheinen pintakäsittelyprosessi, joka soveltuu ensisijaisesti metallituotteille, mutta sitä voidaan kuitenkin käyttää myös metallittomille pinnoille. Sopivien materiaalien valintaan vaikuttaa materiaalin lämmönkesto. Menetelmä sisältää valmistelu, levitys ja kovetusvaiheen, jossa käytetään apuna ruiskupistoolia, ruiskukaappia ja kovetusuunia. Toisin kuin märkemaalauksessa, jauhemaalauus on kuiva viimeistelyprosessi. Jauhemaalauus tuottaa tasaisen kovan pinnan, joka on yleensä kestävämpi, kustannustehokkaampi ja ympäristöystävällisempi kuin vastaava nestemäinen pinnoite. Märkemaalaukseen verrattuna jauhemaalauksella voidaan valmistaa paksumpia ja tasaisempia pinnoitteita ilman maalin valumista. Jauhemaalit ovat yleensä kestävämpiä kuin nestemäiset maalit. Ne kestävät paremmin iskuja, kosteutta, kemikaaleja ja kulumista ja tarjoavat paremman suojan naarmuilta, hankaukselta, korroosiolta, haalistumista ja yleistä kulumista vastaan. Toinen jauhemaalien etu on liuotin- ja hiilidioksidipäästöjen puute. Tämä rajoittaa myrkyllisten ja syöpää aiheuttavien aineiden määrää ympäristössä koko prosessin aikana ja edistää jauhemaalusteollisuuden tunnistamista ympäristöystävällisemmäksi vaihtoehdoksi nestemäisille pinnoitteille. Prosessilla voi olla paljon alhaisemmat pitkän aikavälin kustannukset verrattuna märkemaalaukseen nopeamman läpimenon ja suuremman kalvonpaksuuden vuoksi. Koska jauhemaalauksen kovettumisvaiheessa osat voidaan koota, pakata ja lähettää heti osan jäähtymisen jälkeen, osat viettävät vähemmän aikaa varastossa, mikä mahdollistaa valmistajien ja viimeistelypalvelujen tarjoajien nopeamman käsittelyn. Prosessi mahdollistaa myös yli-ruiskutetun materiaalin keräämisen ja kierrätyksen hukkaan heittämisen sijaan, mikä vähentää hävitettävän jätetuotteen määrää, lisää pinnoitemateriaalin hyötysuhdetta ja alentaa materiaalikustannuksia ajan myötä. (Thomasnet.)

Jauhemaalauksella on myös muutamia haittoja verrattuna märkemaalaukseen. Suuret ja raskaat tuotteet vaativat korkeampia lämpötiloja ja pitempää lämmitystä, mikä viivästyttää tuotantoprosessia ja johtaa korkeampiin energia kustannuksiin. Jauhemaalauus laitteiston alkuinvestoinnin hinta on korkeampi kuin märkemaalauksessa, mikä investoinnin alussa nostaa kustannuksia. Myös ohuiden ja tasaisten kalvonpaksuuksien tuottaminen on vaikeaa jauhemaalauksessa, koska on haastavaa kontrolloida jauhemaalain määrää levitysvaiheessa. (Thomasnet.)

4.1 Jauhemaalaukslaitteisto

Jauhemaalauksessa tarvittava laitteisto on märkemaalaukseen verrattuna monimutkaisempi, joka sisältää vähintään seuraavat kokonaisuudet: jauheen syöttö- ja ohjauslaitteisto, jauhepistooli, jauhemaalaukskaappi vaunu/kuljetin ja uuni. Jos ohiruiskutettu jauhe halutaan ottaa talteen, tarvitaan myös talteenotolaite ja seulontalaite. Jauhemaalaukslaitteet vaativat toimiakseen kuivattua öljytöntä paineilmaa, jonka kastepiste on +4 astetta. (Jokinen ym. 2012, 187.)

4.2 Jauhemaalit

Eri jauhelaatuja pidetään uunissa eripituisia aikoja. Uunin lämpötila vaikuttaa ratkaisevasti uunitusaikaan. Jokaisella jauhelaadulla on minimilämpötila, jossa se muodostaa kunnollisen maalikalvon. Jos maalilaatuna käytetään epoksijauhetta, uunitusaika ei saa ylittyä, koska maalin värisävy kellastuu. Uunitaessa on aina muistettava, että jauhemaalivalmistajien ilmoittamat polttoajat tietyssä lämpötilassa ovat kappaleen lämpötiloja. Tämän vuoksi uunitusaika on aina pidempi kuin maalivalmistajan ilmoittama polttoaika. (Jokinen ym. 2012, 207-208.)

Raskaiden komponenttien kovettumisprosessiin on kehitetty nykypäivänä ns. matalapolttoisia jauhemaalipinnoitteita, joissa maalin verkottuminen alkaa +130–160°C:ssa ja on täysin verkottunut 8-15minuutin jälkeen. (Kukkonen 2016, 45.)

Taulukossa 4 esimerkkinä INFRALIT PE 8640 matalapolttaisen polyesterijauhe tuoteperheen polttoajoista. (Teknos Infralit.)

TAULUKKO 4. Infralit-polttoajat.

Aika	Lämpötila (metallin lämpötila)
10min	160°C
9min	170°C
6min	180°C
3min	200°C

4.3 Faradayn häkki jauhemaalauksessa

Sähköstaattisessa ruiskutuksessa ilmenee helposti Faradayn häkki -ilmiö, jos esine on monimuotoinen. Ilmiö estää maalia tarttumasta joihinkin osiin, jolloin joudutaan maalaamaan niin, että joihinkin kohtiin tulee liikaa maalia. Ilmiötä voidaan välttää maalauskulmaa muuttamalla tai säätämällä jännitettä. Tilanne voi olla jopa sellainen, että jokin kohta saadaan maalattua vasta kappaleen kääntämisen jälkeen. (Jokinen ym. 2012, 191.)

4.4 Uunitusaika

Maalattavan tuotteen materiaalin paksuus vaikuttaa merkittävästi uunitusaikaan. Mitä paksumpi materiaali on, sitä hitaammin lämpeneminen tapahtuu ja aika pitenee. Vastaavasti materiaalin paksuus vaikuttaa jäähtymisaikaan, jolloin tuotteiden poisto kuljettimelta tapahtuu hitaammin. Näin ollen eri materiaalista ei voida antaa tarkkoja uunitusaikaohjeita. Materiaalin paksuuden lisäksi aikaa pidentävät seuraavat seikat: (Jokinen ym. 2012, 207-209.)

- Kiertoilma ei pääse kosketukseen massiivisen pinnan kanssa
- Massiivinen pinta on alaosassa uunia, joka on uunin kylmin paikka
- Umpinaiset putket ja kotelorakenteet vaativat pidemmän uunitusajan
- Ilman virtaus kappaleen sisäosissa on vähäistä

(Jokinen ym. 2012, 209.)

Uuneissa, joissa lämpötilat nousevat liian hitaasti, voi käyttää lisänä Infrapunasäteilijöitä, jotka sijoitetaan heti uunin sisääntuloaukon jälkeen. Näiden käyttö jauhemaalauksessa on melko vähäistä ja ne soveltuvat lähinnä levymaisille ja tasapaksuille tuotteille. (Jokinen ym. 2012, 209-210.)

4.5 Tarkastaminen ja korjausmaalaus

Tilajan vaatimat ominaisuudet valmiista maalipinnasta tarkastetaan silmämääräisesti tai mittaamalla. Maalikalvon peittävyys, pinnan tasaisuus, pinnan kiilto, värisävyn säilyminen ja pinnan roskattomuus tarkastetaan silmämääräisesti. Mittaamalla tehtävät tarkastukset yleisimmin ovat kalvonpaksuus, sekä

tartunta. Yksinkertaisin tapa tarkistaa tartunta on lyödä jäähtynyttä tuotetta pyöreäreunaisella ripustus-koukulla. jos tartunta on hyvä, ei maalattuun pintaan jää jälkeä. (Jokinen ym. 2012, 210.)

Korjausmaalaukseen onnistuu kitkavaruspistoolilla selvästi paremmin kuin sähköstaattisella pistoolilla. Alla oleva kovettunut maalikerros toimii sähköisenä eristeenä, jolloin paksun jauhekerroksen saaminen pintaan on vaikeaa sähköstaattisella pistoolilla. Maalausjälkeä ei aina edes kannata yrittää korjata jauhemaalauksella, vaan tuotteet joko korjataan märkämaaleilla tai romutetaan. (Jokinen ym. 2012, 218.)

4.6 Jauhemaalauksen automatisointi

Automatisoinnilla lisätään jauhemaalaukseen nopeutta ja tehokkuutta. Kun jauhemaalaukseen automatisoidaan, on jokaista maalattavaa tuotetta varten tehtävä paljon säätöjä ja kokeiluja, ennen kuin sopivat säätöarvot löydetään. Aloittaessa koemaalauksia on jauhemäärät hyvä pitää mahdollisimman pieninä, jolloin näkee helpommin ne kohdat, joihin maalia tarttuu muita kohtia vähemmän. Automatisoidussa maalauksessa on kuljetin täytettävä mahdollisimman täyteen tehokkuuden lisäämiseksi ja ohiruiskutuksen vähentämiseksi. Automatisoidussa jauhemaalauksessa saadaan yleensä hyvä tulos kitkavaruspistooleilla, etenkin jos kappaleiden muodot ovat sellaisia, että niissä syntyy Faradayn häkki -ilmiö. (Jokinen ym. 2012, 220-225.)

5 AUTOMAATTISET TUNNISTUSTEKNIIKAT

Automaattisia tunnistustekniikoita löytyy markkinoilta valtava määrä. Rajasin aiheen käsittelyn rataan liittyviin aiheisiin, jotka itse katson tärkeimmiksi. Huomion arvoista on myös, että uusia tekniikoita kehitetään jatkuvasti lisää, ja onkin syytä seurata markkinoita tarkasti, jos jotain mullistavia innovaatioita tapahtuu.

5.1 Viivakoodit

Viivakoodit ovat optisesti tunnistetavia merkkijonoja, joita käytetään tietojen tehokkaaseen tallennukseen sekä kappaleiden yksilölliseen tunnistamiseen. Tekniikalla saavutettavat tärkeimmät edut ovatkin tiedonsyötön nopeus, teknologian halpuus, luennan helppous sekä tallennettujen tietojen oikeellisuus. Viivakoodin avulla tietojen syöttäminen on erittäin helppoa esimerkiksi käsilukijalla lastia luovuttaessa, jolloin tieto siirtyy automaattisesti varastohallintajärjestelmään. (Logistiikan maailma.)

Kynä ja paperi menetelmällä syntyy runsaasti virheitä ja menetelmä vie turhaa aikaa. Hyödyntämällä viivakooditekniikkaa saadaan tuotenumerot ja hyllypaikat luettua virheettä suoraan järjestelmän käytettäväksi ja langattomilla tiedonkeruulaitteilla mahdollistetaan tieto tarvittaessa siirrettyä suoraan toiminnanohjausjärjestelmän hyödynnettäväksi. (Optiscan.)

Viivakoodin tulostamiseen on syytä valittava hyvä tulostin. Matriisi- ja lämpötulostimet eivät pysty tuottamaan tarpeeksi laadukasta jälkeä, jotta koodinlukijat pystyisivät lukemaan koodin, joten koodit on syytä tehdä lasertulostimella. (Fonselius, Pekkola, Selosmaa, Ström & Välimaa 1999, 67.)

5.2 RFID

Radio Frequency Identification eli RFID on etätunnistusteknologia, joka perustuu radiotaajuuteen. 1980-luvulta lähtien sen käyttö on laajentunut laitteiden, eläinten ja jopa ihmisten tunnistamisessa. RFID mahdollistaa tunnistajien lukemisen merien tai jopa kymmenien metrien päästä sekä suurien tunnistemäärien lukemisen kerralla. (Trail.)

RFID-tunnisteet voidaan luokitella kahteen eri ryhmään: passiivisiin ja aktiivisiin. Näistä halvempi on passiivinen, joka ottaa tiedon lähettämiseen tarvitsevansa virran lukijalaitteesta. Passiivisten sisältämä tieto, sekä kantama on yleensä lyhyt, eikä passiivisten RFID tunnisteen käyttö juuri poikkea viivakoodista. Aktiiviset RFID-tunnisteet taas sisältävät oman virtalähteen, muistin ja lähettimen, ne ovat kooltaan sekä hinnaltaan suurempia. Ne eivät sovellu pienimpiin laitteisiin ja korkean hinnan takia kannattaa käyttää vain arvokkaan omaisuuden seurannassa. (Trail.)

5.3 Konenäkö

Konenäköjärjestelmä toimii kuin ihmisen näkö, ja sillä on toiminnalliset osa-alueet: optiikka, kuvanmuodostuselin, ohjausyksikkö, ohjausalgoritmi sekä valaistus. Vaikka ihmisen hahmottamis- ja erottamiskyky ovat paremmat, on ihmisen näköjärjestelmässä omat puutteensa. Konenäköjärjestelmä on parhaimmillaan tehtävissä, joissa vaaditaan jatkuvaa tarkastusta, mittaamista, laskentaa tai ajattelua, johon tuen ihmisen väsymisestä. Kameroita on kahdenlaisia, ja niillä on eri käyttötarkoitukset: Viivakamera, sekä matriisikamera. Viivakameraa käytetään liikkuviin kappaleisiin ja matriisikameraa, kun luetaan paikallaan olevia kappaleita. (Fonselius ym. 1999, 74-75.)

6 TUOTANNON SIMULOINTI

Tuotannon simulointi on digitaalinen malli, joka yhdistää prosessit, tuotteet, materiaalivirran, statiikan ja logiikan. Simulointia voidaan käyttää mm. opetus-, tutkimus-, myynti ja markkinointi- ja viihdetar-koituksiin. Simuloitava kohde voi olla yksinkertainen tuote, jossa tapahtuu muutama liike tai monimut- kainen tuotantolaitos. Simulointi tarvitsee mallin, prosessin toiminnot, käyttäytymissäännöt ja toiminta periaatteet. (Jetecon.)

Tuotannon simuloinnissa merkittävin työ on datan kerääminen, ja hyödyntäminen. Datan määrä har- voin tuottaa ongelmaa vaan ongelmat syntyvätkin dataa hyödyntäessä. Hyödynnettäessä saatetaan huo- mata, että datan laatu ei ole sitä mitä on oletettu. Lopputuloksena Simulointimalli antaa väärän tiedon takia vääriä tuloksia. (Mäkimattila, 2021.)

Simulointiprojektit voivat tuottaa huomattavan tuoton investoinneille, kun ne toteutetaan oikein. Vält- tämättä simulointi ei aina ole oikea vaihtoehto, koska simuloinnin tapahtumat perustuvat kaavoihin ja inhimilliset ratkaisut eivät toteudu. (Gibson & Banks)

6.1 Enterprise Dynamics

Enterprise Dynamics on simulointiohjelmistoalusta, joka auttaa ja tukee lähes minkä tahansa ongel- mien mallintamista ja analysointia. Ohjelmiston avulla voi löytää erilaisia vastauksia ja oivalluksia il- man fyysistä investointia ratkaisuun.

Ohjelmiston alkeet ovat kohtuullisessa ajassa helppo oppia ja toimintaperiaate on yksinkertainen. Pie- nellä opiskelulla saadaan luotuja jo hyvin toimivia keskitason simulointeja. Syvempi osaaminen taas vaatii vuosien kokemuksen sekä perehdytyksen käyttötarkoituksiin.

7 MAALAUSLINJASTON OPTIMOINTI

Yrityksen kilpailukyvyn sekä yrityssalaisuuksien turvaamiseksi merkittävimmät tulokset sekä työssä käytetyt menetelmät rajataan vain yrityksen käyttöön. Seuraavassa on lueteltuna yleisellä tasolla työvaiheita mitä kyseiselle yritykselle on tehty.

Jokaista uunia varten olisi laadittava yleisesti maalattavaksi tulevien tuotteiden lämpökäyrät, jotka voidaan laatia lämpötilapiirturilla, jossa on erilliset mittausturvit tuotteen ylä-, keski- ja alaosa varten sekä kiertoilmalle (Jokinen ym. 2012, 210). Tein tähän opinnäytetyöhön jokaisesta vakioputkimallista lämpökäyrämittaukset, joilla saatiin selvitettyä tuotteiden tarvitsemat uunitus- ja jäähdytysajat.

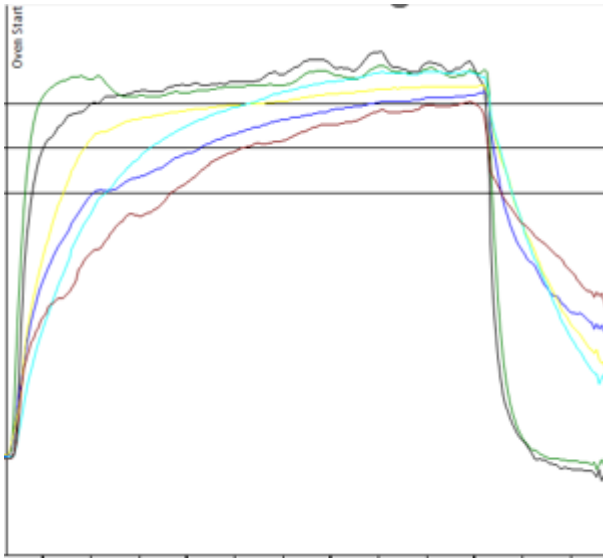
Mekaanisia ongelmia havaittiin ketjun vaihdon yhteydessä. Sinkopuhalluslaitteiston sekä radan ongelma selvittely tapahtui pääosin GoPro-kameraa hyödyntäen sekä ongelmatilanteissa kuvien avulla. Ongelmaratkaisua haettiin yhdessä laitetoimittajien kanssa.

Internet on täynnä erilaisia viivakoodigeneraattoreita, mutta riskinä on se, että tietty sivusto, jota tottuu käyttämään ei mahdollisesti ole toiminnassa vuosien saatossa. Näissä on myös virheen todennäköisyys suuri, kun luodaan pitkiä koodeja, joiden pitäisi olla oikeassa järjestyksessä. Viivakoodi 128:n käyttöönotossa huomasimme ongelmia, kun emme saaneet lukijaa toimimaan Excel-fontilla. Code.adoline-sivustolta löysin selvät ohjeet generaattorin luomiseen. Koodin käyttöönotto oli tärkeää, jotta radan logiikalle pystytään antamaan nopeasti tarkkoja käskyjä. Tulevaisuudessa olisi hyvä tehdä jokaiselle vakiotuotteelle oma viivakoodi, jolloin panostamisvaiheessa radalla on tieto tarvittavasta uunitus/jäähdytysajasta, eikä tältä osin tarvitsisi käsin suorittaa kirjausta järjestelmään.

Maalauslinjaston simulointi tehtiin kellottamista, piirustuksia sekä ratanopeuksia hyödyntäen. Singon puhallusnopeus suoritettiin tietyllä nopeudella, josta saatiin syötön keskiarvonopeus. Omasta mielestäni kun simuloidaan olemassa olevaa automatisoitua linjastoa, on simuloitsijan oltava hyvin perillä kaikista radan toiminnoista. Simuloinnin tuloksia olisi hyvä verrata olemassa olevaan rataan tyhjillä maalauksilla, jolloin saataisiin tuloksia, miten rata käyttäytyy simulointiin nähden, sillä pienelläkin virheellä voi olla suuret vaikutukset näin laajassa kokonaisuudessa.

7.1 Uunin lämpökäyrämittaukset

Uunin lämpökäyrä mittaukset toteutettiin tuotannon aikana koekappaleilla. Anturit sijoitettiin teoriaoppien mukaan uunin ylä-, keski- ja alaosaan. Kuvio 2 näyttää antureiden tuottaman datan.



KUVIO 2. Antureiden lämpötilä käyrä

7.2 GS1-128 käyttöönotto

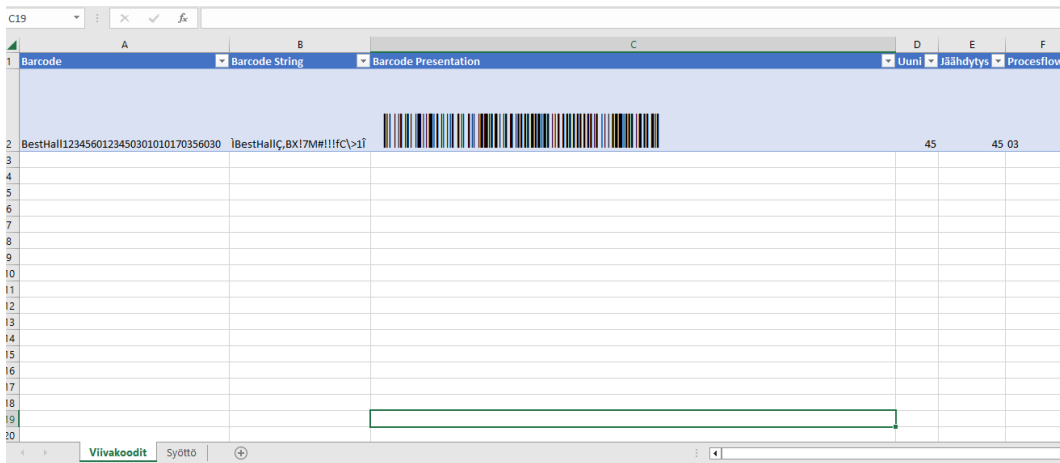
Tämän viivakoodigeneraattorin päätehtävä oli käyttäjystävällisyys. Teimme yrityksen IT-henkilön kanssa kuvion 3 mukaisen viivakoodigeneraattorin. Käytännössä pystyn nopeasti tekemään radalle käskyjä ja generaattori tekee oikean mukaisessa järjestyksessä oikean mallisen viivakoodin. Tämän jälkeen painetaan *Siirrä viivakoodi* ja kuvio 4 paljastaa minkälaiseen muotoon itse koodi tulee.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Tilausno	ID	Processflow	Pesuohjelma	Sinko-ohjelma	Maalausohj	Maalin väri	1.maali, uuni	1.maali, jääh	
2	BestHall123456	520410	03	01	01	01	4444	45	45	
3	Esikatselu:									
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										

Siirrä viivakoodi

Syötä 2 Numeroa
 Syötä 2 Numeroa

KUVIO 3. Viivakoodin luominen



KUVIO 4. Viivakoodin muoto

7.3 Simulointi

Simuloinnissa käytin Enterprice Dynamics-ohjelmaa, joka mielestäni soveltuu tämän tyyppisen radan simulointiin hyvin. Simulointi aloitettiin kellottamalla radan eri osa-alueet. Siirtymisten ajat saatiin laskettua radan pituuden sekä nopeuden mukaan. Maalauslinjaston logiikka täytyi ottaa simulointia luodessa tarkasti huomioon ja simulointia tehdessä täytyi seurata, miten simulointi käyttäytyy oikeaan linjastoon verrattuna.

7.4 Pohdinta ja jatkokehittämisehdotukset

Tässä työssä tehtiin yritykselle tarkat analyysit sekä laskelmat, siitä miten maalauslinjastoa voidaan jatkossa kehittää. Näillä toimilla maalauslinjaston laatua sekä kustannustehokkuutta saataisiin merkittävästi parannettua. Solidworks-ohjelmistolla mallinsin uudenlaisen maalaustelineen, jossa otin huomioon radan, laitteiden ja työmenetelmien vaatimukset.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin laajuudestaan sekä ongelmista huolimatta. Simuloinnin avulla löydettiin uusia pullonkauloja. Lämpötilakäyrien avulla saatiin optimoituja uunitus- sekä jäähdytysajat. Opinnäytetyön suurimpana haasteena olikin saada tilaajalle selkeästi esiteltävä dokumentaatio, joka ei muodostu liian pitkäksi. Myös teoria osion laatiminen täytyi pitää suppeana aihealueiden runsauden takia.

Kehittämiskohteita löydettiin muun muassa seuraavista asioista.

- Kapasiteetin nosto työntekoa sekä radan logiikkaa muuttamalla
- Uudet investoinnit
- Viivakoodin hyödyntäminen tuotannossa
- Singon sekä maalaus koneen optimointi
- Uudet maalaustelineet

LÄHTEET

- Best-Hall. *Pioneeriyrityksestä kansainväliseksi hallirakentamisen edellä kävijäksi*. Saatavissa: <https://www.besthall.com/fi/blogit/pioneeriyrityksesta-kansainvaliseksi-hallirakentamisen-edellakavijaksi/>. Viitattu 2.2.2023.
- Code.adonline. *Easily generate code-128*. Saatavissa <https://code.adonline.id.au/easily-generate-code-128-barcodes-in-excel/>. Viitattu 2.1.2023.
- Edu.fi. *Metallituote maalaus*. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/lm6.html>. Viitattu 3.4.2023.
- Fonselius, J., Laitinen, E., Pekkola, K., Sampo, A. & Välimaa, T. 1994. *Anturit: Koneautomaatio*. 3. painos. Helsinki: Painatuskeskus.
- Gibson R. & Banks J. *Don't simulate When*. Saatavissa: http://site.iugaza.edu.ps/sagha/files/2010/02/Dont_Simulate_When.doc. Viitattu 2.3.2023.
- Jetecon. *Simulointi*. Saatavissa: <https://jetecon.fi/ratkaisut/simulointi/>. Viitattu 3.2.2023.
- Jokinen, I. & Kuusela, A. & Nikkari, T. 2012. *Pinnalla 2 Metallituotteiden maalaus*. 2 uudistettu painos. Tampere: Juvenesprint.
- Jltypes. *Viivakoodiopas*. Saatavissa: <http://www.jltypes.com/fi/viivakoodi/viivakoodiopas>. Viitattu 3.4.2023.
- Kukkonen, M. 2016. *Kaksikerrosjauhemaalaus korroosiosuojana*. Saatavissa: 2016_03_kaksikerrosjauhemaalaus.pdf. Viitattu 3.2.2023.
- Logistiikan maailma. *Viivakooditekniikka*. Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/ohjausjarjestelmat/varastohallintajarjestelmat/viivakooditekniikka/>. Viitattu 2.2.2023.
- Optiscan. *Viivakoodiopas*. Saatavissa: https://www.optiscangroup.com/fi/viivakoodiopas?gclid=EAIaIQobChMI2qLI9KKS_QIVEd3Ch3s3gCQEAAAYAiAAEgIWpvD_BwE. Viitattu 3.2.2023.
- Mäkimattila, A. 2021. *Tuotannon simulointi*. Saatavissa: <https://blog.pinja.com/tuotannon-simulointi-onnistuu-laadukkaan-datan-avulla>. Viitattu 3.5.2023.
- SFS-EN ISO 12944. *Teräsrakenteiden korroosionesto*. 1998. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- Teknos Infralit. *Tuoteseloste*. Saatavissa: https://www.teknos.com/document/tds/INFRA-LIT%20PE%208640_TDS_fi.pdf. Viitattu 4.3.2023.
- Teknos käsikirja. *Korroosionestomaalauksen käsikirja*. Saatavissa: https://www.teknos.com/globalassets/teknos.fi/teollisuuteen/aineisto/fi_korroosionestomaalauksen_kasikirja_2013.pdf. Viitattu 3.4.2023.
- Teknos. *Teräsrakentaminen*. Saatavissa: <https://www.teknos.com/fi-FI/ammattilaisille/tuotteet/terasrakentaminen>. Viitattu 4.3.2023.

Thomasnet. *Custom manufacturing*. Saatavissa: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-powder-coating/>. Viitattu 4.3.2023.

Tikkurila. *Metallipintojen teollinen maalaus*. Saatavissa: <https://www.yumpu.com/fi/document/view/38867566/metallipintojen-teollinen-maalaus-pdf-tikkurila>. viitattu 2.2.2023.

Trail. *Viivakoodi vertailu*. Saatavissa: https://trail.fi/fi/blog/rfid-nfc-qr-koodi-viivakoodi-vertailu/?gclid=EAIaIQobChMIubvEg6vZ_gIVFWEYCh0U_gn2EAAYAiAAEgIYpvD_BwE viitattu 3.5.2023.