



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jussi Koivusalo

Maalaamon olosuhdemittauksien automatisointi

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Automaatio tekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Jussi Koivusalo

Työn nimi: Maalaamon olosuhdemittauksien automatisointi

Ohjaaja: Juha Hirvonen

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 36

Liitteiden lukumäärä: 0

Työn tavoitteena oli löytää valmis ratkaisu MSK Plastin kahden maalaamon ja niiden pesureiden olosuhteiden mittaukseen. Mitattavia olosuhteita ovat mm. maalausammioiden lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Työssä tärkeänä pidettiin mahdollisuutta hyödyntää olemassa olevia laiteratkaisuja, sekä mittaustulosten seurantaan käytettävän käyttöliittymän päivittämistä laitehankintojen yhteydessä.

Työn tuloksena valmistui suunnitelma vaadittaville laitteistopäivityksille, sekä selvitys miksi niitä tarvitaan. Lisäksi työn aikana löytyi kehitysehdotuksia, jotka projektin alkaessa voitaisiin toteuttaa. Kehitysideat liittyisivät olosuhteiden automaattiseen ohjaamiseen.

Ratkaisuehdotus jäi vajavaiseksi yhteistyöyrityksen ongelmista johtuen. Yhteistyöyritys, joka auttoi löytämään oikeat komponentit ja asennukset, ei pystynyt antamaan tarjousta koko työlle. Toimeksiantaja MSK Plast jatkaa työn selvittelyä muiden palveluntarjoajien kanssa.

¹ Asiasanat: olosuhde, mittaus, maalaus, standardointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation engineering

Specialisation: Machine automation

Author: Jussi Koivusalo

Title of thesis: Automatization of condition measurement in paint shop

Supervisor: Juha Hirvonen

Year: 2022

Number of pages: 36

Number of appendices: 0

The objective of the thesis was to find a solution, for updating old measuring equipment of two automated painting lines and washers in the factory of a customer company. The customer wanted to find out if the old sensors could be used and connected to the new logic. Another very important aim was to find a clear and reliable user interface, where the paint shop operator could see the real time condition.

As the result of the thesis there was a plan for the technical requirements of the equipment updates, and it was explained why the measurements are important. Also, some ideas for development were found during the thesis project, and they concerned the automated condition controlling of the paint shop.

The solution was left incomplete, because the collaboration company which was involved in finding the right components and assembling the setup had some problems and could not give their final quotation for the whole installation. The customer, MSK Plast, will continue the planning with some other companies.

¹ Keywords: condition, measuring, paintshop, standardisation

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	2
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoite.....	7
1.3 Työn rakenne	8
1.4 Toimeksiantaja	8
2 MITTAUS, ANTURIT, RAAKA-AINEET JA LAITTEET.....	9
2.1 Mittaaminen.....	9
2.1.1 pH-arvo	9
2.1.2 Sähkönjohtavuus	10
2.1.3 Lämpötila	10
2.1.4 Kosteus.....	11
2.2 Anturitekniikka	11
2.2.1 Platinavastusanturi.....	12
2.2.2 Termoelementit	12
2.2.3 pH-elektrodi.....	13
2.3 Maalit.....	13
2.3.1 Pohjamaalit	13
2.3.2 Pintamaali	14
2.3.3 Kirkaslakat	14
2.4 Maalausrobotit.....	15
3 PROSESSIKUVAUS JA LÄHTÖTILANNE	16
3.1 Pesurit ja niiden toiminta	17
3.2 Käytössä olevat maalausrobotit.....	20

3.3	Vanhat anturoinnit ja niiden hyödyntäminen.....	21
3.4	Datalogger.....	23
3.4.1	CEM20.....	24
3.4.2	DT80M.....	24
3.5	Fidelix-yhteistyö.....	25
3.6	Laitteistovaatimukset.....	25
4	HANKINTAEHDOTUS.....	27
4.1	Tarjouspyyntö.....	27
4.2	pH-mittaus.....	27
4.2.1	Lähetin.....	27
4.2.2	pH-anturi.....	28
4.3	Sähkönjohtavuus.....	29
4.3.1	Lähetin.....	29
4.3.2	Sähkönjohtavuusanturi.....	30
4.4	Lämpötila- ja kosteusmittaukset maalausammioissa.....	30
4.5	Käyttöliittymä ja datan keräys.....	30
5	JATKOKEHITYSSUUNNITELMA.....	33
5.1	Pesuainepitoisuuden mittaustavan muutos.....	33
5.2	Lämpötilan ja kosteuden säätö.....	33
5.3	Käyttöliittymä.....	34
6	YHTEENVETO.....	35
	LÄHTEET.....	36

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Kuva pesurin altaista	19
Kuva 2. Maalausrobotin kellolautanen.	20
Kuva 3. Vanha lämpötila- ja kosteusanturi Maalaamo 1:ssä.....	21
Kuva 4. Maalaamo 1:ssä käytössä olevan Dataloggerin kytkentä	24
Kuvio 1. Maalamojen prosessikuvaus.....	17
Kuvio 2. Pesurin prosessikuvaus	18
Kuvio 3. DST1000-lämpöanturin testauskytkentä. Vertailukohteena Thermokon-anturi (keltainen viiva).....	22
Kuvio 4. DST1000-kosteusanturin testauskytkentä. Vertailukohteena Thermokon-anturi (keltainen viiva).....	23
Kuvio 5. Käyttöliittymä.....	31
Kuvio 6. Käyttöliittymän mittausdata	31
Taulukko 1. BAMOPHAR 107 -lähettimen tekniset tiedot	28
Taulukko 2. BAMOPHAR 364 -lähettimen tekniset ominaisuudet.....	29

Käytetyt termit ja lyhenteet

1K	1-komponenttinen (maali), ilman vaikutuksesta kuivuva.
2K	2-komponenttinen (maali), kemiallisen reaktion vaikutuksesta kuivuva.
Anturi	Digitaalinen mittalaite, josta luettu tieto lähetetään logiikalle.
Maalaamo 1	Vuonna 2001 rakennettu automatisoitu maalauslinja.
Maalaamo 2	Vuonna 2018 rakennettu automatisoitu maalauslinja.
Mittaus	Halutun suureen arvon selvittäminen.
Olosuhde	Vallitseva lämpötila tai huoneen ilmankosteus.
Robotti	Ohjelmoitava teollisuusrobotti.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työ tehdään MSK Plastin reaktiovaluyksikölle. Reaktiovaluyksikössä valetut muoviosat maalataan asiakkaiden valitsevilla väreillä. Maalaamiseen käytetään kahdella maalauslinjalla DURR- ja ABB-merkkisiä maalausrobotteja. Ennen maalausta osat pestään ja maalauksen jälkeen ne kuivataan kuivatusuunissa.

Kummallakin maalauslinjalla mitataan esikäsittelyn (pesun) olosuhteita, vesien pH-arvot sekä huuhtelun sähkönjohtokyky. Maalauslinjalta mitataan lämpötiloja ja kosteuksia kaikista maalausammioista ja välihahdutustiloista. Kuivatusuunista mitataan pelkästään lämpötila. Lämpötila- ja kosteusmittauksista tulokset saadaan automatisoidusti yrityksen dataloggeriin. Esikäsittelyn mittaukset tehdään manuaalisesti käsin mittaamalla.

Kaikki mitatut arvot kirjataan käsin vuororaportille, joka on Excel-tiedosto. Excel-tiedosto ilmoittaa värikoodauksella, onko mitattu arvo tavoitteessa vai ei. Ongelmallista on se, että tieto saadaan vasta siinä kohtaa, kun arvot kirjataan. Tällöin voi olla jo myöhäistä reagoida muuttuneisiin olosuhteisiin. Lisäksi paljon puuttuu mittausrvoja ja tehtyjä toimenpiteitä.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on tuottaa valmis suunnitelma siitä, miten kaikki maalamoista kerättävä olosuhdetieto kerätään automaattisesti samaan paikkaan sekä luettavaan muotoon. Työ jaetaan kolmeen vaiheeseen:

1. Kartoitetaan, millaisella laitteistolla pesureiden vesien mittaukset suoritetaan. Aiemmin toteutettu käsin.
2. Etsitään palveluntarjoaja, jonka palveluun voidaan kerätä saadusta datasta historiaa.

3. Saadusta datasta luodaan käyttöliittymä maalamojen operaattoreille. Datasta pitää pystyä selkeästi seuraamaan reaaliajassa seurata olosuhteiden kehittymistä, ja sen perusteella tehdä toimenpiteitä tarvittaessa.

1.3 Työn rakenne

Luvussa 1 esitellään työn sisältö ja tärkeimmät tavoitteet, sekä toimeksiantaja. Luku 2 käsittelee mittauksen ja mitattavien kohteiden teoriaa ja tähän käytettävän laitteiston rakennetta, sekä käytössä olevien maalien rakennetta. Luvussa 3 kerrotaan prosessin nykytilasta ja laitteista, sekä mahdollisten vanhojen antureiden hyödyntämisestä. Luvussa 4 on esiteltyä hankintaehdotelma, josta jäi valitettavasti puuttumaan suuri osa tarvittavista laitteista. Luku 5 sisältää jatkokehitysehdotukset. Viimeisenä on luku 6, joka on työn loppupohdinta.

1.4 Toimeksiantaja

Opinnäytetyö tehdään Kauhavan Ylihärmässä toimivalle MSK Plastin reaktiovaluyksikölle. MSK Plast on liikkuvien työkoneiden ja teollisuuden muoviosien sopimusvalmistaja. Reaktiovaluyksikkö on keskittynyt näistä ensimmäiseen. Plastilla on henkilökuntaa reaktiovaluyksikössä n. 70 henkeä (MSK Plast, sisäinen tietolähde, 2.12.2021).

Reaktiovalussa muovipuristimelle tulee kahta nestemäistä muovikomponenttia, jotka lämmön ja kemikaalisen reaktion aiheuttamana kovettuvat erittäin kestäväksi, mutta myös joustavaksi kappaleeksi.

Puristeiksi kutsutut muovikappaleet viimeistellään kahdella ABB:n IRB-sarjan robotilla, jonka jälkeen ihminen vielä tarkastaa työnjäljen. Viimeistellyt aihiot ripustetaan kahdelle maalauksinjalle, jossa robotit maalavat ne asiakkaan väritoiveiden mukaisesti. Lopuksi maalatuille kappaleille suoritetaan kokoonpano, tai ne pakataan suoraan kuljetettavaksi asiakkaalle.

2 MITTAUS, ANTURIT, RAAKA-AINEET JA LAITTEET

2.1 Mittaaminen

Metrologia on mittaamista käsittelevä tieteenala, jonka keskeisiä käsitteitä ovat (Andersson, 1997, s. 120):

- suureet
- mittayksiköt ja niiden mittanormaalit
- mittaukset (mittausmenetelmät, mittaaminen ja tarkkuuden arviointi)
- mittauslaitteet
- mittaustulosten käsittely ja luotettavuuden arviointi
- mittaustulosten inhimilliset tekijät.

Anderssonin (1997, s. 120) mukaan mittaustoimen tehtävänä tuotantotekniikassa on selvittää kappaleita ja prosesseja mittaamalla, ovatko asetetut parametrit oikeat ja pysyneet ennallaan, vai vaatiiko jokin parametri säätöä. Tulosten tilastollisen seurannan avulla pystytään havaitsemaan asetettujen toleranssien ylittymistä ja seuraamaan trendejä (mts. 121). Mittaaminen on myös tärkeä osa tuotantoprosessin laadunvarmistusta.

Toleranssit kuuluvat oleellisesti mittaamiseen (Andersson, 1997, s. 122). Toleransseilla tarkoitetaan rajoja, joiden sisällä tietty suure tai ominaisuus saa vaihdella sen ollessa silti käytökelpoinen.

2.1.1 pH-arvo

pH-mittaus on erikoistapaus ioniselektiivisistä mittauksista (Aumala, 1998, s. 205). Ioni-selektiivisillä elektrodeilla voidaan liuksesta mitata määrätyn ionin väkevyys. Happojen ja emästen vesiliuosten happamuus johtuu hydronium- eli oksoniumioneista H_3O^+ ja emäksisyys hydroksidi-ioneista OH^- (mts. 205).

pH:n ollessa suurempi kuin 7 on kysymyksessä emäksinen liuos, ja pH:n seitsemää pienemmillä arvoilla liuos on taasen hapan (Aumala, 1998, s. 206). Kaavan 1 mukaan määriteltynä pH:n arvot asettuvat välille 0–14 (mts. 206).

$$pH = -\lg[H_3O^+] \quad (1)$$

2.1.2 Sähkönjohtavuus

Sähkönjohtavuus on mittayksikkö veden kyvyllä johtaa sähkövirtaa (United States Environmental Protection Agency (US. EPA), 2021). Koska liuenneet suolat ja muut epäorgaaniset kemikaalit johtavat sähkövirtaa, johtavuus paranee suolan pitoisuuden kasvaessa. Orgaaniset yhdisteet kuten öljy eivät johda sähköä kovinkaan hyvin, ja tämän takia niillä on matalampi johtavuus. Myös lämpötila vaikuttaa johtavuuteen, lämpimämpi vesi johtaa paremmin sähköä kuin kylmä.

2.1.3 Lämpötila

Lämpötila on yleiskäsite, jolla tarkoitetaan kuumaa ja kylmää mitta (Hautala & Peltonen, 2011, s. 157). Lämpötila on SI-järjestelmän perussuure, sen yksikkö on kelvin (K). Kelvinasteikko alkaa matalimmasta lämpötilasta, absoluuttisesta nollapisteestä, joka on 0 K (mts. 158). Siksi puhutaankin absoluuttisesta lämpötila-asteikosta. Yleisemmin lämpötilaa kuitenkin mitataan celsiusasteikolla. Näiden lämpötilamittayksiköiden välinen muunnoskaava menee seuraavasti:

$$K = ^\circ C + 273,15 \quad (2)$$

Kaavassa K tarkoittaa lämpötilaa kelvineissä ja C lämpötilaa celsiusasteissa.

Maalaamoissa lämpötilalla on suuri vaikutus prosessien sujuvuuteen ja toimivuuteen. Toimeksiantajan havaintojen mukaan optimaalinen lämpötila maalaukselle on 21–26°C. Liian kylmissä olosuhteissa maali ei kuivu halutulla tavalla, ja voi aiheuttaa ongelmia kiinnipysyvyyden kanssa. Liian kuumassa maali taas kuivuu liian nopeasti, mikä visuaalisesti

tarkastellessa näkyy ”rakkuloina” tai halkeamina ja mahdollisten seuraavien maalikerrosten kiinnipysyvyydessä tulee ongelmia.

2.1.4 Kosteus

Ilmankosteudella ρ tarkoitetaan ilmassa olevan vesihöyryn massaa tilavuusyksikköä kohden (Hautala & Peltonen, 2011, s. 220). Vesihöyryn massa, eli ilmankosteus, lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti (mts. 220):

$$\rho = m/V \quad (3)$$

missä V on tarkastelutilavuus. Absoluuttisen kosteuden yksikkö on $[\rho] = \text{kg/m}^3$. Käytännöllisempää on usein kuitenkin tarkastella kosteutta yksikössä g/m^3 (Hautala & Peltonen, 2011, s. 220).

Vähäliuotteisten ja vesiohenteisten maalien laaja käyttö tarkoittaa, että kosteuden hallinta on välttämätöntä maalausammiossa (Condair, 2021). Vesiohenteisiä maaleja käytettäessä hyväksi havaittu optimaalinen ilman suhteellinen kosteus (RH, Relative Humidity) on jopa 65–75 % (mt). Tämä takaa tasaisen ruiskutuslaadun ja tasaisen kerrostumisen estämällä aerosolin haihtumisen liian nopeasti (mt).

Muoviosia maalatessa on tärkeää huomioida myös kappaleiden staattisen sähkön kertyminen (Condair, 2021). Matala suhteellinen kosteus voi aiheuttaa työskentely-ympäristöstä kuumaa ja kuivaa, tämä aiheuttaa työntekijöiden epämukavuutta ja staattisen sähkön kertymistä, vetäen pölyä kappaleeseen.

2.2 Anturitekniikka

Anturi on laite, joka ottaa vastaan informaatiota jollakin fysikaalisella tai kemiallisella tavalla ja muuttaa sen ulostulosuureeksi, joka on verrannollinen sisäänmenosignaaliin (Aumala, 1998, s. 15). Anturi siis muuntaa mitatun suureen digitaaliseen muotoon ja lähettää tiedon joko langallisesti tai langattomasti eteenpäin logiikalle. Antureita voidaan kutsua koneen

tuntoelimiksi (mts. 16). Ne välittävät tietoa ohjausjärjestelmälle toiminnan tehostamiseksi ja ennakoivan kunnossapidon mahdollistamiseksi (Pihkala, 2008, s. 12).

Mittaustulos sisältää tavallisesti erilaisia satunnaisia ja systemaattisia virheitä (Ikonen ym., 2000, s. 239). Tunnetut systemaattiset virheet poistetaan korjatusta mittaustuloksesta. Anturin valmistaja saattaa ilmoittaa laitteen teknisissä tiedoissa mittauksen tarkkuuteen liittyviä tietoja, kuten mittausepävarmuus, epälineaarisuus ja hystereesi (mts. 240).

2.2.1 Platinavastusanturi

Vastusantureista ehdottomasti yleisin anturityyppi on Pt-anturi (Säätö, 2022). Lyhenne Pt tarkoittaa platinavastusta. Merkintä Pt100 taas tarkoittaa platina-anturia, jonka vastus on 100 ohmia 0°C:een lämpötilassa. Kun lämpötila laskee, vastus laskee ja lämpötilan noustessa vastuskin suurenee (mt). Vastuksen muutoksen suuruus on noin $0,39\Omega/^{\circ}\text{C}$. Pt100-antureiden mittausalue on välillä $-200\text{--}550^{\circ}\text{C}$ (mt).

Platinavastusta ei pysty liittämään suoraan tuotantoprosessiin johtimista, vaan siinä on anturin päällä aina mittaussauva ja eriste (Säätö, 2022). Lisäksi se usein sijoitetaan suojataskun tai putken sisään, jonka tarkoitus on suojata mekaanisilta iskuilta ja kulumiselta (mt). Anturin vastusarvo muutetaan 4–20mA:n viestiksi joko erilaisilla lähettimillä tai suoraan mittausjärjestelmään kytkemällä (mt).

2.2.2 Termoelementit

Termoelementillä pystytään mittaamaan Pt-antureita korkeampia lämpötiloja (Säätö, 2022). Termoelementin toiminta poikkeaa suuresti vastuksen muutokseen perustuvan Pt-anturin toiminnasta. Anturissa on kaksi eri metallista valmistettua lankaa hitsattu toisesta päästä yhteen (mt), ja tätä kutsutaan vertailupisteeksi tai kylmäksi pääksi. Termoelementin vertailupisteestä mitataan lämpötilaan verrannollinen jännite millivoltteina (mV). Lämpötilaeron muuttuessa lankojen päissä myös tämä mV-arvo muuttuu (mt).

Termoelementtejä on erityyppisiä, ne on nimetty eri kirjaimilla. Yleisimmät tyypit ovat K, S ja B. Jokainen tyyppi mittaa eri mittausalueelta ja niillä on oma herkkyytensä ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) (Säätö,

2022). Näiden anturityyppien johtimet on valmistettu mm. nikkeli-kromi- tai platina-rhodium-seoksista, ja niiden mittausalueet ulottuvat välille $-200\dots 1800^{\circ}\text{C}$ (mt).

2.2.3 pH-elektrodi

Tavallisimmin pH:n mittauksessa käytetään lasielektrodia (Aumala, 1998, s. 206). Sen muodostaa lasinen säiliö, jossa on pallomainen, pH:lle herkkä, erikoislasista valmistettu kärki. Säiliön täyttönesteenä käytetään Cl-ioneja sisältävää liuosta. Lasisäiliön sisällä on itse elektrodi, jota myöskin sisäiseksi elektrodiksi kutsutaan. Se valmistetaan joko hopea-, kalomel- tai talamid-elektrodeista.

Sisäinen elektrodi välittää lasielektrodin kalvon ja mitattavan liuoksen välille syntyvän potentiaalieron elektrodin johtimeen (Aumala, 1998, s. 207). Potentiaalieron muodostuminen perustuu liuoksen H^+ -ionien ja lasikalvon alkali-ionien väliseen vaihtoon.

2.3 Maalit

Länsi-Euroopassa muovien pinnoitukset (maalaukset) siirtyvät voimakkaasti kohti vesipohjaisia materiaaleja täyttääkseen ympäristövaatimukset (Streitberger & Dössel, 2008, s. 320). Pohjois-Amerikassa käytetään edelleen yleisesti liuotinpohjaisia maaleja. Maalien lisäksi osien pinnoituksessa saatetaan käyttää kirkaslakkaa, joka antaa pinnalle lopullisen kiillon ja suojaa sään vaikutuksilta.

2.3.1 Pohjamaalit

Pohjamaalin tärkeimmät tehtävät ovat:

- tasoittaa käsiteltävä pinta ja peittää virheet
- lisätä tartuntaa pintamaalille
- estää kiveniskemien aiheuttama maalin irtoaminen
- toimia väliaineena pintamaalin ja maalattavan materiaalin välillä
- peittää materiaalin väri, ja lisätä pintamaalin peittävyttä (Streitberger & Dössel, 2008, s. 321).

Muovipohjamaalit ovat sävyltään vaaleasta tummanharmaaseen tai ne voivat olla myös sävytettyjä pintaväriä vastaavaksi (Streitberger & Dössel, 2008, s. 321). Iskunkestävät, liuotin-pohjaiset pohjamaalit on yleensä valmistettu polyesterihartsista, ja niissä käytettävä kovetin on isosyanaattipohjainen (2K) (mts. 321).

Vesipohjaisia pohjamaaleja pidettiin pitkään huonosti tarttuvina (Streitberger & Dössel, 2008, s. 322). Vedellä on paljon suurempi pintajännitys kuin liuotinmaaleilla, joten sitä ei voi levittää yhtä paksultai käyttää täyteaineena kuten liuotin-pohjaisia. Näistä ongelmista huolimatta vesipohjainen pohjamaaliteknologia on kehittynyt, mikä on parantanut tarttuvuutta eri materiaaleihin. Nämä 1K- ja 2K PUR (Polyuretaani) -vesipohjamaalit ovat onnistuneet lyömään itsensä läpi Euroopassa, missä ne ovat huippuluokkaa. Vesipohjaisten pohjamaalien rakenne koostuu koviksi ja pehmeiksi jaotelluista hartsi-sidosaineista, jotka on modifioitu dimetyylihapolla (DMPA) tukemaan vesirunkoa. 2K-polyuretaanipohjamaalien tapauksessa polyuretaanilla on ylimääräisiä hydroksyyli-ryhmiä jotka reagoivat yhdessä veden kanssa matala viskositeettiseen polyisosyanaattiin.

2.3.2 Pintamaali

Pintamaali antaa maalattavalle kappaleelle halutun värin. Pintavärejä sekoittamalla on mahdollista saada tuhansia eri värisävyjä, ja käyttämällä erilaisia raaka-aineita, on mahdollista tehdä myöskin metalli- tai helmiäissävyjä. MSK Plastilla on käytössä yhteensä 12 eri värisävyä.

Vesipohjaiset pintamaalit ovat nykyään huipputasoa muoviosille, ne ovat käytössä lähes kaikkialla (Streitberger & Dössel, 2008, s. 323). Maailmalla on käytössä lukuisia sidosaineyhdistelmiä vesipohjaisille pintamaaleille, sisältäen mm. fyysisesti kuivuvan vesipitoisen polyuretaanin, akryyleja, polyuretaaniakryyli-hybridejä ja polyestereitä.

2.3.3 Kirkaslakat

Lakkauksella maalatulle pinnalle saadaan parempi iskun-, sään- ja kulutuksenkestävyys. Lisäksi pinnasta tulee kauniin kiiltävä lakkaamalla. 1-komponenttiset pintamaalit tarvitsevat lähestulkoon aina lakan suojakseen.

Muoviosia maalatessa kirkaslakkojen täytyy olla joustavampia verratessa normaaleihin lakkoihin, koska kirkaslakka vaikuttaa merkittävästi muovipinnan iskunkestävyyteen (Streitberger & Dössel, 2008, s. 323). Euroopassa muoveja maalavat yritykset käyttävät matalapaisoisia 2-komponenttisia polyuretaanilakkoja, jotka paistetaan 80–90 °C. Sidosaineena käytetään lämpökovettuvaa polyakryyliä, joka on sekoitettu polyesteriin, ne molemmat toimivat hydroksyyliiryhmillä.

2.4 Maalausrobotit

Maalausrobotit ovat 6-akselisia teollisuusrobotteja, ja niihin on integroitu maalilinjat ja maalaussuuttimet (MSK Plast, sisäinen tietolähde, 22.3.2022). Roboteista saadaan paras hyöty maalatessa sarjatuotantoeriä, jotka vaativat samojen liikeratojen toistoa.

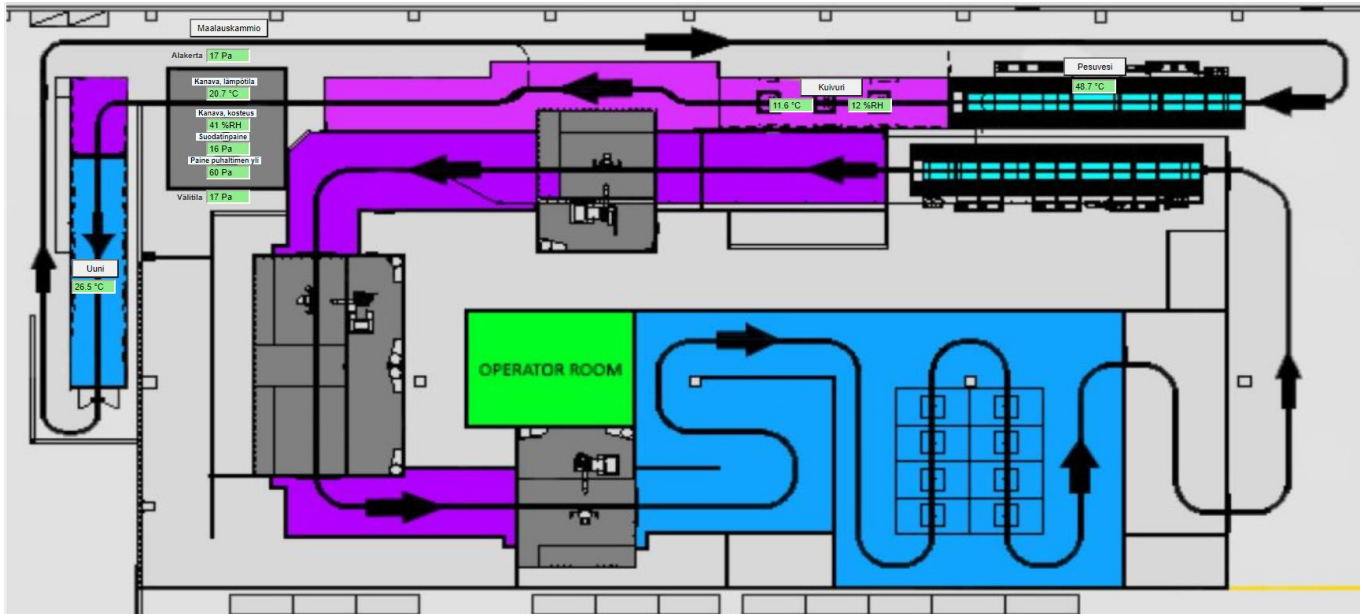
3 PROSESSIKUVAUS JA LÄHTÖTILANNE

Kuten luvuissa 1.1 ja 1.4 on kerrottu, MSK Plast valmistaa muoviosat valamalla kahdesta nestemäisestä muovikomponentista, jotka sekoituessaan lämmön ja kemiallisen reaktion johdosta kovettuvat erittäin kestäviksi kappaleiksi. Kappaleille suoritetaan ennen maalausta tarvittavat viimeistely- ja pohjatyöt kahdella robotilla sekä manuaalisesti käsin. Viimeistellyt kappaleet ripustetaan välivarastoon odottamaan maalausta.

Plastilla on käytössä kaksi erillistä ja itsenäistä automatisoitua maalauslinjastoa. Ensimmäinen näistä, Maalaamo 1, on rakennettu vuonna 2001. Linjastolla on käytössä niin kutsuttu multilayer-menetelmä, eli maalaukseen kuuluu esikäsittelyn lisäksi pohja- ja pintamaalaus sekä tietenkin lakkaus. Käytettävä lakka on liuotinpohjainen. Käytettävät maalit ovat vesiohenteisia, minkä takia on entistäkin tärkeämpää, että olosuhteet ovat halutun kaltaiset.

Maalaamo 2 eroaa ensimmäisestä linjastosta prosessissaan. Maalaamossa 2 on käytössä monolayer-menetelmä, jossa kappaleeseen levitetään ainoastaan pintamaali. Käytössä on myös vesiohenteinen, mutta 2-komponenttinen ilma-kuivuva polyuretaanimaali. Pintamaalissa käytettävä kovete on isosyaniitti-pohjainen.

Kuviossa 1 olevassa prosessikuvauksessa näkyvät Maalaamot 1 ja 2. Maalaamo 1 on alempana oleva pidempi kierros, ja Maalaamo 2 on ylempänä ja lyhyempi. Kuvassa mustalla on merkitty automaattiset pesurit (2 kpl), violetilla veden kuivatus- ja haihdutustilat, harmaalla maalauskammiot sekä sinisellä kuivatussuunit.

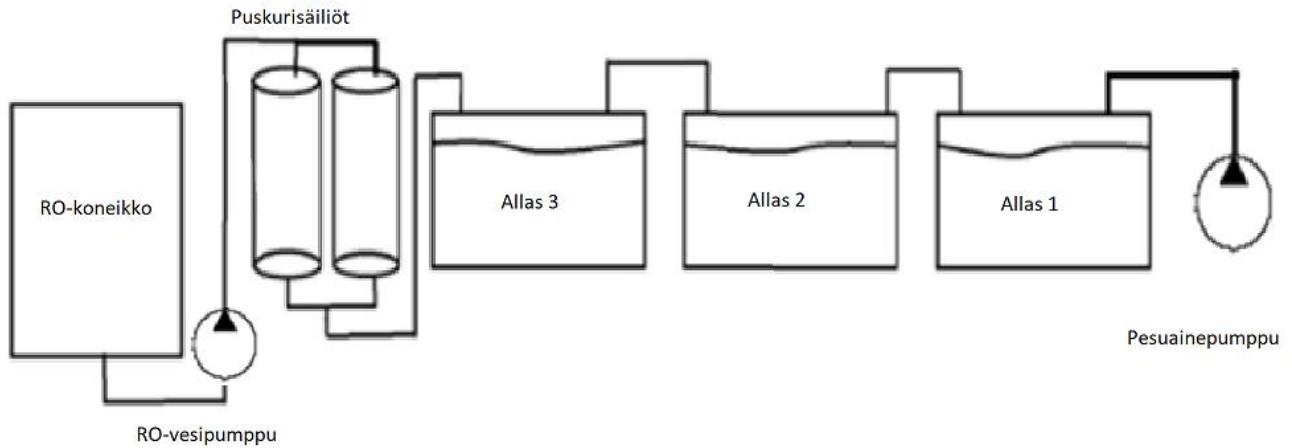


Kuvio 1. Maalamojen prosessikuvaus (MSK Plast). Vihreissä laatikoissa on mittaustuloksia.

3.1 Pesurit ja niiden toiminta

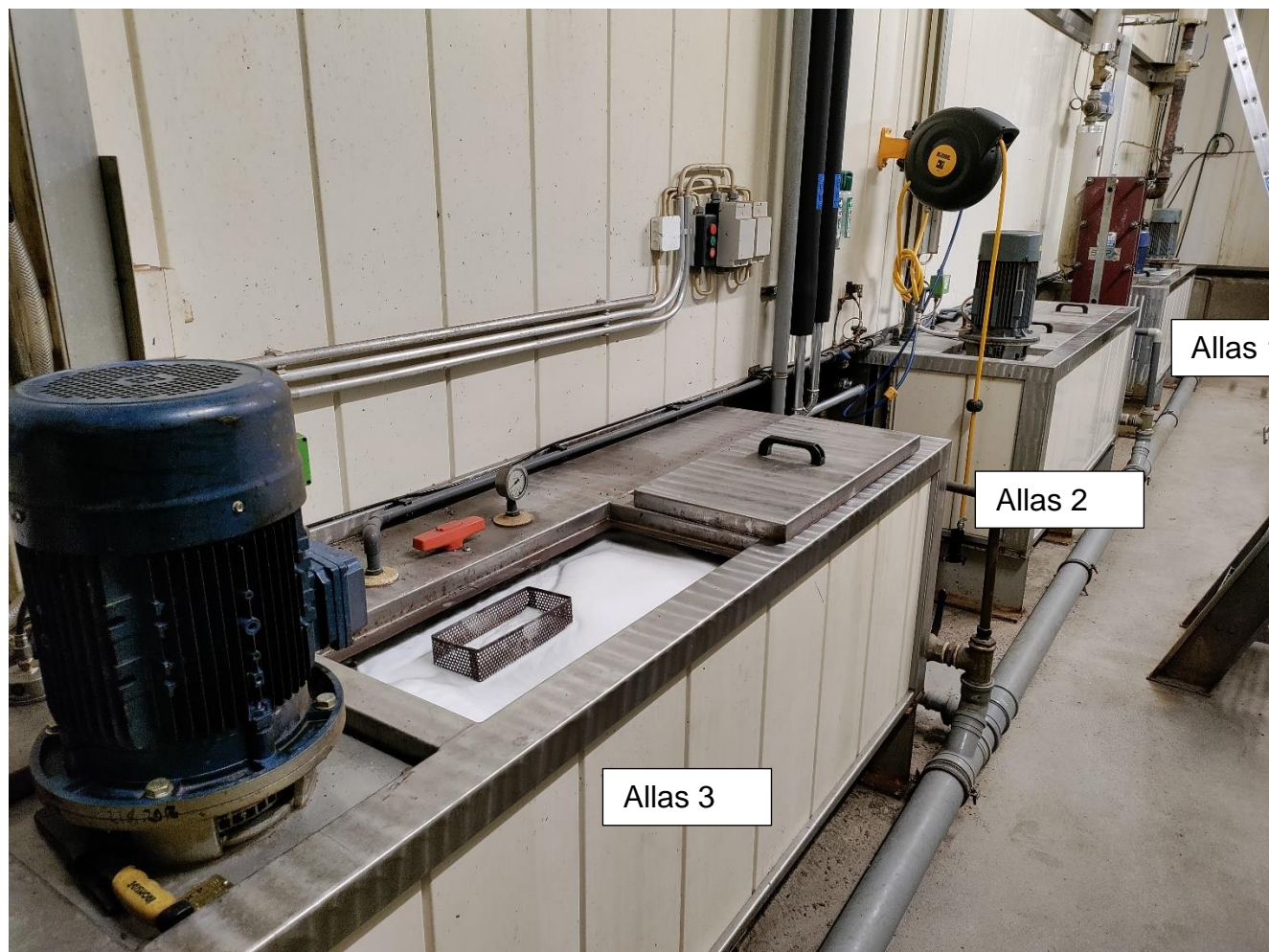
Kun kappaleet on ripustettu linjastolle maalaustelineisiin, ensimmäisenä teline vie kappaleet pesuun. Molemmilla linjastoilla on identtiset, automatisoidut pesurit, jotka sisältävät kolme erillistä pesuvesiallasta. Altaat on rosterista valmistettuja, suorakulmion muotoisia ja tilavuudeltaan 3,5 m³. Pesuaineena käytetään veteen sekoitettavaa, erilaisia natriumia ja kaliumia sisältäviä, Divinol-merkkistä pesuainetta. Pesuaineen pH-arvo +20°C:een lämpötilassa on 11,6.

Mitattavina arvoina pesualtaissa on käytetty pH-arvoa kahdessa ensimmäisessä altaassa, ja sähkönjohtavuutta altaassa 3. Tavoitellut arvot ovat pH +8,7 ja sähkönjohtavuus <50 µS/cm (mikrosiemens/cm). Tavoitearvot ovat MSK:lla ajansaatossa hyväksi havaitsemat, ja nämä ovat nykyään myös asiakkaiden vaatimuksina.



Kuvio 2. Pesurin prosessikuvaus

Kuvio 2 esittää pesureiden prosessikuvauksen. Pesureihin pumpataan käänteisessä järjestyksessä RO-puhdistettua (käänteisosmoosi, Reverse Osmosis) vettä, alkaen altaasta nro. 3. Koneikko puhdistaa jatkuvalla syötöllä uutta vettä, joka säilötään kuviossa 2 näkyviin puskurisäiliöihin. Puhdistetun veden pH-arvo on hyvin lähellä neutraalia, sähkönjohtavuus on n. 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Vertailun vuoksi normaalin hanaveden arvo on n. 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pesuaine taas pumpataan altaaseen nro. 1. Näin ollen pesuaine ei käytännössä ikinä pääse allasta 1 pidemmälle.



Kuva 1. Kuva pesurin altaista

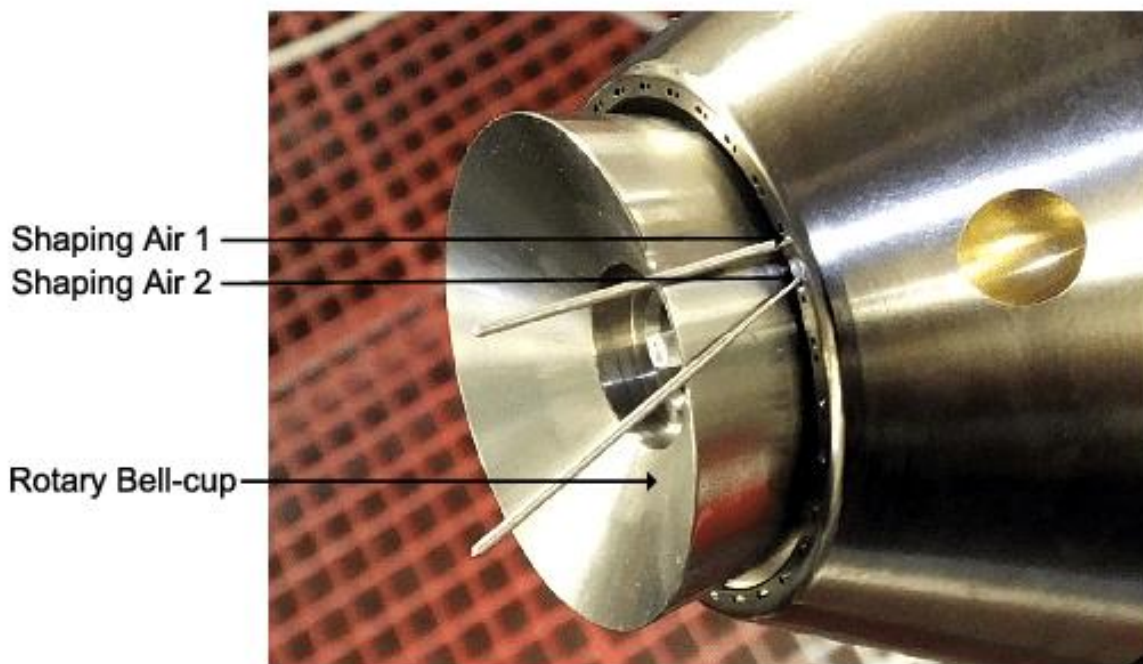
Telineen tullessa altaan 1 yläpuolella sijaitsevaan ensimmäiseen pesukammioon, altaasta 1 otettu vesiliuos suihkutetaan kappaleisiin, ja pesun loputtua se valuu viemäriin. Altaan tyhjennyttyä pesun aikana, pinnan korkeusanturi aktivoituu ja edellisestä altaasta pumpataan uutta vettä tilalle. Toisessa vaiheessa pesu suoritetaan altaasta 2 otetulla vedellä. Altaassa 2 veden pesuainepitoisuus on huomattavasti miedompi kuin altaassa 1. Kolmannen altaan sähkönjohtavuudella mitataan huuhteluveden puhtautta. Kappaleet huuhdellaan altaasta 3 otetulla vedellä. Veden on oltava mahdollisimman puhdasta, että viimeisetkin pesuainejäämät lähtevät pois.

Pesuvien pesuainepitoisuutta on tähän asti arvioitu mittaamalla sen pH-arvo, mikä on lähtökohtaisesti väärä tapa. Mittaustulosta väärin pestävistä kappaleista irtoava lika, joka vähäisissä määrin päätyy takaisin altaaseen, josta mittaus suoritetaan. Lisäksi jokaiseen

altaaseen kertyy ajan myötä muutakin likaa ilman, veden ja esimerkiksi lattialle kertyneen pölyn mukana.

3.2 Käytössä olevat maalausrobotit

Maalaamossa 1 on käytössä DURR-merkkiset, ja Maalaamossa 2 ABB-merkkiset maalausrobotit. Molemmissa robottityypeissä on käytössä ”kellomaalaus” perinteisen viuhkamaalauksen sijasta. Kellomaalauksessa maali tulee robotin päästä, jossa on nopeasti, 15000–70000 rpm pyörivä kellolautanen. Maali tulee lautasesta pyörivässä liikkeessä, ja paineilmalla maali levitetään maalattavan kappaleen pinnalle tasaiseksi kerrokseksi. Tämä eroaa viuhkamaalauksesta, jossa maali tulee suuttimesta suorassa linjassa.



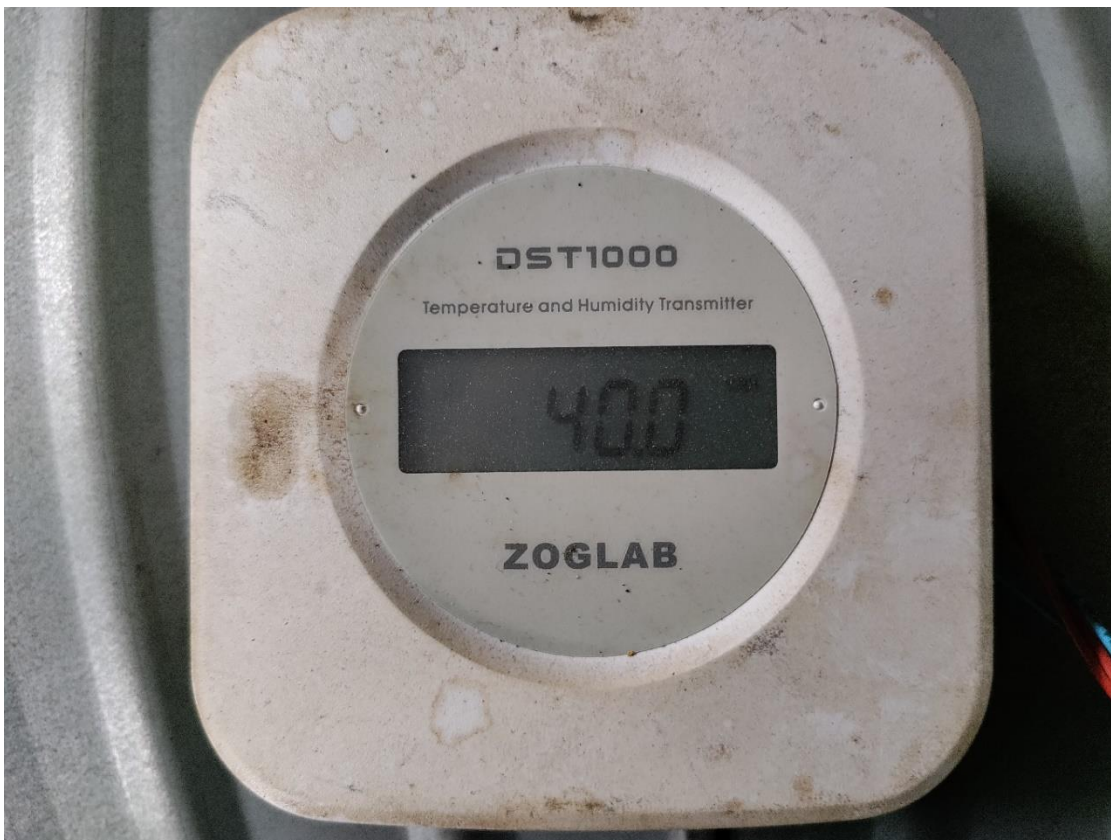
Kuva 2. Maalausrobotin kellolautanen (Research Gate, 2017).

Kaikki robotit ovat 6-akselisia, maalauskäyttöön suunniteltuja teollisuusrobotteja. Vaikkakin käytössä olevat maalit ja kemikaalit ovat vesipohjaisia, ovat robotit ja niiden ohjauslaitteistot Ex-luokiteltuja eli räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuvia.

Ohjelmointiin käytetään ABB:llä valmistajan omaa RobotStudio-ohjelmaa (MSK Plast, 2022). Durrin roboteille käytössä on EcoScreen- ja 3D OnSite-nimiset ohjelmointisovellukset. Lisäksi ohjelmointia varten yrityksellä on käytössä VR-lasit (Virtual Reality), joiden avulla on mahdollista päästä lähemmin tarkastelemaan tietokoneella luotua ohjelmaa ennen lopullista käyttöönottoa.

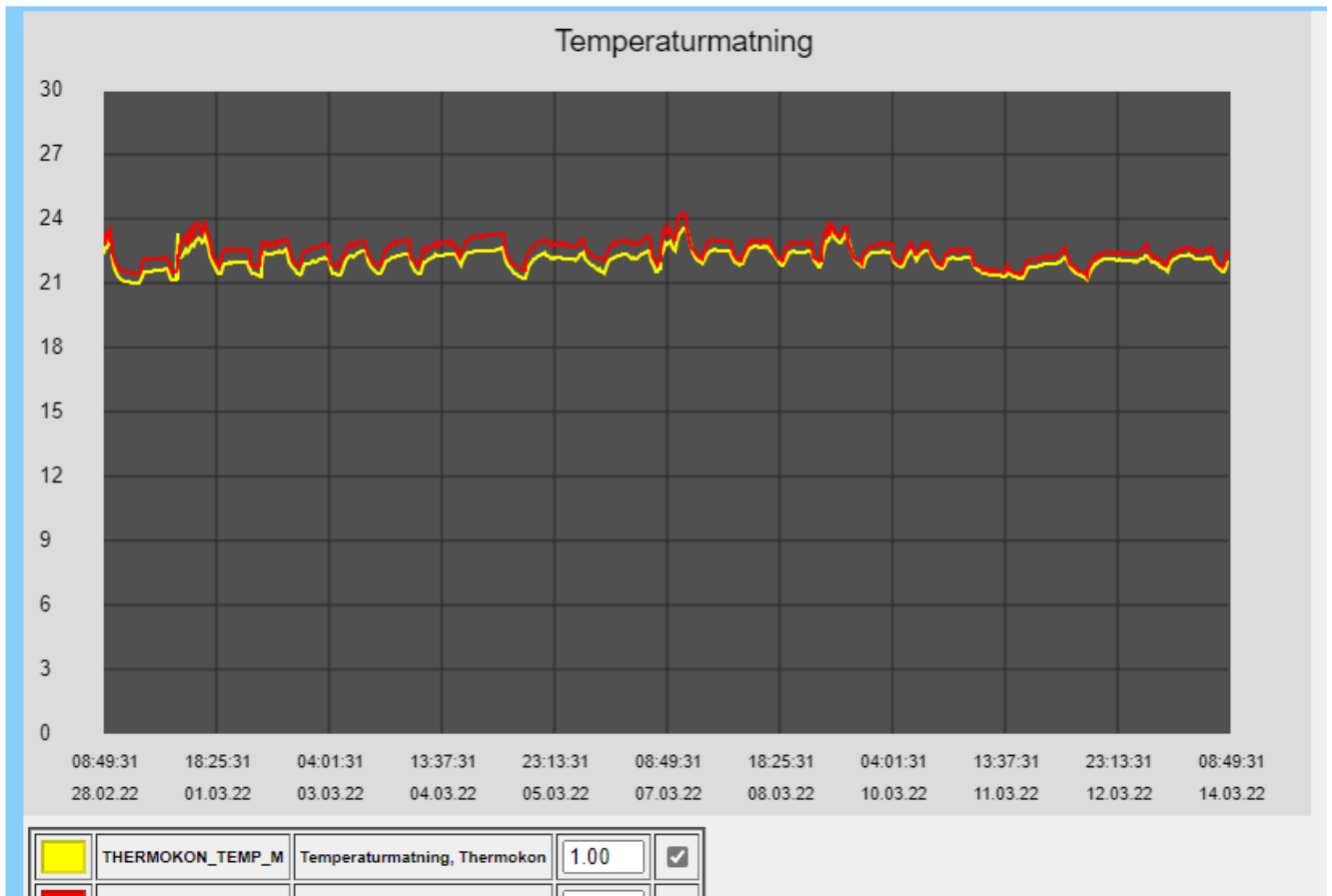
3.3 Vanhat anturoinnit ja niiden hyödyntäminen

Maalaamossa 1 on entuudestaan jo etäluettavat lämpö- ja kosteusmittarit. Ongelmana niissä on, että palvelin, johon tieto siirtyy, ei tallenna tietoa, vaan se täytyy käsin kirjata ylös. Anturit on asennettu maalauskammioiden ja haihdutustilojen ilmanvaihtokanaviin. Käytössä olevat anturit ovat malliltaan Zoglabin DST1000, ne ovat itsessään hyvinkin monipuolisia. Niissä on samassa lämpötila- ja kosteusmittaus sekä lähetin. DST1000 lähettää 4–20 mA:n viestiä, ja on suojausluokitukseltaan IP50. Tunnistava anturi on kapasitiivinen.



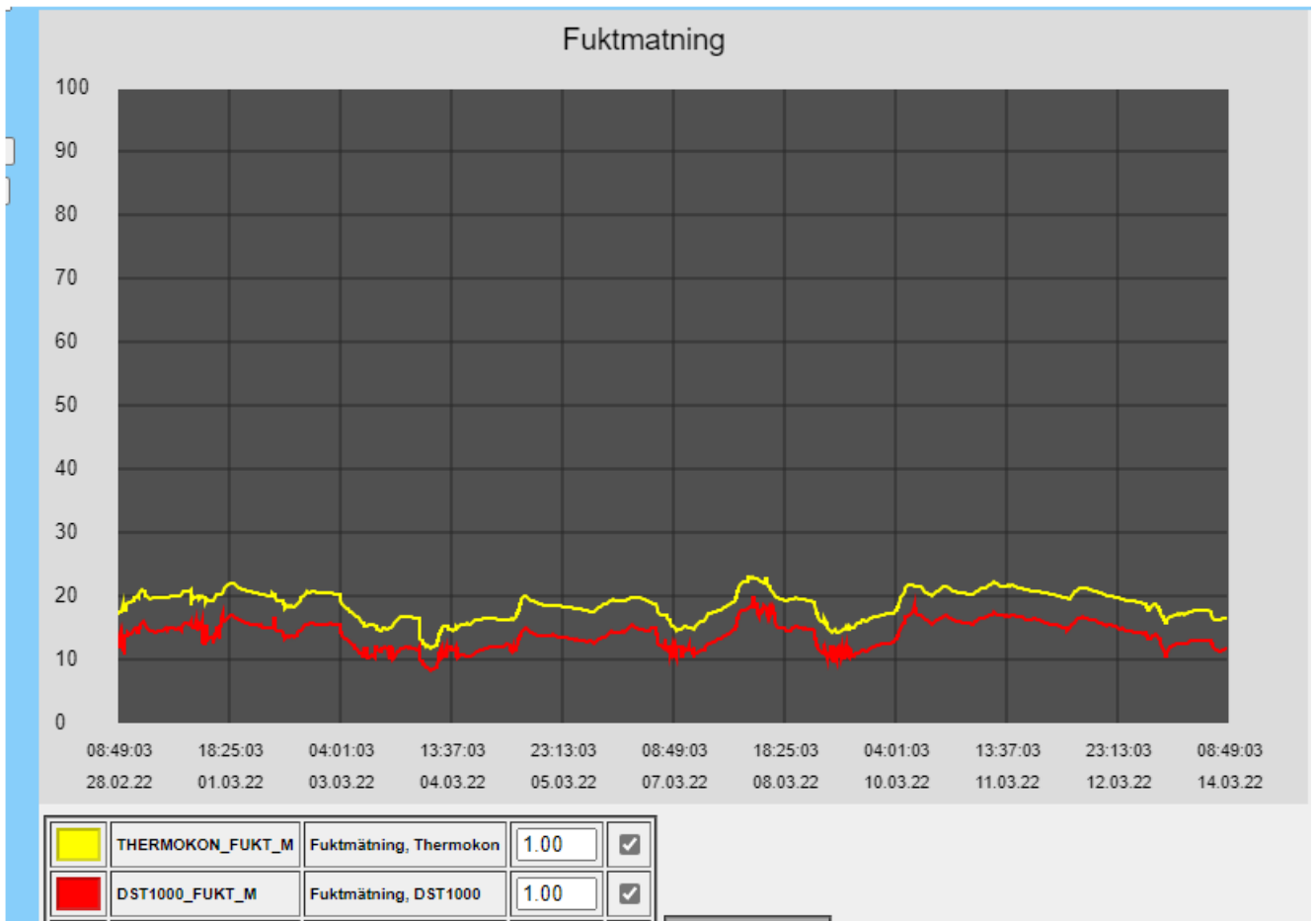
Kuva 3. Vanha lämpötila- ja kosteusanturi Maalaamossa 1

DST1000-mallin antureita pystytään hyödyntämään myös uuden laitteiston kanssa. Kuviossa 3 vertailukohteena on käytetty Thermokon FTK+ 140 VV -mallin anturia lämpötilan mittaamiseen. Anturit olivat testausvaiheessa vierekkäin kytkettynä huoneenlämmössä. Kuten kuviossa 3 näkee, antureiden mittaustuloksissa oli havaittavissa pieniä eroavaisuuksia. Tämän pystyy kompensoimaan anturia kytkettäessä lähettimeen ohjelman avulla.



Kuvio 3. DST1000-lämpöanturin testauskytkentä. Vertailukohteena Thermokon-anturi (keltainen viiva).

Testauskytkentä kosteusmittauksille suoritettiin samassa lämpötilavertailun kanssa. Anturit mittasivat vierekkäin huoneen ilmankosteutta. Vertailukohteena käytettiin samaa Thermokon FTK+ 140 VV -anturia. Kuviossa 4 on mittaustulokset testauskytkennästä. DST1000 näyttää testituloksien perusteella ottavan herkemmin häiriötä tai reagoivan muutoksiin eri tavalla, kuin Thermokonin vastaava anturi.



Kuvio 4. DST1000-kosteusanturin testauskytkentä. Vertailukohteena Thermokon-anturi (keltainen viiva).

Maalaamossa 2 käytetään Proidualin TEAT NTC 10 -anturia, jolla mitataan lämpötila. Kyseinen anturi on luvussa 2.2.1 esitelty vastuslämpötila-anturi, ja sillä on ruostumatonta terästä oleva suojatasku. Koska Maalaamon 2 olosuhteista on haluttu seuranta jo olemassa, tässä työssä ei keskitytä siihen.

3.4 Datalogger

Maalaamon 1 anturit on kytketty CAS Dataloggersin dataTaker DT80M -mallin lähettimeen. Anturien määrän vuoksi apuna on käytetty saman yrityksen CEM20-jakajaa.



Kuva 4. Maalaamossa 1 käytössä olevan Dataloggerin kytkentä

3.4.1 CEM20

CEM20 on 20-kanavainen laajennusmoduuli, josta tiedot vietään lähettimelle. Siihen pystytään yhdistämään jopa 60 analogista tuloa. Se kytketään dataTaker DT80M:n yhteen analogiseen kanavaan. Anturit on kytketty CEM20-jakajaan.

3.4.2 DT80M

DT80M-laitetta on käytetty lähettimenä antureista kerätylle datalle. Se on yhdistetty yrityksen palvelimeen Ethernet-kaapelin avulla. Saatuja tietoja etäluetaan dataTakerin oman PC-sovelluksen avulla.

3.5 Fidelix-yhteistyö

Fidelix Oy on vuonna 2022 perustettu suomalainen yritys, joka on keskittynyt kehittämään rakennusautomaatiojärjestelmiä (Fidelix, 2022). Yrityksellä on älykästä rakennusautomaatiota, joka tuottaa hyötyä asiakkaille mm. parempien sisäolosuhteiden, alhaisemman energiankulutuksen ja matalampien ylläpitokustannusten muodossa (mt).

MSK Plast ja Fidelix ovat tehneet aiemminkin yhteistyötä. Maalaamo 2 on jo Fidelixin olosuhdeseurannassa. Oli siis vähintäänkin järkevää ja luonnollista pyytää myöskin Fidelix mukaan projektiin. Heidän edustajansa kävi yhdessä Plastin henkilökunnan kanssa tutustumassa vanhaan anturointiin, haluttuihin ratkaisuihin sekä miten mahdollisesti tulevaisuudessa asioita pystyttäisiin kehittämään vielä lisää.

3.6 Laitteistovaatimukset

Laitteistolle vaatimuksina on mahdollisimman pitkä huoltoväli ja käyttöikä. Jos lämpötila- ja kosteusanturit päädytään uusimaan, asennuspaikat ovat ahtaita ja vaikeasti saavutettavissa. Lisäksi suurena hyötynä nähtiin antureihin saatavilla olevat huolto- ja vikatilojen ilmoitukset.

Antureiden asennuskohteesta riippuen oli myös erilaisia teknisiä vaatimuksia olemassa. Esimerkiksi maalausammioissa ja haihdutustiloissa mitattava lämpötila vaihtelee välillä 20–35 °C, kun taas kuivatusuuneissa lämpötila on välillä 40–70 °C. Ilmankosteudet vaihtelevat maalausammioissa 40–55 %, ja kuivatusuunissa sekä haihdutustiloissa raja-arvot vaihtelevat välillä 3–30 %. Kuten luvussa 2.1.4 on kerrottu, ilmankosteuden on oltava haluttu maalaustilassa. Kuivatustiloissa matalampi ilman suhteellinen kosteus auttaa ja nopeuttaa vesipohjaisen maalin kuivamisaikaa. Koska mittauspisteet ovat sekä lämpötilalle että ilmankosteudelle samat eri vaiheissa, lämmönkestävyysvaatimukset koskevat molempia anturityyppejä.

pH- ja sähkönjohtavuusantureiden asennuspaikka on huomattavasti parempi. Molemmat anturityypit pystytään asentamaan vesisäiliöiden päälle, käden ulottuville. Täten käyttöikä ei ole huollon kannalta niin oleellista, mutta tietenkin täytyy huomioida myös hinta. Jos tulee halvemmaksi vaihtaa anturi esimerkiksi vuoden välein, kuin huoltaa vanha 5 vuoden ajan,

onko tällöin taloudellisesti järkevämpi ottaa halvempi. Myös pH- ja sähkönjohtavuusanturit asennetaan kuumaan, noin 55 °C veteen, joten kummankin anturin täytyy kestää tämä lämpötila.

4 HANKINTAEHDOTUS

4.1 Tarjouspyyntö

Fidelix Oy:ta lähestyttiin pyytämällä tarjous laitteistosta maalaamojen mittauksille. Teamsin välityksellä pidettiin aloituspalaveri projektista 31.1.2022, jossa määritettiin, mitä hankinnalta halutaan. Palaverin pohjalta sovittiin tehdaskäynti MSK Plastilla Fidelixin edustajan kanssa.

Tehdaskäynnillä käytiin läpi nykyinen laitteisto ja mitattava prosessi vaihe vaiheelta. Käynnin aikana käytiin tutustumassa mm. automatisoituun pesuriin Maalaamossa 1, sekä anturien kytkentöihin dataloggeriin. Lisäksi kierroksen aikana esitettiin mahdollisia kehityskohteita tulevaisuutta ajatellen. Tehdaskäynnin tuloksena Fidelixille Oy:lle jätettiin tarjouspyyntö pesureiden vesien, maalaamojen lämpötilojen ja kosteuksien mittauksien anturoinnista, lähettimistä, asennustarvikkeista ja töistä.

Työn loppuvaiheessa Fidelixiltä ilmoitettiin yrityksen sisäisistä ongelmista, jonka takia laitehankinnat joudutaan tekemään jonkin toisen yrityksen kautta. Fidelixistä kuitenkin saatiin lyhyt raportti, miten Maalaamon 1 vanhoja lämpötila- ja kosteusantureita on mahdollista hyödyntää uuden logiikan ja lähettimen kanssa, sekä tarjous pesualtaiden mittauksien automatisoinnista. Tarjous sisälsi tarvittavat anturoinnit, lähetinyksiköt, asennus- ja kalibrointitarvikkeet.

4.2 pH-mittaus

Annettujen tietojen perusteella MSK Plast sai tarjouksen laitteistosta pH-mittaukseen pesureiden altaista 1 ja 2. Kaikkia seuraavissa alaluvuissa mainittuja komponentteja tilattaisiin 4 kpl, kummallekin maalauslinjan pesurille kahteen altaaseen.

4.2.1 Lähetin

Lähettimeksi tulisi Bamo International -nimisen yrityksen BAMOPHAR 107 -yksikkö. Laitteessa on 4,3 tuuman värikosketusnäyttö, ja se pystyy lukemaan mitattuja arvoja joko pH-

lukuina tai mV-arvona. Samaiseen lähetinyksikköön liitettäisiin pH- ja lämpötilamittausanturit.

Lähetimestä on mahdollista saada kahdenlaisia lähtöjä, 0/4–20 mA (pH ja T °C). Se välittää raja-arvot, hälytykset ja säätelyn. Optiona on lisäksi RS422/J-BUS+LOGGER-väyläratkaisut.

Taulukko 1 esittelee lähettimen tärkeimmät tekniset tiedot.

Taulukko 1. BAMOPHAR 107 -lähettimen tekniset tiedot

Käyttöliittymä	Värikosketusnäyttö, 4,3 tuumaa
Mitta-asteikko	0–14 pH / ± 1000 mV
Tarkkuus	$\pm 0,03$ pH / ± 3 mV
Mittatulosten lähdöt	0/4–20 mA (max. 600 Ω) verrannollinen mittaukseen

4.2.2 pH-anturi

Tarjous saatiin samaisen Bamo International -yrityksen 9308-pH-anturista. Siinä on lasinen mitta-elektrodi, ja mitta-alueena 0–14 pH. Anturi tunnistaa referenssipisteen automaattisesti. Elektrodi käyttää vertailujärjestelmänä Ag/AgCl -tapaa (hopea/hopeakloriitti) jossa on ke-raaminen vertailupiste. Teoreettinen nolla on pH:ssa 7 (0 mV). Mittauselektrodi on huolella suojattu matalaresistiivisellä elektrolyytillä vertailuelektrodista. Elektrodissa on S8-kiinnitys, jolla se voidaan liittää koaksiaalijohtimeen.

Anturi asennettaisiin saman yrityksen suojaputkeen. Hyvänä ominaisuutena suojaputkella on, että siihen on asennettu samaan kokonaisuuteen lämpötila-anturi (Pt100). Suojakuori on valmistettu PVC-muovista, joten se kestää hyvin kosteissa tiloissa ilman ruostumista tai muita kemiallisia kulumisia. Huonona puolena kyseisessä suojataskussa on

lämmönkestävyys. Suojataskun ilmoitettu maksimilämpötila on 55 °C, joka on pesuveden haluttu lämpötila. Todennäköisesti lämpötila käy jollain aikavaihtelulla myös yli tuon.

4.3 Sähkönjohtavuus

Annettujen tietojen perusteella saatiin tarjous myös sähkönjohtavuuden mittauksesta. Koska sähkönjohtavuus mitataan kummallakin linjalla ainoastaan altaasta nro 3, seuraavissa alaluvuissa mainittuja komponentteja tarvitaan ainoastaan 2 kpl.

4.3.1 Lähetin

Tarjottu lähetin on Bamo Internationalin BAMOPHAR 364. Laitteessa on myös värikosketusnäyttö ja automaattinen lämpötilan kompensointi. Taulukko 2 esittelee lähettimen tärkeimmät tekniset tiedot:

Taulukko 2. BAMOPHAR 364 -lähettimen tekniset ominaisuudet

Mitta-alueet	10 μ S/cm... 2000 mS/cm
Mittatarkkuus	$\pm 0,3$ %; $\pm 0,3$ °C
Mittaustulosten lähdöt	0/4–20 mA (max. 600 Ω) verrannollinen mittaukseen
Laitteen elinikä	Mekaaninen: $5 \cdot 10^6$ operaatiotta (180 op./min) Elektroninen: $2 \cdot 10^5$ (20 op./min) 3A 125 V AC

Laitteen mittatarkkuus herätti epäluuloja. Haluttu mittayksikkö on μ S/cm, ja mitta-alue alkaa vasta kohdasta 10 μ S/cm päättyen kohtaan 2000 mS/cm, alue on suurella todennäköisyydellä liian epätarkka. Alla on muunnoskaava:

$$1\mu\text{S} = 0,001 \text{ mS} \quad (4)$$

Laitteen esitteestä ei selvinnyt voidaanko lähetin kalibroida lukemaan mikroSiemens-arvoa. Haluttu tulos $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ olisi edellä olevan kaavan 4 mukaisesti $0,05 \text{ mS}/\text{cm}$. Tämä ei myöskään osu enää luvattuun 0,3 %:n tarkkuuteen. Ennen lopullista ostopäätöstä ja tilauksen jättämistä asia selvitetään laitetoimittajan kanssa.

4.3.2 Sähkönjohtavuusanturi

Tarjottu anturi sähkönjohtavuuden mittaamiseen on myöskin Bamo Internationalin. Käytetty materiaali on NORYL. NORYL on PPO-hartsin (polyfenyleeni) ja polystyreenin sekoitus (Sabic, i.a.). Käytetyllä materiaalilla on hyvä lämmönkestävyys ja hyvät sähköiset ominaisuudet.

Tarjottu anturi on tarkoitettu erilaisten vesien mittaamiseen teollisuuslaitoksissa, puhdasvesissä, myrskytulvissa yms. Mitta-alue on anturilla sama kuin edellä olevalla lähettimellä. Tästä syystä myös tämän käyttöä joudutaan vielä tarkemmin selvittämään laitetoimittajan kanssa.

4.4 Lämpötila- ja kosteusmittaukset maalausammioissa

Kuten aiemmin on mainittu, yhteistyöyrityksessä tuli ongelmia, ja tästä johtuen he eivät pystyneet tarjoamaan laitteistoa lämpötila- ja kosteusmittauksiin. MSK Plast jää pohtimaan otaanko ratkaisu toisaalta, vai jäädäänkö odottamaan, että vanha toimittaja saa tilanteensa tasaantumaan.

Kuten luvussa 3.3 on kerrottu, vanhoja antureita on mahdollista hyödyntää lähes kenen tahansa laitevalmistajan ja toimittajien komponenttien kanssa, koska anturit lähettävät mitaustuloksen 4–20 mA:n viesteinä, joka on yleisin tiedonsiirtotapa.

4.5 Käyttöliittymä ja datan keräys

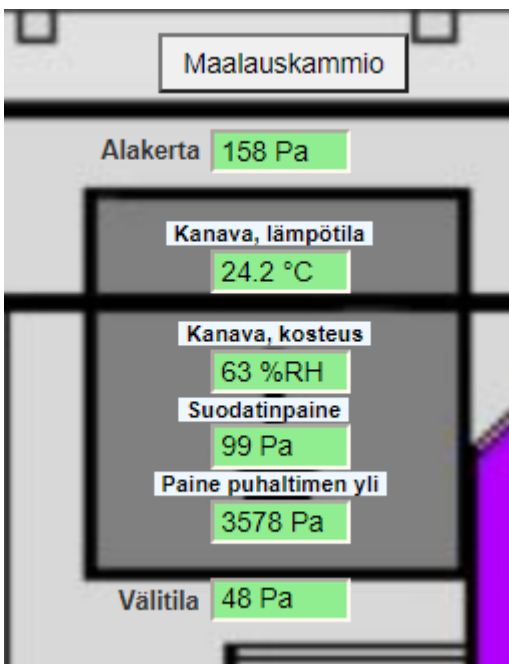
Jos MSK Plast päätyy ottamaan pesuvesien mittauksien automatisoinnin Fidelix Oy:lta, pystytään tämä data liittämään suoraan olemassa olevaan järjestelmään. Kuviossa 5 näkyy

käyttöliittymä. Käyttöliittymä on jo aiemmin Maalaamossa 2 käytetty, Fidelixin luoma ja ylläpitämä. Työn aikana todettiin järkeväksi laajentaa olemassa oleva järjestelmä käytettäväksi tässä.



Kuvio 5. Käyttöliittymä

Kuviossa 6 näkyvät vihreät ruudut ovat mittaustuloksia. Mittaustulosruudut voidaan värikoodata vastaamaan haluttuja raja-arvoja. Lisäksi ruutua klikkaamalla saadaan näkyviin kuvioiden 3 ja 4 mukainen historiakäyrä. Käyttöliittymästä on mahdollista viedä numeerinen data Excel-tiedostoon tarkempaa tarkastelua varten tarvittaessa. Tämä tokikaan ei palvele alkuperäistä tarkoitusta, koska juuri Excel-tiedostoista haluttiin eroon.



Kuvio 6. Käyttöliittymän mittaustulokset

Fidelix Oy:n ongelmista huolimatta käyttöliittymää sekä palvelimia sen takana on mahdollista hyödyntää jatkossa. Riippumatta keneltä tilaus tehdään, Fidelixin ylläpitämälle palvelimelle on mahdollista siirtää ja kerätä dataa.

5 JATKOKEHITYS-SUUNNITELMA

Koska saatu tarjous ei vastannut täysin haluttua, toimeksiantajalla on mahdollisuus etsiä toinen, kokonaan valmis ratkaisupaketti. Toisen palveluntarjoajan etsimisellä saataisiin työ kerralla valmiiksi, mutta toisaalta pitkä yhteistyö ja toimeksiantajan laitteiston ja prosessin tuntemus entuudestaan puoltaisivat pitäytymistä Fidelixissä. Tutkimusta tehdessä löytyi myös muutamia kehityskohteita, jotka olisi mahdollista liittää laitekokonaisuuteen.

5.1 Pesuainepitoisuuden mittaustavan muutos

Kuten luvussa 3.1 on mainittu, pH-mittaus on huono tapa mitata veden pesuainepitoisuutta. Mittausta voisi kehittää mittaamalla vaihtuneen (lisätyn) veden määrä, sekä lisätyn pesuaineen määrä. Tämä on mahdollista mitata tarkasti mittaamalla vesi- ja pesuainepumppujen syöttämän veden määrä. Kyseisiä arvoja olisi mahdollista mitata esimerkiksi läpivirtausantureilla. Pesurin huuhtelualtaan (allas nro. 3) veden puhtauteen olemassa olevat mittaukset vaikuttavat tarkoitukseen sopivilta. Sähkönjohtavuudella pystytään selvittämään erittäin tarkasti veden puhtaus.

5.2 Lämpötilan ja kosteuden säätö

Koska lämpötilaa ja kosteutta maalamoissa mitataan, olisi niiden säätely myöskin viisasta automatisoida. Maalaamon ilmankostuttimia on mahdollista ohjata logiikan avulla, jolloin kuivana talvipäivänä kostuttimia voisi ohjata toimimaan suuremmalla teholla ja kosteana kesäpäivänä pienemmällä teholla. Maalaamojen kuivatusuunien hukkalämpö kerätään lämmöntalteenottojärjestelmään (LTO-järjestelmä). Talteen otettua lämpöä hyödynnetään maalamojen ja niiden pesureiden vesien lämmittämiseen. LTO-järjestelmää on myöskin mahdollista ohjata automaattisesti, joten tämäkin olisi järkevää automatisoida. Kun logiikka ohjaisi niin ilmankostuttimia kuin myös lämmönsäätelyä, arvojen kääntyessä ei-toivottuun suuntaan korjaustoimenpiteet tapahtuisivat välittömästi ennen raja-arvojen ylittymistä. Nämä ovat kuitenkin kehityskohteita, joita mahdollisesti tulevaisuudessa myöhemmin toteutetaan, joten näitä ei tässä työssä tutkittu sen tarkemmin.

5.3 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä voisi korvata olemassa olevan maalaamon vuororaportti-Excelin. Järjestelmään voisi sisällyttää kaikki maalaamojen eri työvaiheissa tarvittavat työohjeet, raportoinnin vuorojen ja työnjohdon välillä, sekä muut tarvittavat tiedot, kuten robottien ohjelmamuutokset, maalitynnyrien ja suodattimien vaihdot sekä muut huomiota vaativat asiat.

Tämä vaatisi käyttöliittymän muokkausta siten, että etusivulle lisättäisiin päiväkirjatyypiksi tekstilaatikko viestinvaihtoa varten. Lisäksi tietokantaan pitäisi luoda hakemisto työohjeille.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tuottaa valmis ratkaisu, jonka perusteella toimeksiantaja MSK Plast voi tehdä hankinnan maalaamojen olosuhdemittausten automatisoinnille. Mittauksien tulisi kattaa lämpötilojen, ilmankosteuden sekä automaattisten pesureiden vesien pesuainepitoisuuden mittausta. Mainitut mittaukset ovat tärkeitä maalauksen onnistumisen kannalta, minkä vuoksi niitä on seurattava aktiivisesti koko prosessin ajan.

Työ rajattiin yrityksen sisäisissä palavereissa pian alun jälkeen kuitenkin koskemaan Fidelix Oy:n palveluiden laajentamista Maalaamosta 2 myös Maalaamoon 1. Työ eteni suunnitellusti, tekemällä ensin tarvittavien laitteiden ja vaatimusten kartoitus. Tämän jälkeen mukaan otettiin myös Fidelix Oy:n edustajat. Palveluntarjoaja hieman venyi aikatauluissaan, lopulta ilmoittaen, etteivät pysty toteuttamaan pyydettyä kokonaisuutta.

Tavoitteisiin työssä ei päästy toivotulla tavalla. Työstä olisi saanut enemmän hyötyä, jos toteutustapaa ei oltaisi rajattu niin tiukaksi. Lopputuloksena on kuitenkin hyvä pohja myöhemmää käyttöä varten. Toimeksiantajalle jää mahdollisuus toteuttaa laitehankinta melko helposti tämän työn pohjalta. Luvussa 5 esitetyt jatkokehityskohteet myöskin otettiin yrityksessä mietintään.

LÄHTEET

- ABB Oy. (2022). *IRC5P Paint*. Haettu 13.3.2022. <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5-overview/irc5p-paint>
- Andersson, P., & Tikka, H. (1997). *Mittaus- ja laatutekniikat*. WSOY Konepajan Tuotantotekniikka.
- Aumala, O. (1998). *Teollisuusprosessien mittaukset*. Pressus Oy.
- Condair. 2021. *Spray booth & coatings humidication & humidity control*. Haettu 10.1.2022. <https://www.condair.co.in/applications/industrial-manufacturing-humidification/paint-spray-booth-humidity-control>
- Fidelix. (i.a). *Fidelix Oy*. Haettu 4.2.2022. <https://www.fidelix.fi/fidelix-esittely/>
- Hautala, M., & Peltonen, H. (2011). *Insinöörin (AMK) Fysiikka, Osa 1*. Lahden Teho-opetus Oy.
- Ikonen, E., Lehto, A., Wallin, P. & Äijälä, A. (2000). *Anturitekniikan perusteita*. Picaset Oy.
- Pihkala, J. 2008. *Prosessisuureiden mittaustekniikka*. 2-1 painos. Opetushallitus.
- Research Gate. (2017). *Numerical and Experimental Investigations on rotary Bell Atomizers with predominant Air Flow Rates*. Haettu 21.3.2022. https://www.researchgate.net/figure/Rotary-bell-atomizer-ECOBELL-2-HD-Duerr-AG-Bietigheim-Bisingen-needles-in-a-drilling_fig1_319509298
- Sabic. (i.a). *NORYL RESIN*. Haettu 13.3.2022. <https://www.sabic.com/en/products/specialties/noryl-resins/noryl-resin>
- Säätö Oy. (2022). *Lämpötilan mittaus*. Haettu 17.1.2022. <https://saato.fi/ratkaisut/lampotilan-mittaus/>
- Streitberger, H-J., & Dössel, K-F. (2008). *Automotive paints and coatings*. Wiley-VCH.
- United States Environmental Protection Agency. 2021. *Indicators: Conductivity*. Haettu 29.12.2021, <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>