

Aleksi Laukkanen

## **PLC-HOPEALINJAN KÄYTTÖNOTTO JA TESTAUS**

# PLC-HOPEALINJAN KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

Alexi Laukkanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Konetekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma, tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Alekski Laukkanen

Opinnäytetyön nimi: PLC-hopealinjan käyttöönotto ja testaus

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Implementation and testing of the PLC silver line

Työn ohjaajat: Veli-Juhani Lassila, Juha Männistö

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: kevät 2024

Sivumäärä: 40 + 1 liite

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Aspocomp Group Oyj:n toimeksiantona. Aspocomp Group Oyj on suomalainen elektroniikkavalmistaja, joka valmistaa ja suunnittelee monikerroksisia puolijohdepiirilevyjä. Työssä ollaan mukana immersiohopealinjan logiikan vaihtamisessa ja testaamisessa. Hopealinjan sisäinen prosessi ei tule itsessään muuttumaan, vaan linjan sisäiset komponentit ainoastaan vaihdetaan. Opinnäytetyössä on perehdytty useisiin loppupinnoitevaihtoehtoihin ja siihen, miten tuotantolinjojen sisäinen logiikka toimii.

Tällä hetkellä hopealinja toimii vain manuaalisesti huoltotilassa, joten pumput, lämmittimet ja puhaltimet joudutaan käynnistämään manuaalisesti yksitellen. Linja lämpenee todella hitaasti ja manuaalisesti linjan käynnistäminen on aikaa kuluttava prosessi.

Työ aloitettiin tutustumalla itse linjaan työskentelemällä kemian salissa ja kemian laboratoriossa, jonka jälkeen alkoivat asennukset. Linjassa siirrytään vanhasta Profibus-kenttäväylästandardista uudempaan Profinet-standardiin. Työssä myös tutustuttiin, miten kenttäväylät toimivat ja miksi niitä on kehitetty.

Lopputuloksena linjaan saatiin automaattinen ajo päälle. Linja lähtee nyt lämpenemään yhdestä näppäimestä ja myöhemmin linjan lämmitessä lähtee myös samasta näppäimestä päälle. Pumput, pesurit, lämmittimet, puhaltimet ja muut komponentit osaavat nyt mennä oikeaan aikaan päälle ja sammua, kun linjassa ei ole enää tuotteita. Testatuissa piirilevyissä oli myös ennalta määrättyjen optimien mukainen määrä hopeaa. Testattuja levyjä oli paljon ja niitä testailtiin eri kohdista minimoidakseen virheet.

---

Asiasanat: loppupinnoitteet, immersiohopea, kenttäväylät

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	PIIRILEVYTEOILLISUUDEN PINNOITUSLINJAT .....	7
2.1	Loppupinnoitteet.....	7
2.1.1	OSP .....	8
2.1.2	Immersiotina .....	8
2.1.3	Immersiohopea .....	9
2.1.4	ENIG .....	11
2.2	Kenttäväylät.....	12
2.2.1	Ohjelmoitava logiikka .....	13
2.2.2	OSI-viitemallit.....	15
2.2.3	Profibus.....	16
2.2.4	Profinet .....	17
2.3	Työkaluja käyttöönottoon.....	18
3	HOPEALINJAN KÄYTTÖÖNOTTO .....	22
3.1	Nykytila.....	22
3.2	Linjaan tehtävät asennukset.....	26
3.3	Käyttöönotto asennusten jälkeen .....	29
3.4	Linjan testaaminen .....	31
3.5	Tulokset.....	35
	YHTEENVETO.....	38
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	41



## SANASTO

µm	Mikrometri, metrin miljoonasosa/ millimetrin tuhannesosa
AAS	Atomiabsorptiospektrometri on analyysimenetelmä, jossa liekissä höyrystettyyn tutkittavaan näytteeseen suunnataan aallonpituudeltaan tutkittavalle alkuaineelle ominaista, saman aineen atomien lähettämää valoa.
absorbanssi	Mitta siitä, kuinka paljon valosta imeytyy liuokseen
Ag	hopea
AOC	Assimiloituvan orgaanisen hiilen pitoisuus.
Cu	kupari
EDTA	Etyleenidiamiinitetraetikkahappo eli aminohappo, joka muodostaa kompleksiyhdisteen useiden metallien kanssa.
I/O	Input and Output. prosessiasemien ja ohjauskohteiden tulo- ja lähtöpiirejä.
katalyytti	aine, joka nopeuttaa kemiallista reaktiota tietyssä lämpötilassa.
PLC	Programable Logic Controller, eli ohjelmoitava logiikka.
rele	Sähköisesti ohjattava sähkömekaaninen kytkin, joka ohjaa jännitteitä ja sähkövirtoja laitteistossa.
Sn	tina

# 1 JOHDANTO

Aspocomp Group Oyj on tunnettu suomalainen elektroniikkateollisuuden yritys, joka on erikoistunut monimutkaisten puolijohde piirilevyjen suunnitteluun, valmistukseen ja kokoonpanoon. Yhtiöllä on vahva asema vaativissa teollisuuden aloissa, kuten telekommunikaatiossa, teollisuuselektroniikassa ja autoteollisuudessa. Tehtaalla ei pyritä massatuotantoon, vaan vaativia piirilevyjä tehdään asiakkaiden speksien mukaisesti. Tehdas on ISO 14001 ja AS9100 sertifioitu. Yksi Aspocompin keskeisistä vahvuuksista liittyy sen teknologiseen osaamiseen, joka kattaa useita valmistustekniikoita, mukaan lukien immersiohopea.

Immersiohopea on yksi pintakäsittelymenetelmistä, jota käytetään Aspocompilla piirilevyjen valmistukseen. Immersiohopea on saanut suurta suosiota elektroniikkateollisuudessa sen erinomaisen korroosionkestävyyden ja hyvän sähkönjohtavuuden ansiosta. Immersiohopea on prosessi, jossa piirilevyn päälle muodostetaan ohut hopeakalvo upottamalla piirilevy hopeaioneja sisältävään liuokseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on olla mukana immersiohopealinjan logiikan muuntamisessa ja automatisoinnissa. Itsessään prosessi linjan sisällä ei tule muuttumaan ollenkaan. Tällä hetkellä hopealinja toimii ainoastaan manuaalisella ajolla, joten operaattori joutuu yksitellen laittamaan jokaisen moduulin lämmityksen ja pumpun päälle. Tarkoituksena olisi saada linjan kaikki pumput, lämmitykset ja moottorit päälle yhdestä napista. Työhön tulee myös kuulumaan linjan kattava testaus kemiallisesti ja fyysisesti sekä uusien työohjeiden laatiminen työntekijöille.

## 2 PIIRILEVYTEOILLISUUDEN PINNOITUSLINJAT

### 2.1 Loppupinnoitteet

Kupari on yksi tärkeimmistä jalometalleista, jota käytetään piirilevyjen valmistuksessa. Kuparilla on erinomaiset kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet piirilevyjen valmistukseen. Kupari tarjoaa loistavaa sähkönjohtavuutta, mikä mahdollistaa tehokkaan sähkövirran kulun koko piirilevyn lävitse. Tämä on tärkeää elektronisten komponenttien toimivuuden kannalta. Hyvä lämmönjohtavuus on myös todella tärkeä ominaisuus kuparisissa piirilevyissä. Hyvä lämmönjohtavuus mahdollistaa lämmön hajautuksen elektronisista komponenteista ja auttaa niitä säilymään pidempään vaativissa olosuhteissa. Kuparia on myös helppo työstää ja se on suhteellisen halpaa verrattuna muihin jalometalleihin. Ilmassa oleva rikki ja rikkipitoiset ionit saavat kuparin hapettumaan suhteellisen helposti, joten se ei ole käyttökelpoinen pitkään. Kuvassa 1 näkyy esimerkki kuparipinnoitteisen piirilevyn hapettumisesta, kun kuparin päälle on alkanut kertyä ilmasta ja rikkistä johtuvaa kuparisulfidia. (1, s. 815–818.)



*KUVA 1. Hapettuminen kuparisen piirilevyn pinnalla*

Loppupinnoitteissa kuparin päällä käytetään pinnoitteita, jotka suojaavat kuparipintaa tilapäisesti tai tarjoavat juovutettavaa pinnoitetta. Loppupinnoitteita on kahden tyyppistä, orgaanista ja metallista pinnoitetta.

### 2.1.1 OSP

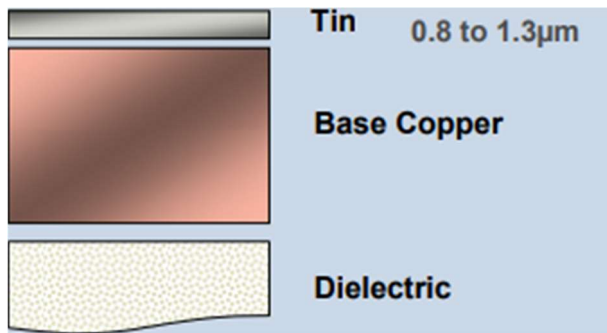
OSP eli Organic Solderability Preservative on metalliton loppupinnoite, jossa kuparisen piirilevyn pinnalle muodostetaan orgaaninen antioksidanttikalvo. OSP-pinnoite koostuu kolmesta eri materiaalista, jotka ovat hartsi, resiini ja bentsimidatsoliyhdiste tai imidatsoliyhdiste. OSP-pinnoite on kaikista halvin vaihtoehto piirilevyn pinnoitukseen. Tämä pinnoite on lähes näkymätön ja sitä voidaan levittää piirilevyn pintaan kahdella eri kemialla. Bentsimidatsoli on orgaaninen yhdiste, joka takaa paksumman pinnoitteen piirilevyille. Orgaanisen kalvon paksuudesta tulee noin 0,1–0,5 µm. Imidatsoli-yhdisteellä saadaan huomattavasti ohuempi kalvo, joka on vain noin 0,005 µm paksu. (2.)

Levyille tulee normaali esikäsitteily ennen pinnoitteen levittämistä. Piirilevystä pestään ensin kaikki epäpuhtaudet, kuten sormenjäljet ja rasvat pois syövyttävässä kylvyssä, jonka jälkeen se huuhdellaan ennen etsausta. Etsauksessa piirilevystä poistetaan ohut kerros kuparia alle 0,1 µm:n verran, jotta pinnoite tarttuu levyn pintaan paremmin. Etsauksen jälkeen piirilevy huuhdellaan ja levitetään OSP-pinnoite, minkä jälkeen seuraa taas huuhtelu ja kuivaus. (2.)

OSP-pinnoite tarjoaa useita hyötyjä piirilevyjen valmistuksessa. Pinnoitteen valmistaminen on todella halpaa ja huomattavasti ympäristöystävällisempää, kuin raskasmetalleista valmistettu pinnoite. Prosessi on itsessään myös todella yksinkertainen ja piirilevy on helposti työstettävissä. Orgaaninen pinnoite suojaa kuparia hapettumiselta, mutta on todella altis naarmuille ja vahingoille. OSP-pinnoite myös vanhenee kohtuullisen nopeasti ja siitä on todella hankalaa mitata paksuus. (3.)

### 2.1.2 Immersiotina

Immersiotina on metallipohjainen loppupinnoite, jota käytetään piirilevyjen valmistuksessa. Immersiotinassa kupariseen piirilevyyn tapahtuu tinakerroksen pelkistyminen, mikä mahdollistaa noin 0,8–1,3 µm paksuisen puhtaan tinakerroksen muodostumisen piirilevyn pintaan. Kuvassa 2 on kuvattuna tinapäällysteinen kuparilevy. (3.)



KUVA 2. Tinapäällysteinen piirilevy (4)

Kuten kaikissa immersiopinnoituksissa, kuparin on oltava täysin puhdasta ja etsattua ennen pinnoitusta. Esikasto on tärkeää ennen varsinaista pinnoitusta, sillä esikaston avulla ylläpidetään varsinaisen tinakylvyn kemiallista tasapainoa ja vähennetään kylvyn saastumista. (4.)

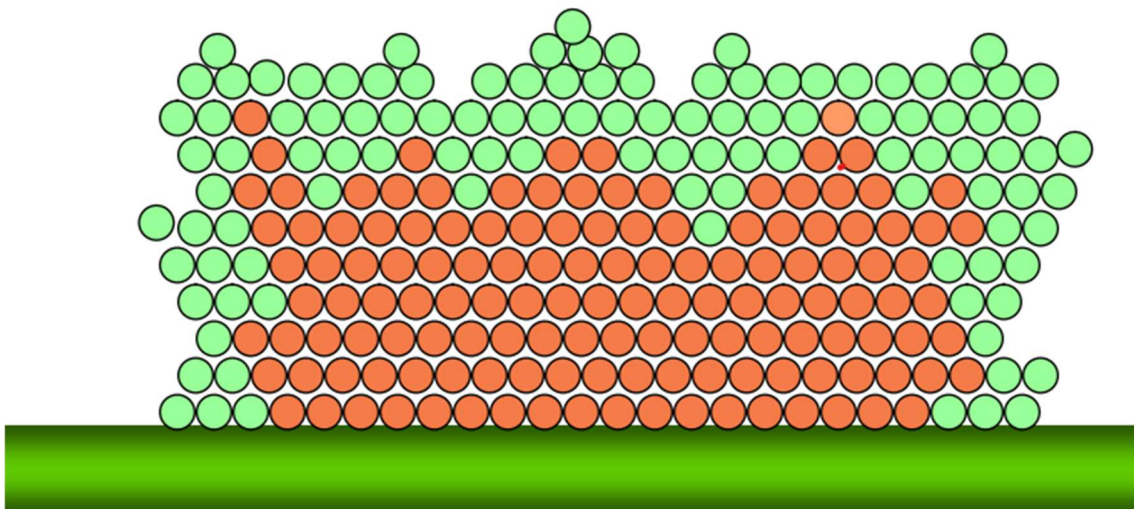
Tina levittyy piirilevyyn vaihtoprosessin avulla. Vaihtoprosessi tapahtuu tinakylvyssä, mikä sisältää positiivisesti varautuneita tinaioneja ( $\text{Sn}^{2+}$ ), metaanisulfonihappoa ja tiourea. Altaassa tapahtuva vaihtoprosessi ei ole suora siirtymä, sillä tina on elektronegatiivisempaa kuin kupari. Tinakylvyssä kupari hapettuu  $\text{Cu}^+$  -ioneiksi ja yhdistyy tioureaan kanssa, valmistuen kupari-tiourea kompleksia. Tämä kompleksia on vähemmän elektronegatiivisempaa kuin tina, mikä mahdollistaa vaihtoreaktion tinan kanssa. Yksi tina-atomi tulee korvaamaan kaksi kupariatomia piirilevyn pinnassa. (4.)

Immersiotinan käytöstä löytyy useita hyötyjä. Immersiotina on kaikista halvin metallipohjainen loppupinnoite ja tarjoaa todella hyvää sähkönjohtavuutta. Tinalla päällystetty piirilevy mahdollistaa lyijyvapaan juottamisen eri komponenteille piirilevyyn. Immersiotinassa on myös joitain haittoja. Tiourea on karsinogeeni ja sitä varten pitää suojautua hyvin erilaisilla henkilösuojaimilla, kuten naamareilla ja kumihanskoilla. Tina on myös suhteellisen pehmeää metallia, joten sitä tulee käsitellä varoen. Tina myös muodostaa helposti intermetallisia yhdisteitä kuparin kanssa korkeissa lämpötiloissa, mikä vaikuttaa piirilevyn suorituskykyyn ja luotettavuuteen. (3.)

### 2.1.3 Immersiohopea

Immersiohopea on myös metallipohjainen loppupinnoite. Immersiohopeassa kuparinpintaan muodostuu todella ohut kerros hopeaa, mikä on vain 0.15-0.40  $\mu\text{m}$  paksu. Immersiohopeassa valmista kuparipintaista piirilevyä ensin upotetaan rasvanpoistossa, mikä poistaa sormenjäljet ja muut epäpuhtaudet piirilevystä. Rasvanpoiston jälkeen tulee huuhtelu, minkä jälkeen piirilevystä

taas etsataan noin 1  $\mu\text{m}$  kuparia pois mikroetsausaltaasta. Syövytyksen jälkeen kuparipinnan tulee olla tasaisen värinen, ennen kuin se etenee esikastoon. Esikaston tarkoituksena on valmistaa kuparipintaa hopealle ja estää mikrosyövytyksestä jääneitä happo-, kupari- ja kloridikontaminaatioita pääsemästä varsinaiseen hopeakylpyyn. Kloridikontaminaatiot saostuisivat todella nopeasti hopeakylvyn pohjalle, lyhentäen hopeakylvyn käyttöikää. Hopeakylpy sisältää typpihappoa, natriumhydroksidia ja hopeanitraattia, mikä toimii kylvyssä hopean lähteenä. Hopeakylvyssä tapahtuu vaihtoreaktio kupari- ja hopeaionien välillä. Hopea on elektronegatiivisempaa kuin kupari, joten vaihtoreaktiossa kaksi vähemmän jaloa kupariatomia vaihtuu yhteen hopea-atomiin piirilevyn pinnalle. Kuvassa 3 kuvataan hopean ja kuparin välistä siirtymää. Oranssit pallot tarkoittavat kupari-ioneita ja vihreät pallot hopeaioneita. (4.)



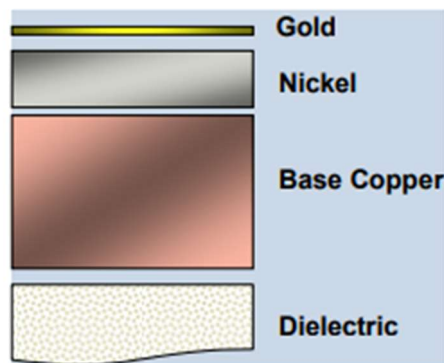
KUVA 4. Immersiohopean atomien vaihtoprosessi (4)

Immersiohopea mahdollistaa piirilevyjen täysin tasaisen rakenteen. Tasaisen rakenteen päälle pystytään hyödyntämään pintaliitostekniikkaa. Pintaliitostekniikassa komponentit ja elementit kiinnitetään suoraan piirilevyjen pintaan, ettei johtimia tarvitse johtaa reikiin piirilevyissä. Pintaliitostekniikkaa käytetään, kun piirilevy on pieni, se tulee sisältämään suuria muistimääriä ja levyllä on tarve toimia korkeilla nopeuksilla tai taajuuksilla. Etuina tekniikassa on se, että saadaan korkeampi komponenttitiheys ja piirilevyihin tarvitaan huomattavasti vähemmän reikiä. Immersiohopea on myös yllättävän halpa pinnoitevaihtoehto. Hopea on myös kaikista sähköä johtavin metalli, mikä tarjoaa etuja valmiissa piirilevyissä. Hopeapinnoitteinen piirilevy myös säilyy pitkään,

jopa kaksi kertaa pidempään kuin tinapäälysteinen levy ja kestää huomattavasti paremmin lämpötilavaihteluita. (3.)

#### 2.1.4 ENIG

Enig (electroless nickel and immersion gold) -prosessissa piirilevyn pinnalle kerrostetaan nikkeliä, jonka päälle ohut kerros suojaavaa kultaa. Kemiallisesti kulta olisi paras vaihtoehto, sillä kulta ei hapetu ollenkaan. Myös lämpötilalla ja varastointiolosuhteilla on lähes vaikuttamaton haitta piirilevyn säilyvyyden suhteen. Kulta myös sulaa äärimmäisen puhtaasti ja takaa lähes täydellisen juotosliitoksen piirilevyn kanssa. Kulta kuitenkin tekee juotosliitoksista hauraita, kun sitä on yli 3 % painosta. Kulta myös liukenee nopeasti kupariin, joten nikkeli-kerros levitetään erottamaan metallit. Nikkelin ominaisuudet, kuten kovuus, juotettavuus ja kulutuksen kesto yhdessä kullan ominaisuuksien kanssa takaavat yhden parhaista loppupinnoitteista. Kuvassa 5 näkyy enig-pinnoitteisen piirilevyn rakenne. (4.)



KUVA 5. ENIG-päälysteinen piirilevy (4)

Enig-pinnoite vaatii useampia vaiheita kuin muut loppupinnoitusvaihtoehdot. Levyt käyvät samantyyppiset puhdistus- ja etsausprosessit lävitse, mutta nikkeli ei suoraan tartu piirilevyn pintaan. Nikkeli tarvitsee katalyytiksi palladiumia, joka aktivoi kuparipinnan vastaanottamaan kemiallisen nikkelin. Nikkelin ja kuparin välillä tapahtuu vaihtoprosessi, kun palladium estää nikkelin liittymästä mihinkään muuhun kuin kupariin. Kun nikkeli on saatu piirilevyn pintaan ja puhdistettua, siirtyy piirilevyn immersioikultaukseen. Immersioikulta toimii samalla periaatteella, kuin muutkin immersio-pinnoitteet. Kulta on jalompaa kuin nikkeli ja yhdessä happojen kanssa kultaionit sitoutuvat nikkelin päälle muodostaen todella ohuen kultakerroksen, joka on noin 0.05-0.012  $\mu\text{m}$  paksu. Enig prosessi

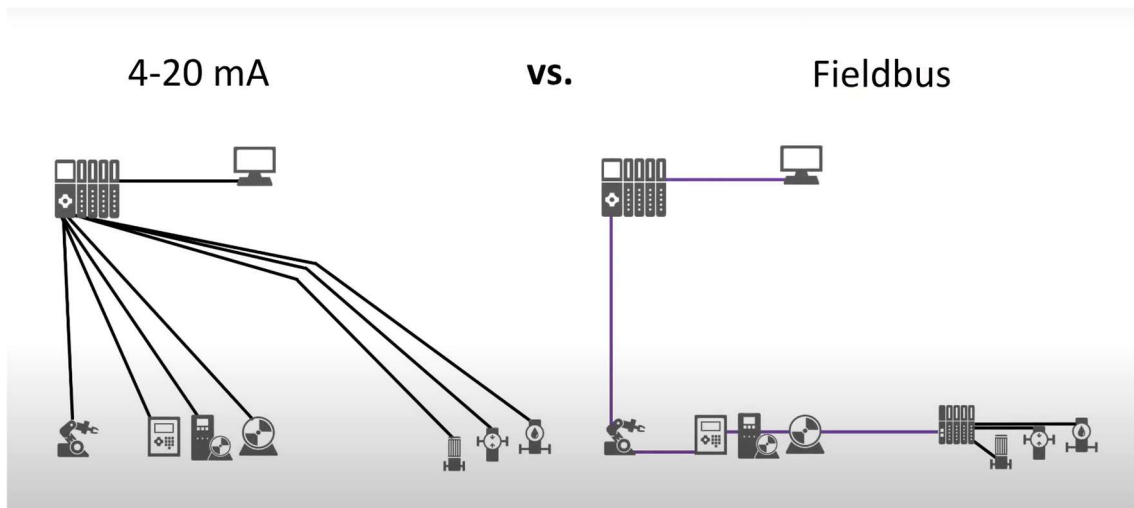
on kallis ja monimutkainen vaihtoehto piirilevyille, mutta tarjoaa paljon etuja. Kulta suojaa nikkeliä hapettumiselta ja tarjoaa erinomaista sähkönjohtavuutta. Nikkeli kerros on huomattavasti kovempaa kuin kulta, mikä vahvistaa pinnoitettuja reikiä ja suojaa kuparia liukenemiselta tulevilla juotoksissa. (4.)

## 2.2 Kenttäväylät

Kenttäväylät ovat tärkeä osa teollisuusautomaatiota ja teollista prosessien ohjausta, jotka perustuvat kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoyhteyteen. Kenttäväylillä saadaan laitteistojen eri osat yhdistettyä toisiinsa yksinkertaisemmin kuin kaapeloimalla jokainen laite erikseen. Kenttäväylät tarjoavat tehokkaita tapoja kenttälaitteiden välisten vuorovaikutusten hallintaan. Kenttälaitteisiin kuuluu muun muassa anturit, moottorit, pumput, venttiilit ja puhaltimet. Kenttäväyliä avulla pystytään muodostamaan digitaalisia teitä automaatiolaitteiden, antureiden ja ohjainten välille reaaliaikaisesti.

Kenttäväyliä avulla pystytään korvaamaan analoginen tiedonsiirto antureiden, ohjainten ja automaatiolaitteiden välillä. Teollisuusautomaatiossa tyypillisesti käytetään vielä paljon analogisia signaaleja, eli 3-20mA virtaa. 3-20mA on standardisoitu virtaviesti toimilaitteiden välillä, jonka tiedonsiirto on yksisuuntaista. Analogisessa asennuksessa jokainen laitepari tarvitsee oman kytköksen. Kuvassa 6. on kuvattuna analogisen ja digitaalisen tiedonsiirron eroavaisuuksia. Kuvassa huomataan, että digitaalisessa kytkennässä tarvitaan vähemmän kaapelointia, sekä mahdollisuus kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon. Pienemmällä kaapeloinnilla ja kytkennöillä pystytään samalla vähentämään vikadiagnostiikkaa. (5.)





KUVA 6. Analogisen ja digitaalisen tiedonsiirron eroja (5)

Kenttäväylät muodostavat laitteiden välille ”Master-Slave” rakenteen. Master on pääohjain tai päälaitte, joka hallitsee tai ohjaa koko järjestelmää. Ainoastaan master-laite pystyy lähettämään ohjeita ja pyyntöjä, sillä master-laitteella on korkeampi hallintataso kuin slave-laitteella. Slave-laitteita ovat I/O asemat, jotka välittävät informaatiota eteenpäin komponenteille ja antureille. Väylätopologialla, kuvataan näiden kahden laitteen välistä vuorovaikutusta. Topologiat kuvaavat fyysisesti, miten väylät ovat rakennettu. (6.)

Topologiavaihtoehtoja on linja-, tähti-, rengas- ja puumuotoiset rakenteet. Vaihtoehtoja voidaan myös yhdistää. Topologian nimitys perustuu siihen, miten kaapelit ovat linjassa vedetty suhteessa master-laitteeseen. Linjamuotoisessa topologiassa laitteet ovat kytketty ainoastaan yhteen kaapeliin, joka kiertää jokaiselta laitteelta toiselle. Tähtityyppisessä topologiassa yhdestä master-laitteesta pystyy lähtemään monta eri linjaa. Puutyypisessä topologiassa kaapelointi haarautuu puun oksien omaisesti. Haarautuminen on mahdollista, kun Slave-laitteiden välille asetetaan repeareita, eli toistimia. Rengastyypisessä topologiassa kaapelointi kulkee katkeamattomana ketjuna laitteiden läpi ja palaa takaisin lähtöpisteeseen. (7.)

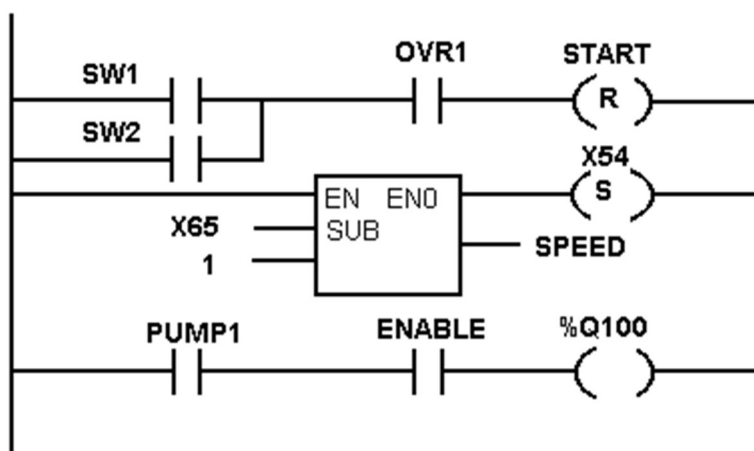
### 2.2.1 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka, eli PLC on erikoistunut tietokone, joita käytetään teollisuusautomaatiossa ja muissa automaatiotehtävissä. Ohjelmoitava logiikkaohjain ei pysty tekemään läheskään niin paljoa kuin tavallinen koti- tai toimistotietokone, mutta se suoriutuu teollisuusautomaation tehtä-

vissä poikkeuksellisen nopeasti. Tämä logiikkaohjain valvoo linjassa I/O-asemien tuloja ja lähtöjä tehdäkseen tärkeitä päätöksiä ennalta koodatun ohjelman mukaisesti. PLC:n tärkeimmät osat ovat: keskusyksikkö, I/O-asetat, väylä ja virtalähde. Keskusyksikkö on ohjaimen aivot, joka suorittaa matemaattisesti raskaan työn, jota vaaditaan automatisoidun järjestelmän äärimmäisen nopeaan toimintaan. I/O-asetat liittävät antureiden antamat palautetiedot, kuten lämpötilat ja mekaaniset liikkeet takaisin kenttäväylää pitkin keskusyksikölle. Virtalähde toimittaa tarvittavan energian tähän yhtälöön. (8.)

Ohjelmoitava logiikka luotiin vähentämään releiden käyttöä teollisuudessa. Ennen koneet ja linjat sisälsivät suuria sähköpaneeleja, jotka sisälsivät satoja tai jopa tuhansia releitä. Logiikkaohjaimet voidaan ajatella laatikoina, jotka sisälsivät tuhansia etukäteen koodattuja digitaalisia releitä, jotka korvaavat mekaanisesti kuluvia releitä. PLC-ohjelmointi tarkoittaa sisäisen logiikan luomista ohjelmoitavalle logiikkaohjaimelle.(8.)

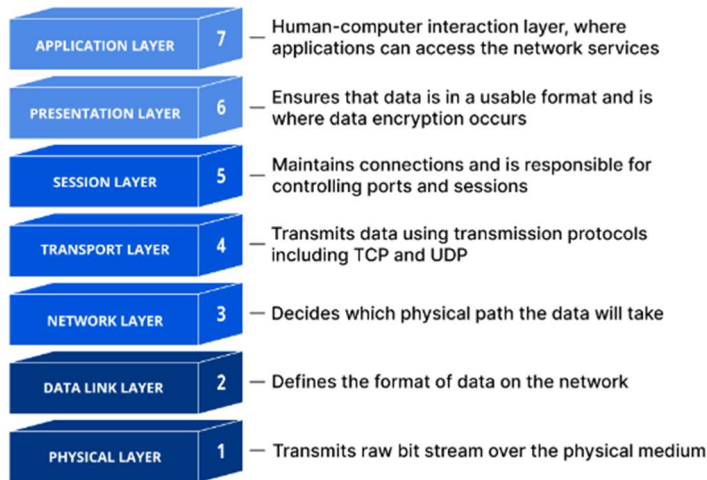
Yleisin ohjelmointikieli on ladder logic- kieli, mikä muistuttaa todella paljon sähkökaavioita. Ladder logiikassa vasen kisko toimii jännite lähteenä ja oikea kisko maadoituksena. Tieto kulkee koodista vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas. Sisääntuloina koodissa käytetään erilaisia kytkimiä, kuten rajakytkimiä ja lähestymiskytkimiä. Ulostuloina voi olla esimerkiksi moottoreita tai venttiilejä. Kuvassa 7. on kuvattuna yksinkertainen Ladder Logic- kielellä valmistettu ohjelma. Koodista voidaan huomata, kun kaksi sisääntuloa vaihtuu päälle, niin ulostulo käynnistyy. (9.)



KUVA 7. Ladder Logic- koodia (9)

## 2.2.2 OSI-viitemallit

OSI-malli (Open System Interconnection) on luotu avointen tietojärjestelmien liitännämallin kehittämiseen. Tarkoituksena oli poistaa yhteensopivuusongelmia eri verkkojen välillä. Järjestelmän on luonut kansainvälinen standardiorganisaatio ISO (International Standards Organization), joka mahdollistaa erilaisten viestintäjärjestelmien kommunikoinnin standardiprotokollien avulla. OSI-malli koostuu seitsemästä eri abstraktista kerroksesta, joista kukin on pinottu päällekkäin. OSI-mallin jokainen kerros hoitaa tietyn tehtävän ja kommunikoi kerrosten ylä- ja alapuolella olevien kerrosten kanssa. Nykyaikaiset yhteydet eivät noudata tarkasti OSI-mallia, mutta se on silti erittäin hyödyllinen vikadiagnostiikassa. OSI-malli auttaa hajottamaan ongelman ja eristämään ongelman lähteen, kuten missä vaiheessa tiedonsiirrossa syntyy ongelmia. Esimerkiksi jos ongelma liittyy fyysiseen kerrokseen, voit keskittää hakusi laitteistoon ja kaapelointiin. Kuvassa 8 esitetään OSI-mallin seitsemän eri kerrosta järjestyksessä. (10.)



KUVA 8. OSI-Mallin seitsemän kerrosta (10)

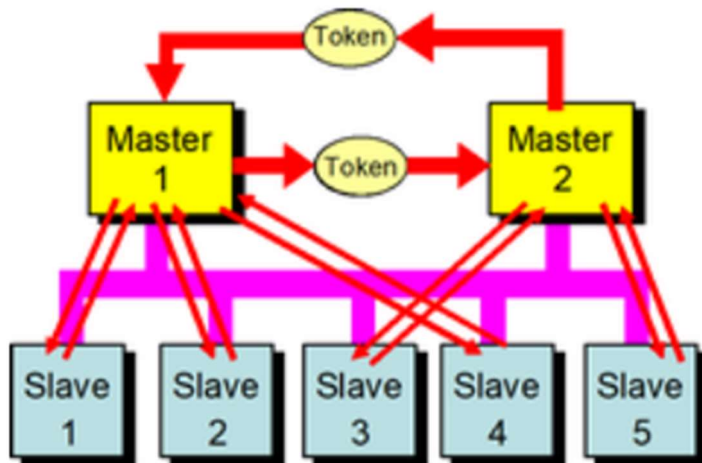
Kenttäväylät hyödyntävät vain kolmea näistä kerroksista. Niitä ovat fyysinen kerros, tietolinkkerros ja soveltuvuuskerros. Fyysinen kerros on OSI-mallin alin kerros. Fyysinen kerros on mekanismi sähköisten tai optisten signaalien lähettämiseksi ja vastaanottamiseksi. Fyysinen kerros määrittelee tiedonsiirron mekaaniset ja fyysiset ominaisuudet. Käytännössä fyysinen kerros myös

muuntaa digitaalisen signaalin binäärimuotoon, joka on 1:ien ja 0:ien sarjaa. Muunnettu signaali liikkuu OSI-mallissa ylöspäin seuraavaan kerrokseen. (11.)

Tietolinkkikerros on mekanismi, jossa dataa siirretään asemilta toisille. Keskeisiä asioita tälle kerrokselle ovat: data, osoite, prioriteetti, väliohjaus ja muut viestin siirtoon liittyvät asiat. Tietolinkkikerros toimii fyysisen kerroksen matalilla nopeuksilla, joten se pystyy hyödyntämään saapuvaa dataa todella helposti. Saapuvalla datalla on erilaisia kiireellisyytasoja, joten kerroksen täytyy lajitella ne kiireellisyyden mukaan. Tietolinkkikerros tarjoaa kolme prioriteettitasoa, jossa tärkeät viestit lähetetään välittömästi, vaikka jonossa olisi muita prioriteettitasoa viestejä. Tärkeät viestit ovat vain 64 bittiä suuria. Seuraavana tulevat normaalit viestit, jotka ovat 128 bittiä suuria. Viimeisimpänä kiireettömät viestit, jotka ovat suurimpia bittikooltaan, 256 bittiä. Soveltuvuuskerros on OSI-mallin korkein kerros. Tämä kerros määrittelee millaisia sovelluksia ja toimintoja kenttäväyläsovelluksessa voidaan toteuttaa. (11.)

### **2.2.3 Profibus**

Profibus (Process field bus) on teollisuuden kenttäväyläprotokolla, joka kehitettiin 1980-luvun lopussa Saksassa. Profibus kenttäväylästandardi perustuu kansainvälisiin standardeihin IEC61158 ja IEC617784. Profibus luotiin parantamaan teollisuusautomaation viestintästandardeja ja yhteyksiä teollisuuden toimilaitteiden välille. Profibus protokolla on kahdenlaisia: Profibus DP ja Profibus PA. Profibus DP mahdollistaa viestinnän master-ohjainlaitteen ja useiden slave-kenttäantureiden välillä. Profibus DP:n erikoisuutena on token ring- protokolla, joka mahdollistaa useiden master-laitteiden samanaikaisen toiminnan samassa väylässä. ”Token” eli oikeus viestintään määrittää, millä master-laitteella on yksinoikeus viestintään väylässä. Tämä oikeus vaihtelee master-laitteiden välillä. Kuvassa 8. kuvataan, kun token vaihtuu master-laitteiden välillä, niin slave-laitteiden viestintä keskittyy ainoastaan yhteen asemaan. (12.)



KUVA 7. Profibus DP:n hierarkiaa (12)

Profibus DP-verkoissa on kaksi pääluokkaa master-laitteille. Ensimmäisessä luokassa sijaitsee niin sanottu päälaitte, joka vastaa datan keräämisestä jokaiselta slave-laitteelta synkronisesti. Toisessa luokassa master-laite vain viestii diagnostiikka- ja laiteparametrien asettamistarkoituksessa asynkronisesti. Luokan kaksi master-laitteen ei tarvitse olla pysyvästi yhteydessä Profibus verkkoon. Profibus DP hajauttaa I/O yhteydet tehdasalueelle vähentäen tarvetta kaapeloinnille. Jokaista laitetta ei tarvitse suoraan kytkeä logiikkaohjaimen, vaan kentälaitteet yhdistetään I/O-asemia pitkin yksikköön. Vain yksi kaapeli tarvitaan kulkemaan asemien lävitse, mikä vähentää kustannuksia ja monimutkaisuutta. (12.)

Profibus yhteys toimii RS485- kaapelilla ja yhteen kaapeliin voidaan yhdistää jopa 126 I/O asemaa ja jokaiseen asemaan voidaan liittää kymmeniä laitteita. Kaapeli voi olla jopa kilometrin mittainen ja pystyy liikuttamaan dataa 9.6-12000kb/s Mitä pidemmälle kaapeli joudutaan vetämään, sitä hitaammaksi tiedon siirto laskee. (13.)

## 2.2.4 Profinet

Profinet on teollinen ethernet ja se on luotu yhteistyössä Siemensin sekä Profibus & Profinet Internationalin kanssa parantamaan teollisuusviestintää 2000-luvun alussa. Profinet on avoin standardi, mikä mahdollistaa useiden eri laitevalmistajien tuotteiden yhteensopivuuden. Profinet kenttäväylästandardi perustuu kansainväliseen IEEE 802.3 standardiin. Profinetin idea perustuu laa-

jalti Profibus DP:n pohjalle ja parantelee sitä entisestään. Profinet ei käytä master-slave-protokollaa, vaan laitteet pystyvät vastaanottamaan ja lähettämään tietoa samaan aikaan. Profinetissä myös kaapelointi on siirtynyt nykyaikaan. RS-485 kaapeli on vaihtunut RJ45 kaapelointiin, mikä on nykypäivänä paljon yleisempi liitin. Ensimmäiset Profinet-yhteydet olivat jopa kymmenen kertaa nopeampia datan siirrossa kuin Profibus-liittymät. Nykyään Profinet tukee 1Gb/s nopeuksia, mikä on melkein 100 kertaa nopeampi kuin Profibus. (13;14.)

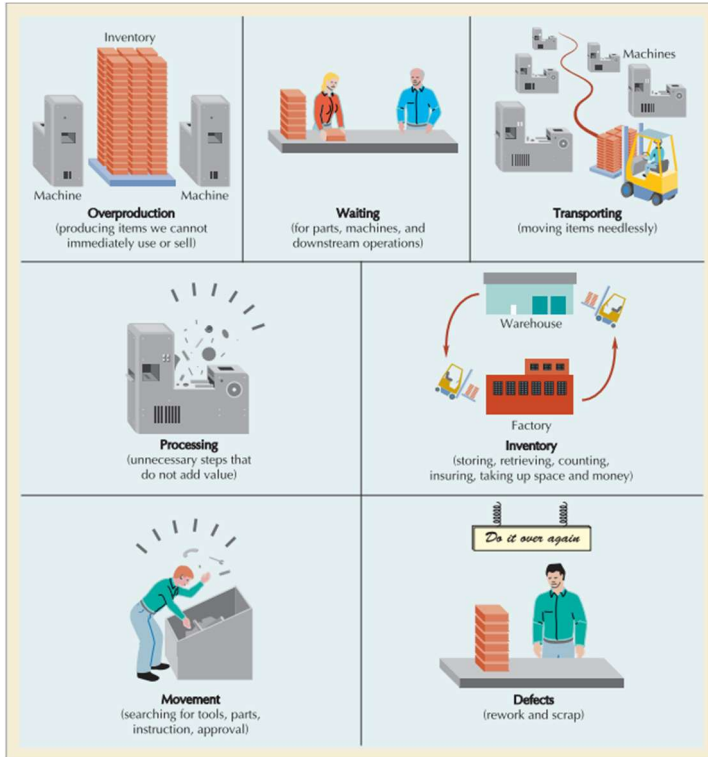
Profinet tukee tehokkaampaa reaaliaikasta viestintää, mikä on tärkeää esimerkiksi robotiikassa ja monimutkaisemmissa automaatiojärjestelmissä. Samalla Profinet tarjoaa mahdollisuuden suorittaa laitteiden diagnostiikkaa ja valvontaa verkossa, mikä helpottaa vianmäärittystä ja ylläpitoa. Suuri etu Ethernet-pohjaiseen kenttäväylään siirtymisessä on mahdollisuus hyödyntää langattomia yhteyksiä, kuten WiFiä ja bluetoothia (13.)

## **2.3 Työkaluja käyttöönottoon**

### **Lean**

Lean-ajattelu on liiketoimintafilosofia ja johtamismenetelmä joka, sai juurensa 1950-luvun Japanista, kun Taiichi Ohno sai tehtäväkseen parantaa Toyotan tuottavuutta. Länsimaihin Lean-ajattelutapa rantautui 1990-luvulla, kun James Womack ja Daniel Jones julkaisi tutkimuksen, joka keskittyi japanilaisen teollisuuden poikkeuksellisen hyvään kilpailukykyyn. Lean myös tarkoittaa samaa kuin Toyotan tuotantojärjestelmä ja on tunnettu länsimaissa paremmin nimellä Toyota Production System eli TPS. Lyhykäisyydessä Lean tarkoittaa hyödykkeiden valmistamista enemmän vähemmällä, kuten pienemmällä varastoilla, pienemmällä henkilökunnalla ja pienemmissä tiloissa. 1950-luvulla Japanin autoteollisuus oli todella heikossa tilanteessa toisen maailmansodan seurauksena. Uusia autoja valmistui vain 30 000 kappaletta, kun taas Tyynenmeren toisella puolella Yhdysvalloissa autoja valmistui päivässä yhtä paljon. Toyotalta puuttui pääoma tehdä suuria hankintoja ja varastotilat olivat todella pienet, joten Ohnon täytyi keksiä keinoja, joiden avulla voitaisiin valmistaa enemmän autoja, käyttämällä mahdollisimman vähän resursseja. Hän alkoi keskittymään siihen, millaisia hukkatilanteita syntyy tuotantoprosessissa ja miten niitä voitaisiin eliminoida. (15, s 721-722)

Hukkatoiminnot eivät tuota asiakkaalle arvoa, joten niitä täytyy eliminoida. Ohno löysi seitsemän erilaista hukkaa, jotka eivät tuo yritykselle voittoa tai asiakkaalle ollenkaan arvoa. Kuvassa 8 esitetään hukkatoiminnot visuaalisesti.



KUVA 8. Leanin seitsemän hukkaa (15, s.722)

Ylituotannolla tarkoitetaan tilannetta mikä on todella yleinen useassa tehtaassa. Työpisteiden väliin kertyy tuotteita, joita ei päästä heti hyödyntämään. Hyödyntämättä jääneet kasvattavat keskeneräisen tuotannon arvoa ja syövät varastointitilaa. Ylituotantoa syntyy kun kappaleita valmistetaan valmiiksi ennen kuin niitä tarvitaan tai myydään. Odottamisesta syntyy hukka-aikaa, kun työntekijä joutuu odottamaan uusia osia, uutta työstettävää osaa taikka uutta työtehtävää. Odottaminen hidastaa tuotteiden läpimenoaikaa, mikä hidastaa tuotantoa ja luo lisää kustannuksia tuottajalle ja asiakkaalle. Kuljettamisen hukalla tarkoitetaan valmistettavien kappaleiden ylimääräistä kuljetusta työpisteiltä toisille. Ylimääräistä kuljettamista voidaan vähentää sijoittamalla koneet tai linjat lähelle toisiaan, mikä vähentää kappaleen läpimenoaikaa ja vähentää kuljettamisen tuomaa vahingon riskiä. (15, s. 721-722)

Työstämisen hukalla tarkoittaa, että kappaleeseen tehdään enemmän työtä kuin olisi tarpeen. Tarpeettomia toimintoja, jotka eivät tuota lisäarvoa tuotteelle ovat: uudelleentarkastukset, uudelleenlaskennat ja liiallinen dokumentointi. Kappaleiden liiallinen monimutkaisuus hidastaa myös

läpimenoaikaa ja ei tuota lisäarvoa yritykselle. Varastointi tuo useita ongelmia ja haittoja tuotantoprosessiin. Suuret varastot sitovat paljon pääomaa, joka voisi olla käytössä muualla tuotannossa. Varastointi lisää myös tilakustannuksia, henkilöstökustannuksia ja turvallisuuskustannuksia. Pahimmassa tapauksessa osa varastoiduista tavaroista voi vanhentua ja niistä ei saada ollenkaan voittoa. (15, s. 721–722.)

Työpisteellä ylimääräinen liikkumiseen kuuluu esimerkiksi: työkalujen etsiminen, osien etsiminen, ja ohjeiden etsiminen. Ylimääräinen liikkuminen ja kyyristely voi aiheuttaa fyysisiä ongelmia pitkässä juoksussa, jos ergonomiasta ei ole huolehdittu. Kaikki tuotannossa syntyvät virheet ja vahingot tuovat rahallista menetystä yritykselle, kun kappaleita joudutaan korjaamaan ja hävittämään kokonaan. Työntekijöiden jatkuvalla opastamisella ja prosessia parantamalla voidaan vähentää vikojen syntymistä. (15, s. 721-722)

### **5s+s menetelmä**

5s on Japanissa kehitetty viisiosainen työalueen ja työpisteen organisointimenetelmä. 5s:n on kehittänyt Hiroyuki Hirano osana hänen lähestymistapaansa tuotantojärjestelmiin. Menetelmän ideana on päästä eroon kaikesta turhasta ja tarpeettomasta työpisteillä ja työympäristössä. 5s on yleensä ymmärretty väärin, sillä monet pitävät sitä vain siivousohjelmana. Menetelmä tulisi ymmärtää jokapäiväiseksi omaan työhön kuuluvaan toimintamalliin. Ajatusmallia voidaan soveltaa työelämässä toimistoissa ja erilaisissa tuotantoympäristöissä. 5s:n keskeisin asia on, että työpisteiltä poistetaan kaikki ylimääräinen ja turha kokonaan pois. Jäljelle jäävät asiat järjestellään viisaaseen järjestykseen ja työpisteet siivotaan. Sovitut menetelmät standardisoidaan ja niihin sitoudutaan yhdessä, että lyhennettäisiin tuotteiden läpimenoaikoja ja virtausta saadaan nopeammaksi. (16.)

5s koostuu viidestä eri vaiheesta, jotka tulevat japaninkielen sanoista seiri (lajittelu), seiton (järjestäminen), seiso (puhdistaminen), seikutze (standardisointi) ja shitsuke (sitoutuminen). Lajittelu tarkoittaa luopumista siitä, mitä et tule tarvitsemaan käsillä tehtävään työhön. Näihin kuuluvat eri materiaalit, tiedostot, kansiot, laitteet, välineet ja tarvikkeet. Järjestämisen vaiheessa etsitään paikka kaikelle tarvittavalle ja merkitään paikat asianmukaisesti. Tavaroita tulisi pitää oikeilla paikoilla ja palauttaa takaisin heti käytön jälkeen. Oikeassa paikassa olevaa tuotetta on paljon nopeampi käyttää, kuin hukassa olevaa. Järjestämisen vaiheessa myös osien ja materiaalien nouto tulisi järjestää mahdollisimman esteettömäksi ja nopeaksi, pitäen mielessä tehokkuus, työturvallisuus ja



ergonomia. Puhdistuksessa pidetään työalue siistinä. Kaikki laitteet ja työkalut tulisi myös puhdistaa ja luoda järjestelmä, jossa taataan alueen ja laitteiden siisteys. Puhtaus pitää huolen, että työkalut säilyvät ja toimivat paremmin tulevaisuudessa. (16.)

Standardisointi liittyy kolmeen ensimmäiseen pilariin, mutta vahvimmin se liittyy puhdistamisen ja järjestyksen ylläpitoon. Alueille pitää luoda siisteystaso ja selkeä standardi työtilasta, mikä auttaa pitämään asioita järjestyksessä ja pitämään asiat oikeilla paikoillaan. Visualisointi auttaa työntekijöitä pitämään kaiken siellä, missä niiden kuuluukin olla. Värien avulla voidaan rajata turvallisia työalueita ja kylteillä opastaa, mikä mihinkin kuuluu. Sitoutumisella tarkoitetaan, että jokainen työntekijä ottaa tavakseen ylläpitää oikeita toimintatapoja. Sitoutuminen on äärimmäisen tärkeää, koska jos kukaan ei sitoudu 5s:n ylläpitämiseen, niin koko järjestelmä kaatuu. Kun työntekijä sitoutuu noudattamaan menetelmää, niin siitä tulee jossakin vaiheessa rutiini ja jatkuva onnistuminen on taattu. Turvallisuus on kuudes ”ässä”, mikä tulee näiden menetelmien täytyttyä kaupan päälle. Siistissä ja järjestetyssä työympäristössä on paljon turvallisempaa ja stabiilimpaa työkennellä. 5s-menetelmän käyttö tuo esiin mahdolliset ongelmat, kuten laiteviat, vuodot, hukatut osat, puuttuvat suojukset ja varoituskyltit (16.)

### 3 HOPEALINJAN KÄYTTÖNOTTO

#### 3.1 Nykytila

Linjalla oleva nykytilanne on haastava. Hopealinjan vanha logiikka on vaurioitunut. Hopealinjaan on jouduttu ajamaan huoltotilassa manuaalisella ajolla. Jokainen pumppu ja lämmitys on pitänyt yksitellen laittaa päälle ennen ajoa ja myös manuaalisesti sammuttaa. Myös parametrien, kuten lämpötilojen ja linjan nopeuksien muuttaminen on ollut mahdotonta. Mietinnässä oli, että tehdäänkö kokonaan uusi linja, mutta säästösyistä päädyttiin vain vaihtamaan logiikka ja siihen liittyvät komponentit. Vaihde-taviin komponentteihin kuuluvat: linjan alussa sijaitseva käyttöliittymä, logiikkaohjain, väyläkaapelit, I/O-asetat ja taajuusmuuttajat. Kuvassa 9 on kuvattuna linjan alussa sijaitseva käyttöliittymä, mikä on todella vanha ja tullaan vaihtamaan nykyaikaisempaan kosketusnäytöllä toimivaan versioon.



KUVA 9. Vanha käyttöliittymä linjan alussa

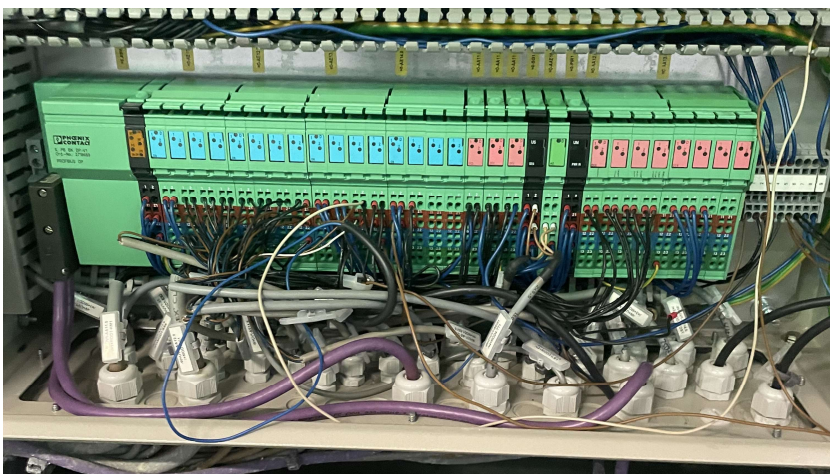
Tällä hetkellä linjan sähkökaapista löytyy Siemensin S7-300 logiikkaohjain. S7-300 logiikkaohjain hyödyntää tiedonsiirrossa Profibus DP kenttäväylästandardia. Logiikkaohjaimen vierestä löytyy kaksi kappaletta taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttajat muuttavat syöttötehoa laitteen energiavaatimusten mukaan, säästämällä energiaa ja komponentteja. Taajuusmuuttajien ansiosta moottorien ei tarvitse aina käydä täydellä teholla. Linjastossa on yhteensä seitsemän taajuusmuuttajaa, joista viisi kappaletta on Lenzen valmistamia 8200 motec -sarjan taajuusmuuttajia. Lenzen taajuusmuuttajat ovat sijoitettu linjan taakse suoraan moottorien päälle. Kaksi taajuusmuuttajaa on

linjan sähkökaapissa. Kuvassa 10 näkyy nykyhetkiset sähkökaapin komponentit. Vasemmalla on ABB:n valmistama taajuusmuuttaja ACH580-01-09A5-A. Keskellä on Siemensin Simatic S7-300 -logiikkaohjain ja oikealla Siemensin Micromaster 440 -taajuusmuuttaja.



*KUVA 10. Vanha sähkökaappi*

Nykyiset väyläkaapelit ovat Profibus DP:lle omaisia RS485-kaapeleita, jotka kuljettavat informaatiota ja käskyjä linjan eri logiikanhajautusasemille. Linjasta löytyy kolme kappaletta logiikanhajautusasemia eli I/O-asemia. I/O Asemat ovat Phoenix Contactin valmistamia, joiden alussa on IL PB BK DP/V1 kytkentäkenttä. Kytkekenttä vastaanottaa signaalin ja siirtää sen sisääntulo ja ulostulokortteille, joita on yhdessä asemassa 15 - 37. Jokainen kortti sisältää 4 sisääntulopiiriä ja 4 ulostulopiiriä. Kuvassa 11 on linjan hajautusasema, jossa näkyy vihreällä Phoenix Contactin I/O-asema ja violetilla näkyy RS485-kaapeli, joka tuo tiedon asemalle.

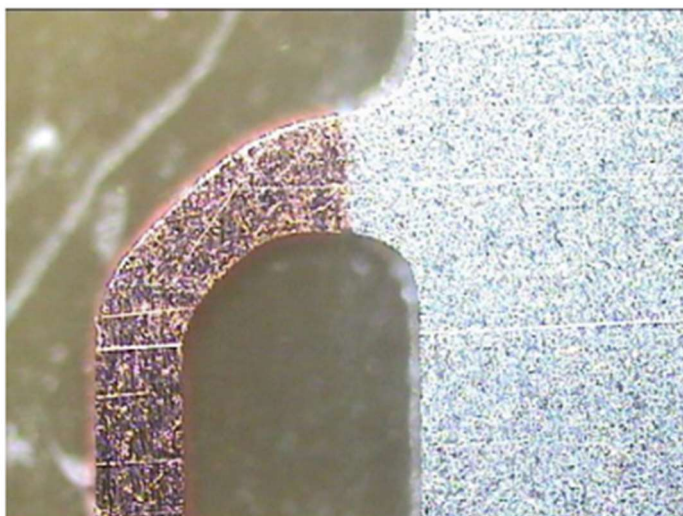


*KUVA 11. I/O-asema linjan keskivaiheella*

Alkuperäinen linja on otettu käyttöön melkein 20 vuotta sitten. Tuotantolinjan teettänyt yritys on päätenyt konkurssiin, minkä seurauksena projektista ei ole olemassa enää projektikopiota. Ilman projektikopiota, olemassa ei ole kommentoitua versiota logiikasta, joten se joudutaan rakentamaan alusta asti kokonaan uudelleen. Uuden logiikan kirjoittaminen linjastoon kestää huomattavasti pidempään ja sitä joudutaan testaamaan huomattavasti enemmän.

Immersiohopealinja koostuu kahdestatoista eri moduulista, joista jokainen on tärkeässä osassa hopeanvalmistuksessa piirilevyihin. Ensimmäinen moduuli on kuljetin. Kuljettimen alussa on tunnistimet, jotka laittavat linjan päälle, kun piirilevy on menossa ensimmäistä kertaa sisään. Alkupään kuljetin kuljettaa piirilevyä linjalla yhden metrin minuutissa. Toinen moduuli on rasvanpoisto. Rasvanpoisto on voimakkaasti syövyttävää ainetta, joka sisältää vetyperoksidia ja rikkihappoa. Rasvanpoistokylpy saapuu suoraan kemiantoimittajalta valmiina ja on suoraan käyttövalmista. Rasvanpoistossa kylpyä joudutaan ensin lämmittämään, jotta piirilevyistä voidaan poistaa rasvajäljet ja sormenjäljet ennen etsaus prosessia.

Rasvanpoiston jälkeen piirilevy menee huuhtelu moduulin läpi mikroetsaukseen. Mikroetsauksessa piirilevyn kuparin päältä syövytetään kuparia, jotta hopea saisi mahdollisimman hyvän tarttumapinnan kupariin. Mikroetsi on myös syövyttävää ainetta ja sisältää monia eri aineita, kuten kaliummonopersulfaattia, kaliumvetysulfaattia, kuparisulfaattia ja rikkihappoa. Mikroetsikylpy tulee aluksi lämmittää esiasetettuun lämpötilaan, että kemikaalit toimisivat mahdollisimman hyvin. Kuvassa 12 on mikroskoopin alta kuvattuna, miltä kupari näyttää mikroetsauksen jälkeen.

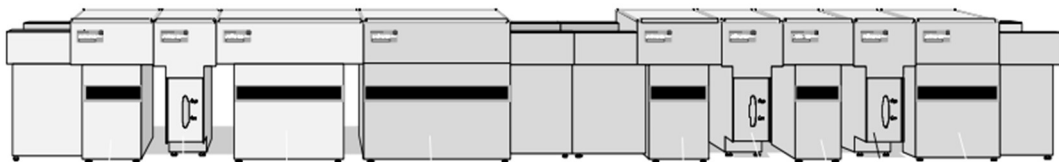


*KUVA 12. Piirilevyn karhea pinta mikroetsauksen jälkeen*

Mikroetsauksen jälkeen tulee uudelleen huuhtelu, jotta piirilevy tulee puhtaaksi ennen hopeakylpy vaiheita. Viimeinen moduuli esikäsittelyssä on välimoduuli/kuljetin. Välimoduuli on immersiohopealinjan puoliväli, jossa levyt voidaan poistaa linjasta, mikäli operaattori haluaa tehdä levyihin vain rasvanpoiston ja mikroetsauksen. Moduulilla on myös toinen tehtävä ennen hopeakylpyä, joka on nopeuttaa linjan kulkua. Kuljettimen nopeus on riippuvaa hopeakylpyjen laadusta.

Seitsemännestä moduulista alkaa varsinainen hopean valmistaminen piirilevyille. Seitsemännen kylvyn nimi on esikasto, mikä sisältää Sterling Silverin part B kemialla. Esikaston tarkoituksena on puhdistaa piirilevyjä vielä paremmin ja valmistella piirilevyä varsinaiseen hopeakylpyyn. Piirilevyn pinnalta pitää poistaa edellisissä reaktioissa syntyneitä kuparisulfaattia ja mikroetsauskemiä. Näitä kemikaaleja ei saa päästää varsinaiseen hopeakylpyyn, kun kuparisulfaatti ja mikroetsaus laskevat hopeakylvyn käyttöikä nopeasti. Esikastokylpy lämmitetään haluttuun lämpötilaan ja levyt ajetaan siitä lävitse hopeakylpyyn. Hopeakylpy sisältää Sterling Silverin part A kemialla, joka valmistaa kuparin pinnalle hopean ja kuljettaa sen huuhtelumuoduliin. Huuhtelun jälkeen tulee kuuma huuhtelu, jossa levyt puhdistetaan lopullisesti kaikista eri kemialla kuumalla vedellä ja lopuksi levyt kuivataan puhaltimilla. Puhaltimia on linjan loppupäässä neljä kappaletta. Kuljetin kuljettaa levyt ulos, josta operaattori lastaa ne sitten varovasti kärryyn kuljetettavaksi.

Tavoitteena on saada linjaan pelaamaan taas automaattiajo ja tuottaa optimaalista hopeaa piirilevyihin. Ideana olisi, että linja lähtisi lämpenemään yhdestä napista, ja päälle, kun lämmitys olisi valmis. Itsessään tähän linjan sisäiseen prosessiin ei tule ollenkaan muutosta. Kaikki moduulit ja kylvyt tulevat toimimaan samalla lailla, kuin aikaisemmin. Hopea tulee kasvamaan piirilevyihin samalla periaatteella ja yhtä paljon. Kuvassa 13 on kuvattuna, miltä linja näyttää.

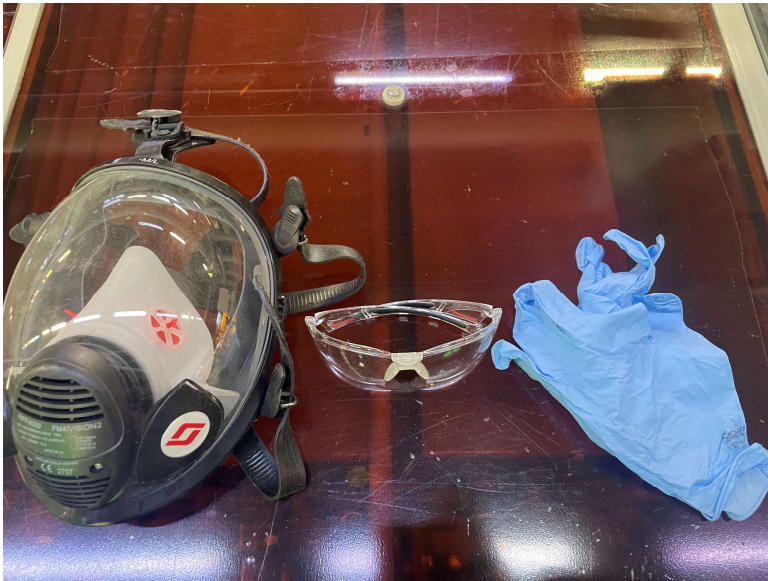


KUVA 13. Immersiohopea linja ja sen moduuli.



### 3.2 Linjaan tehtävät asennukset

Ennen varsinaisia asennuksia linja joudutaan tyhjentämään kemikaaleista. Osaston kemikaaleista useimmat ovat syövyttäviä, ärsyttäviä tai muuten haitallisia. Kemikaaleilta suojaudutaan suojakäsineiden, kasvosuojaimien ja suojalasien avulla. Tarvittaessa voidaan myös käyttää moottoroituja hengityssuojaimia ja muita suojavaatteita. Kuvassa 14 on suojavaarusteet, joita käytetään linjojen tyhjennyksessä ja myöhemmin myös vuosihuollon yhteydessä.



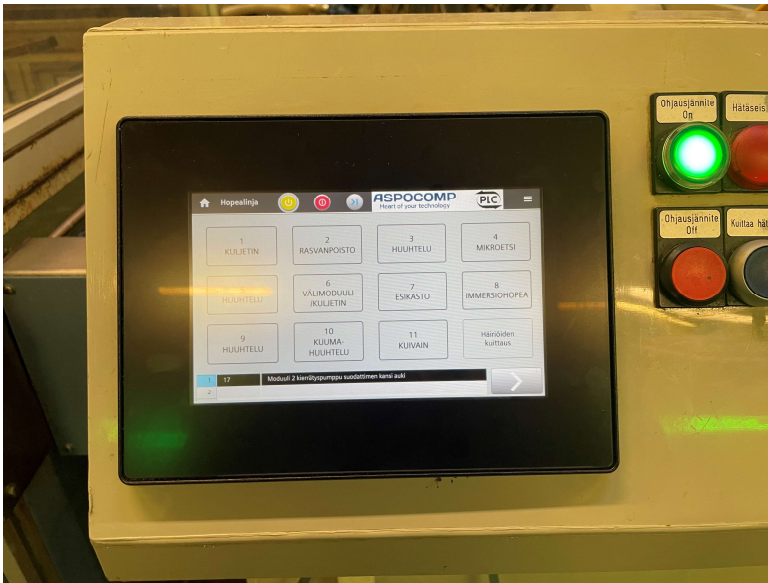
*KUVA 14. Työssä käytetyt suojavaarusteet*

Rasvanpoisto on syövyttävää ainetta ja sitä tulee käsitellä varoen ja vältellä sen päätymistä iholle, silmiin ja elimistöön. Mikroetsi on myös ärsyttävää, haitallista ja hapettavaa ainetta ja jäte aiheuttaa vaaraa palavien aineiden kanssa, joten se pitää erillään muista kemikaaleista. Hopeakylpy on vaarallista jätettä, joten sitä ei saa päästää viemäriin eikä vesistöön. Sama pätee myös muihin kylpyihin. Kylvyt pumpataan tynnyreihin ja kontteihin, joista osa päättyy jätevesilaitokselle kuparimittauksiin ja osa lähetetään konteissa vaarallisten jätteiden käsittelyyn pois tehtaalta.

Asennuksissa oli mukana toimeksiantajalta asentajia, jotka tekivät varsinaiset asennus tehtävät. Asentajat olivat valmiiksi liittäneet tuleviin I/O-asemiin sähkökaavioiden mukaisesti uudet kaapelit ulostuloportteihin, mikä nopeuttaa asennusta huomattavasti. Ensin kuitenkin piti poistaa kaikki vanhat komponentit linjasta ja merkata teipillä, mitä jokainen kaapeli tekee.

Kun vanhat komponentit ja kaapeloinnit poistettiin, päästiin aloittamaan asennukset. Linjan alkuun asennettiin moderni kosketusnäytöllä varustettu käyttöliittymä. Näytöstä pystyy helpommin

tarkistamaan linjalle tärkeää informaatiota, kuten lämpötiloja ja nopeuksia. Kuvassa 15 on uusi käyttöliittymä, jossa on nimetty jokainen moduuli helpottamaan navigointia.



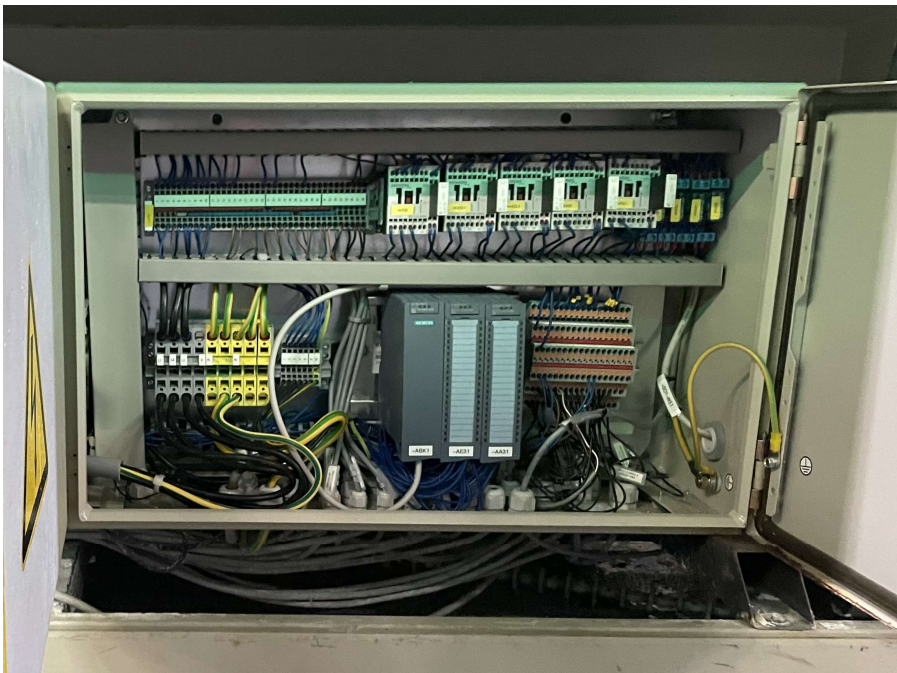
*KUVA 15. Uusi käyttöliittymä hopealinjan alussa*

Vanhan logiikkaohjaimen tilalle asennettiin Siemensin simatic S7 1513F-1 PN-logiikka ohjain linjan sähkökaappiin. Uusi logiikkaohjain tukee Profinet-kenttäväylästandardia. Vanhat RS485-kaapelit vedettiin linjasta pois ja tilalle asennettiin RJ45-ethernetkaapeleita jokaiselle hajautus-asemalle ja käyttöliittymälle. Linjaan tuli myös täysin uudet Siemensin G115D taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajat asennettiin sähkökaapin taakse pystyasentoon linjaa vasten paksulle muovilevyille. Kuvassa 16 on kuvattuna uudet taajuusmuuttajat. Ylimmällä rivillä olevat taajuusmuuttajat hallinnoivat linjan kuljetinmoottoreita ja linjan alkupään pumppuja. Keskimmäisen rivin taajuusmuuttajat ovat vastuussa hopeakylpyjen pumpuista ja alin rivi vastaa linjan neljästä puhaltimesta.



*KUVA 16. Taajuusmuuntajat linjassa*

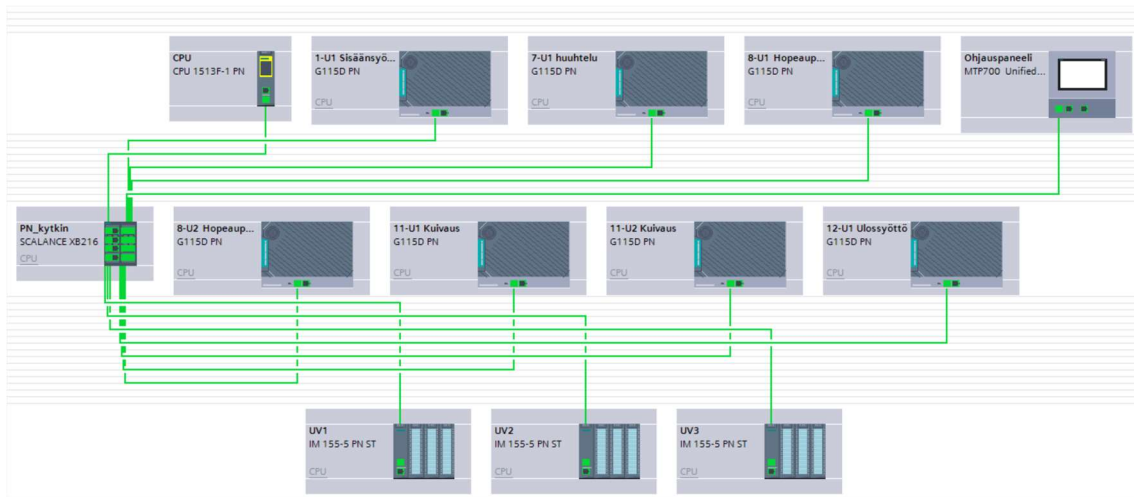
Uusia I/O-asemia asennettiin kolme kappaletta, jotka ovat Siemensin ET200-sarjan I/O-asemia. Ethernetkaapelit vedettiin jokaiselta I/O-asemalta ja taajuusmuuntajalta Siemensin Scalance XB216 logiikkakytkimeen, josta informaatio kulkee uuteen logiikkaohjaimiin. Kuvassa 17 on valmis sähkökaappi, jossa näkyy uusi I/O-asema. Harmaa laatikko on uusi I/O-asema, johon on yhdistetty ethernet kaapeli, joka kuljettaa informaatiota.



*KUVA 17. Uusi I/O-asema ja kaapeloinnit*



Linjassa uudet komponentit ovat asennettu tähtitopologiaan, kun kaikki taajuusmuuttajat ja I/O-asetat ovat asennettu yhteen kytkimeen, josta informaatio kulkee uudelle logiikkaohjaimelle. Kytkimen kautta asentaminen tarjoaa paremman kaistaleveyden, mikä on tärkeää teollisuusympäristössä. Informaatiota liikkuu linjassa paljon, joten kytkimen avulla voidaan nopeuttaa tiedonkulkua. Tähtitopologia on kalliimpi ratkaisu, mutta auttaa myös vikadiagnostiikassa. Jos yksi taajuusmuuttaja tai komponentti vahingoittuu, niin muut komponentit silti säilyttävät yhteytensä. Linjan alussa sijaitsevassa käyttöliittymässä nähdään, mitkä komponentit ovat yhteydessä ja mitkä ei. Vikaantunut kappale voidaan vaihtaa todella nopeasti, joten tuotantoprosessi ei pysähdy lainkaan. Kuvassa 18 on linjan topologia kuvattuna. Kuva näyttää, että kaikki laitteet verkosta, ovat vedetty Scalance XB216 kytkimeen, josta sitten menee yksi kaapelointi S7 1513F-1 PN logiikka ohjaimelle.



KUVA 18. Hopealinjan topologia.

### 3.3 Käyttöönotto asennusten jälkeen

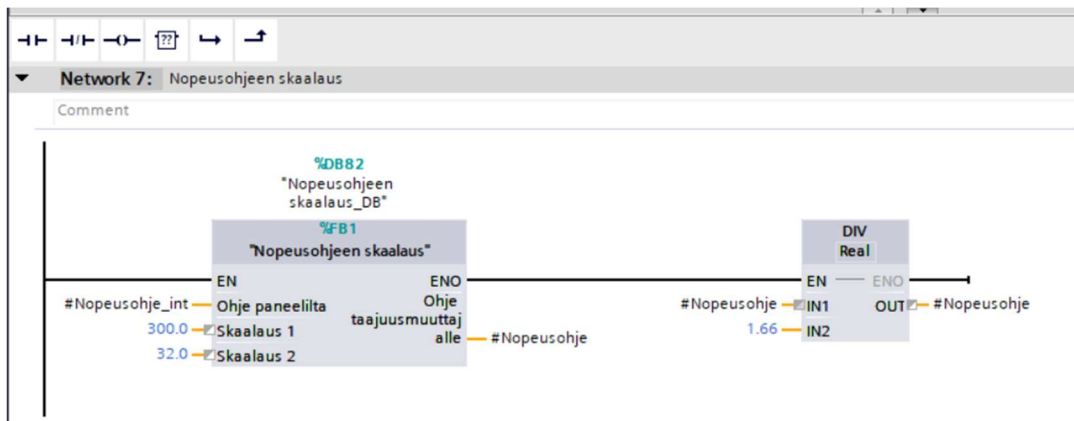
Asennustehtävien jälkeen linjaan alettiin tekemään vuosihuoltoa, sillä linja oli jo valmiiksi tyhjenetty kemikaaleista. Linja käännetään linjan alussa sijaitsevasta ohjauspaneelista huoltotilaan ja sininen valo syttyy yllä olevaan liikennevaloon. Linjan tuoreistushanat ja muut vesihanat suljettiin huollon ajaksi. Hopeakylvyille ja esikastolle on omat ohjeensa vuosihuollossa. Prosessi alkaa suodatinpatruunoiden liottamisella pesuliuksessa, joka sisältää lämmintä deionisoitua vettä, typpihappoa ja Sterling Silver part B kemialia. Tämän jälkeen suodattimet liotettiin deionisoituun veteen ja asennetaan linjaan vasta, kun uudet kylvyt laskettiin altaisiin. Pesuvaiheessa altaisiin laskettiin deionisoitua vettä ja typpihappoa. Moduulin kuljettimet, lämmitykset ja pumput laitettiin

päälle ja annettiin niiden pyöriä kahdeksan tuntia. Kahdeksan tunnin jälkeen tarkastettiin altaat ja kuljettimet olivatko ne puhtaita. Pesuvedet laskettiin viemäriin ja telat puhdistettiin vielä isopropanolilla ja kuumalla deionisoidulla vedellä. Lopuksi suodatinpatruunat vaihdettiin ja uudet kylvyt valmistettiin noudattaen määrättyjä annoksia deionisoidulle vedelle, Sterling Predip Part B:lle, Sterling Silver Part A:lle ja vahvalle typpihapolle. Rasvanpoistoon ja mikroetsaukseen vaihdettiin uudet suodatinpatruunat ja kaikkien moduulien kuljettimet puhdistettiin isopropanolilla. Huuhtelualtaat puhdistettiin vahvalla typpihappoliuoksella, jota kierrätettiin pumppujen avulla moduulissa usean tunnin ajan, jonka jälkeen moduulit tyhjennettiin ja tilalle laitettiin pelkästään deionisoitua vettä. Rasvanpoistossa ja mikroetsauksessa moduulit täytettiin deionisoidulla vedellä, jota kierrätettiin linjassa noin tunnin ajan, jonka jälkeen uudet kylvyt laitettiin altaisiin.

Vuosihuollon jälkeen linjaan pääsi tekemään ensimmäisiä testauksia. Ensimmäisenä linja lämmitettiin oikeaan lämpötilaan. Lämpötilat moduuleista mitattiin ulkoisella lämpömittarilla, jotta pystyttiin vertaamaan, onko linjan parametrit oikeassa ja näyttääkö käyttöliittymä oikeat lämpötilat. Samalla myös testattiin, että kaikki kytkimet ja anturit toimivat oikealla lailla ja viestittävät oikein linjassa.

Tärkeää oli testata, että hätäseis ja muut turvakytkimet toimivat. Jokainen hätäseis toimi, mutta testauksissa huomattiin moduulissa 3 ongelmaa. Kannen turvakytkimet olivat poistettu käytöstä, joten niille tehtiin korjaukset. Linjassa on samat kemiat käytössä kuin ennenkin, joten uutta koulutusta tai selvitystä ei tarvinnut linjan kemioista tehdä. Tulipalon sattuessa linjalla noudatetaan erikseen annettuja ohjeita.

Samalla linjassa ajettiin tyhjiä levyjä ja laskettiin, kauanko piirilevyllä menee linjan alusta loppuun. Alkuperäiset nopeusparametrit olivat liian nopeita, joten niihin täytyi tehdä muutoksia. Linjan käyttöliittymä näytti, että kuljettimet kuljettaisivat levyä 1,0 m/s, mutta todellisuudessa nopeus oli 1,2 m/s. Koodiin tehtävillä muutoksilla saatiin linja oikeisiin nopeuksiin. Kuvassa 19 on kuva koodista, jota käytettiin kuljettimen nopeuden skaalaamisessa.



KUVA 19. Nopeusohjeen skaalaus

### 3.4 Linjan testaaminen

Hopealinjan kemiallinen testaaminen tapahtuu laboratoriossa tehtävien analyysien avulla. Ennen analyysien aloittamista, on haettava jokaisesta testattavasta moduulista näytteet. Rasvanpoisto moduulista tehdään kolme erilaista analyysiä, joissa mitataan kylvyn kupari-, rikki- ja vetyperoksidipitoisuuksia. Kuparipitoisuus saadaan pipetoimalla 1,0 ml näytettä astiaan, jossa on 50 ml ionivettä. Liukseen lisätään tipoittain 25 % ammoniakkia, kunnes väri muuttuu tummansinisiksi. Lopuksi liukseen lisätään indikaattoria ja titrataan EDTA-liuksella violetiksi. Lopuksi lasketaan aineiden kulutus, minkä jälkeen saadaan, kuinka monta grammaa kuparia on yhdessä litrassa rasvanpoistoa. Kuparia yhdessä litrassa oli vain 3,6 grammaa, joka on huomattavasti alle keskeytysrajan. Rikkihapon testaamiseen käytetään samoja määriä näytettä ja ionivettä, mutta titrataan eri aineella. Rikkihapon testaamiseen liukseen titrataan natriumhydroksidia, kunnes väri muuttuu keltaiseksi. Valmiin laskukaavan avulla saadaan selvitettyä, kuinka paljon kylvyssä on rikkihappoa. Arvoksi saatiin 347,9 grammaa rikkihappoa yhdessä litrassa. Prosessi keskeytetään, jos moduulissa on alle 90g/l. Kylvyn vetoperoksidipitoisuus saadaan ottamalla 1,0 ml näytettä, 100 ml ionivettä ja 5ml 50% rikkihappoa, jotka laitetaan yhteen astiaan. Liukseen lisätään 3 tippaa ferriini-indikaattoria ja titrataan ceriumsulfatilla sinivihreäksi. Väriin vaihdon jälkeen vetoperoksidipitoisuus lasketaan valmiilla laskukaavalla. Arvoksi saatiin 94,3 g/l, mikä on keskeytysrajan paremmalla puolella huomattavasti.

Mikroetsistä tehdään myös kolme analyysiä, jossa mitataan AOC-, kupari- ja rikkihappopitoisuus. AOC-pitoisuus saadaan lisäämällä erlenmeyeriin 2,0 ml näytettä, 100 ml ionivettä, 20 ml EDTA:ta ja 10 ml 10 % kaliumjodia. Liukseen titrataan natriumtiosulfaattia, kunnes väri muuttuu vaalean-

keltaiseksi. Titrausta jatketaan 1 % tärkkelyksellä, kunnes liuos muuttuu värittömäksi. Valmiilla laskukaavalla saatiin AOC-pitoisuus ja arvoksi saatiin 3,2 g/l. Optimi kylvyllä on 3,1 g/l, joten saatu arvo on melkein täydellinen. Kuparipitoisuus saadaan lisäämällä erlenmeyeriin 5,0 ml näytettä, 25 ml puskuriliosta, joka on pH-arvoltaan 9,5 ja 100 ml ionivettä. Liuokseen lisätään indikaattoria ja titrataan EDTA:lla vaaleanvihreäksi ja suoritetaan lasku. Kylvyn kuparipitoisuudeksi saatiin 0,8g/l, mikä on huomattavasti keskeytysrajan alapuolella. Viimeiseksi laskettiin rikkihappopitoisuus, jossa erlenmeyeriin lisättiin 5 ml näytettä, 100 ml ionivettä ja muutama tippa indikaattoria. Liuos titrataan natriumhydroksidilla keltaiseksi, jonka jälkeen saadaan rikkihappopitoisuus mikroetsille laskukaavan avulla. Mikroetsin rikkihappopitoisuudeksi saatiin 1,45%, mikä on keskeytysrajojen puolivälissä.

Hopeakylvyn ja esikaston testaamiseen löytyy omat testit ja laitteet. Hopeakylvyn testaaminen tapahtuu spektrofotometrillä ja AAS:illa ja esikaston testaaminen tapahtuu spektrofotometrillä. Ennen testejä tehtiin standardiliuos, jota käytettiin testeissä mukana. Standardiliuos sisältää 50 ml ionivettä, 1,6 ml 65 % typpihappoa ja 10 ml Sterling Silver Part B -kemialla. Esikastosta analysoitiin kylvyn pH-arvot ja Sterling Silver Part B -kemian osuus kylvystä absorbanssin avulla. Absorbanssin mittaaminen tapahtui spektrofotometrillä, joka ensin nollattiin ionivedellä ja aallonpituudella 340nm. Laitteeseen vaihdetaan kvartsikyvetti, jonka läpi valoa mitataan. Näytteen absorbanssiksi saatiin 0,278 ja standardin absorbanssiksi saatiin 0,530. Laskukaavan avulla saatiin kuinka monta prosenttia esikastosta on Sterling Silver Part B -kemialla, joka oli 10,49 %. Optimi on 10,0 %, joten uusi kylpy on onnistunut hyvin. Kylvyn mitattu pH-arvo oli 6,45. Optimi pH-arvo on 6,3, joten kylpyä ei joutunut laimentamaan. Kuvassa 20 on kuvattuna käytetty spektrofotometri. Harmaan kannen alle sijoitetaan näyte ja kvartsikyvetti, jossa mittaaminen tapahtuu valon avulla.



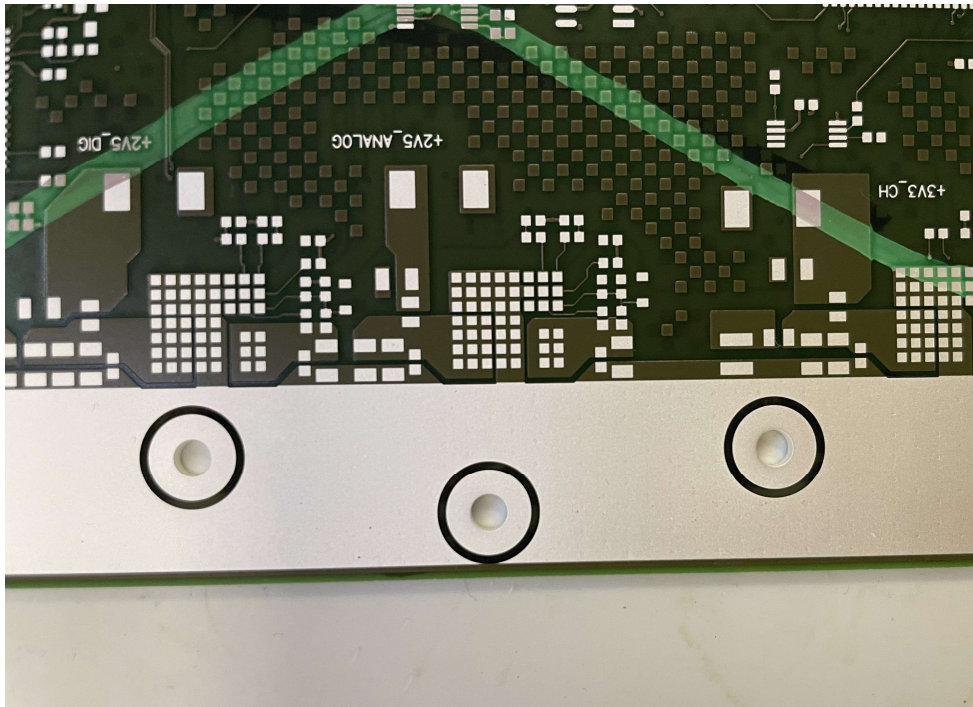
KUVA 20. Spektrofotometri

Hopeakylvystä mitattiin hopeapitoisuus ja Sterling Silver Part B -kemian osuus kylvystä absorbanssin avulla. Absorbanssin mittaaminen tapahtui samalla periaatteella kuin esikastossa. Hopeakylvyn näytteen absorbanssi oli 0,488 ja standardiliuoksen absorbanssi oli 0,530. Laskukaavan avulla saatiin kemian osuudeksi kylvystä 18,42 %, mikä oli vähän alle optimin. Hopeapitoisuuden mittaamiseen tarvitsimme välilaimennuksen näytteestä ja standardista. Välinäytteisiin tuli 100 ml ionivettä ja 10 ml näytettä tai standardiluosta. Mitattavat näytteet merkattiin kirjaimilla A,B ja C. A pullo sisälsi 1,0 ml näytteen välilaimennosta ja ionivettä. B pullo sisälsi 1,0 ml standardin välilaimennosta ja ionivettä. C pullo sisälsi 2,0 ml standardin välilaimennosta. Jokainen näyte asetettiin yksitellen AAS:iin, joka mittasi näytteistä absorbanssin. AAS toimii erillä lailla, kuin spektrofotometri. Testeissä käytetty AAS polttaa asetyleenikaasulla ioniveden pois ja jättää tilalle vain epäorgaaniset aineet, joista tehdään mittausta. A näytteen absorbanssi oli 0,078, B näytteen oli 0,142 ja C näytteen absorbanssi oli 0,217. Yhteensä hopeaa oli kylvyssä 1,17g/l, mikä on lähellä keskeytysrajaa. Hopeapitoisuus laskee, mitä enemmän linjaa ajetaan, joten 1,17 g/l ei ole haitallista. Kuvassa 21 on testeissä käytetty AAS.



KUVA 21. Agilent SpectrAA 50 AAS

Kemiallisten analyysien jälkeen linjan lävitse ajettiin etsaustestilevy, mikä mittasi linjan etsaustehon. Levy on kuparinen pieni levy, joka punnitaan ennen linjan käsittelyä ja käsittelyn jälkeen. Levyn pinnasta tarkastettiin, naarmuttiko kuljettimet, syöttö tai ulostulo pintaa. Puhtaan levyn jälkeen päästiin ajamaan varsinaisia piirilevy testejä. Linjaan asetettiin kaksi kappaletta hylkyyn meneviä piirilevyjä, joita voitiin käyttää testaus tarkoitukseen. Piirilevyihin kasvanut hopea oli puhdasta ja näytti todella tasaiselta, joten seuraavana mitattiin hopean paksuus XRF-mittalaitteella. XRF-mittalaite mittaa hopean paksuuden röntgensäteiden avulla. Piirilevy mitattiin viidestä kohdasta ja hopean keskimääräinen paksuus oli 0,29  $\mu\text{m}$ , mikä on optimien mukainen määrä. Kuvassa 22 on valmistunut piirilevy hopealinjasta.



KUVA 22. Hopeapinnoitettu piirilevy

### 3.5 Tulokset

Valmistuneiden testien jälkeen alkoi työohjeiden laatiminen hopealinjalle, että operaattorit osaisivat ajaa uutta linjaa. Vuoron aikana operaattoreille opetettiin myös linjan käyttö ja vuorovaihdon yhteydessä toisille operaattoreille. Työohjeet myös laitettiin intraan, josta niitä pääsee kertaamaan milloin vain. Työohjeet löytyvät opinnäytetyön liiteosiosta.

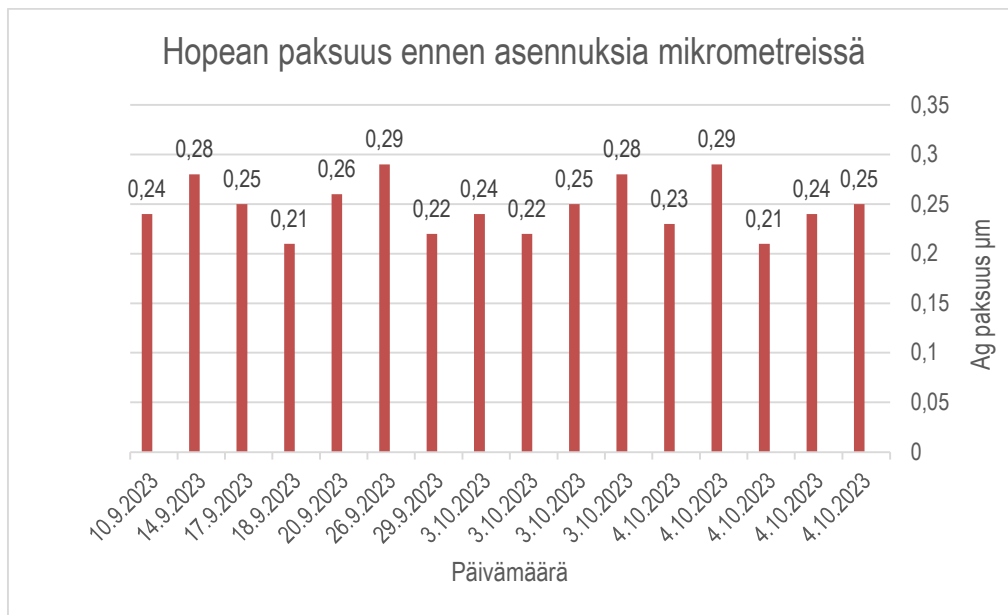
Hopealinjaa pystytään nyt ajamaan automaattitilassa. Linjasto lähtee päälle yhdestä napista ja alkaa tekemään esilämmityksiä. Lämmityksen ollessa päällä, virtanäppäin näytöllä on keltainen ja tausta vilkkuu punaisena. Kun linja on saavuttanut oikeat lämpötilat, muuttuu painikkeen väri vihreäksi ja sitä painamalla linja menee päälle automaattiajoon. Linjasta pystyy myös nyt muuttamaan parametreja, mikä oli ennen mahdotonta. Vikadiagnostiikka on myös paljon helpompaa uusilla komponenteilla, sillä käyttöliittymästä näkee suoraan kaikki viat. Näytölle ilmestyy vikakoodi, joka kertoo, mitä linjassa on vikana ja missä kohtaa linjaa.

Hopealinja on myös valmisteltu hyvin tulevaisuutta varten. Uudessa logiikka ohjaimessa on enemmän muistia, joten kommentoitu versio koodista löytyy aina. Vanhoihin komponentteihin oli myös todella vaikea löytää varaosia, joten uuden linjan korjaaminen käy paljon nopeammin. Myös



Profinet-kenttäväylästandardi on uudempi, joten sitä tullaan tukemaan huomattavasti pidempään kuin vanhaa Profibus-kenttäväylästandardia.

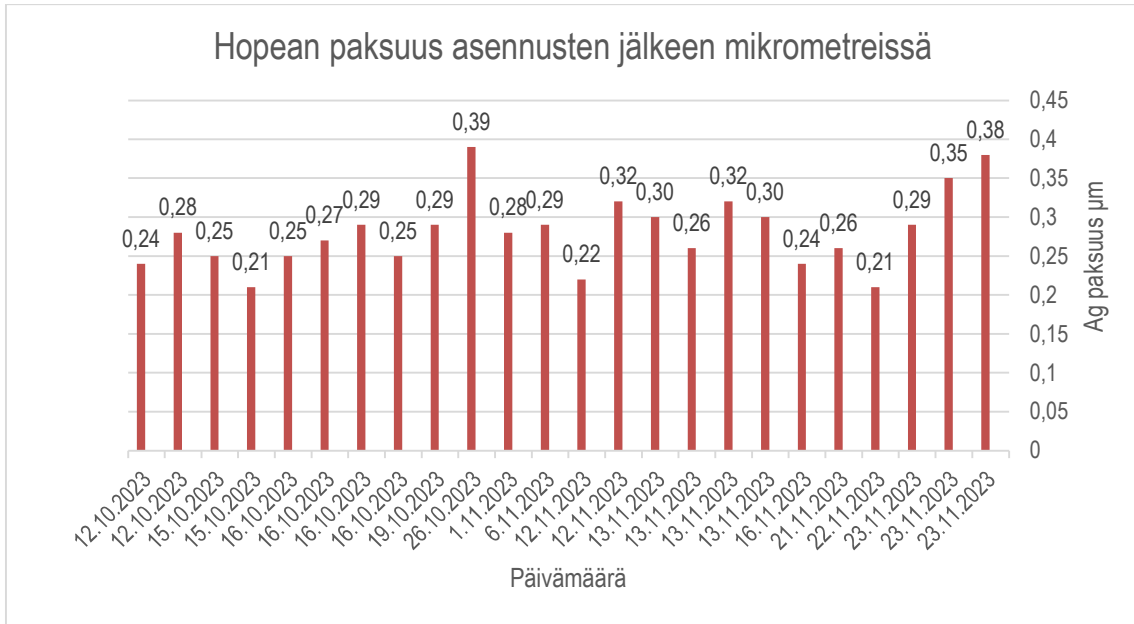
Taulukossa 1 nähdään millaista hopeankasvua piirilevyissä nähtiin ennen komponenttien vaihtoa. Mittaukset on otettu kuukauden ajalta ennen työn aloitusta. Alhaisin hopean määrä piirilevyissä oli 0,21  $\mu\text{m}$  ja suurin määrä oli 0,29  $\mu\text{m}$ . Kaikkien piirilevyjen keskiarvo kuukaudelta oli 0,25  $\mu\text{m}$ .



TAULUKKO 1. Hopean paksuus ennen asennuksia.

Taulukossa 2 nähdään millaista kasvua piirilevyissä on asennusten jälkeen. Toisessa taulukossa näytteiden lukumäärä oli suurempi kuukauden ajalta, sillä asennusten aikana töitä kertyi odottelemaan. Asennusten jälkeinen jakauma ei ole yhtä tasainen, mutta hopeanmäärät pysyivät silti raja-arvojen sisällä. Suurin mitattu paksuus oli 0,39  $\mu\text{m}$  ja pienin mitattu paksuus oli 0,21  $\mu\text{m}$ . Keskiarvo kaikille mitatuille piirilevyille oli 0,28  $\mu\text{m}$ .





TAULUKKO 2. Hopean paksuus asennusten jälkeen.

## 4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli olla mukana immersiohopealinjan logiikan vaihtamisessa ja tehdä linjalle tarvittavan laaja testaus. Aspocompin piirilevytehdas oli minulle entuudestaan tuttu paikka, koska olen siellä jo työskennellyt, mutta loppupinnoitteet olivat aivan uusi asia minulle. Työ vaati todella paljon kemian opiskelua ja kenttävyölienen opettelua. Työtä helpotti se, kun sain työn aiheen, pääsin heti harjoittelemaan työskentelyä linjalla ja myös laboratorioissa. Aikaisemmillä kursseilla koulussa on opiskeltu tuotantolinjojen logiikasta, mikä antoi hyvän perustan työn tekköön. Työssä kuitenkin jouduttiin tutustumaan enemmän logiikkaan, koodiin ja automaatioasennuksiin, mikä ei suoraan viittannut tuotantotekniikan opiskeluun. Opinnäytetyö oli aika teoriapohjainen, mutta sain Aspocompilta todella paljon hyvää materiaalia loppupinnoitteisiin ja itse logiikasta.

Tavoitteena oli saavuttaa linjaan täysi automaattiajo ja saada mahdollisimman optimaalista hopeaa. Työssä olevat tavoitteet saavutettiin, mutta valitettavasti aikataulussa oli vähän ongelmia. Alun perin komponenttien vaihtamiseen ja testaamiseen oli varattu vain kaksi viikkoa, mutta projekti venyi yli kuukauteen. Uudelleen rakennettu logiikkakoodi linjaan tuotti enemmän vaikeuksia, kuin osattiin arvioida. Kaikki anturit ja ohjelmat eivät lähteneet aluksi toimimaan, joten niitä jouduttiin työstämään pidempään.

Tehdyn työn tuloksena oli, että hopealinjaa ei enää tarvitse ajaa manuaalisesti ollenkaan, vaan kaikki pumpit, lämmittimet ja linja lähtevät päälle yhdestä napista. Myös testatuissa piirilevyissä oli optimimäärä hopeaa. Testatut piirilevyt testattiin useasta eri kohdasta, välttyäkseen mittausvirheiltä. Linja lämpenee nyt nopeammin, mikä edistää tuotannon sujuvuutta.

Tätä raporttia voidaan myös hyödyntää muiden tuotantolinjojen uusimisessa. Linjaan tuli laaja raportointi, mistä on helppo seurata, miten asiat linjaan tehtiin ja myös, miten niitä testattiin erilaisten ohjeiden mukaisesti.

## LÄHTEET

1. Weiqiang Wang, Anupam Choubey, Michael Aarian ja Michael Pecht, 2009. Journal of electronic materials Vol 38. Saksa. Springer Science+Business Media.
2. Unites States Environmental Agency. 2001. Alternative Technologies for Surface Finishing
3. Coombs, Clyde F. Jr. 2008. Printed Circuit Handbook. 6. painos. USA: The McGrawHill Companies. Hakupäivä 29.11.2023  
[https://electrovolt.ir/wp-content/uploads/2018/03/Clyde\\_Coombs\\_Printed\\_Circuits\\_Handbook-ElectroVolt.ir\\_.pdf](https://electrovolt.ir/wp-content/uploads/2018/03/Clyde_Coombs_Printed_Circuits_Handbook-ElectroVolt.ir_.pdf)
4. Atotech. 2008. PWB surface finishes for advanced assembly & packaging technologies.
5. MinutePROFINET 2021. Fieldbus vs 4-20mA: Their Main Differences Explained. Hakupäivä 13.2.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=dm9EZjkt6Z4&t=6s>
6. Pazke, Robert 1998. Computer Standards & Interfaces, Fieldbus basics. Saksa.
7. Aircada. Fundamentalf of PLC Network Topology. 2022. Hakupäivä 1.12.2023.  
<https://aircada.com/plc-network-topology-guide/>
8. Innovative Automation. What is PLC programming and automation. Hakupäivä 8.12.2023.  
<https://www.innovativeautomation.com/plc-programming-automation/>
9. Advanced Micro Controls Inc. What is a PLC? Hakupäivä 8.12.2023.  
<https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-plc/>
10. Cloudfare. What is the OSI Model? Hakupäivä: 8.12.2023.  
<https://www.cloudflare.com/learning/ddos/glossary/open-systems-interconnection-model-osi/>
11. Nagarajan, Shanith Babu. Foundation fieldbus, Communication Models. Hakupäivä:

- 10.12.2023. <https://shanithbabu.tripod.com/fieldbus/fieldbus1.htm>
12. Engineer's Toolbox. What is PROFIBUS and how does it work? Hakupäivä 8.12.2023. <https://toolbox.igus.com/motion-plastics-blog/what-is-profibus-and-how-does-it-work>
13. Profibus. Hakupäivä 8.12.2023. <https://www.profibus.com/>
14. Thomas, Peter 2014. Profinet applying the ethernet standard to industrial automation. Hakupäivä 8.12.2023. <https://www.slideshare.net/ProfibusUK/profinet-applying-the-ethernet-standard-to-industrial-automation-peter-thomas>
15. Russell, Roberta S. - Taylor III, Bernard W. 2011. Operations Management. 7th edition. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
16. Väisänen, Jouni 2013. Quality Knowhow Karjalainen, Viiden ässän kehitystyökalu. Hakupäivä 13.11.2023. <https://qkk.fi/5s/>

## LIITTEET

Liite 1. Työohjeet