



Yonatan Tesfome Berakhi

# Syövytyspenkin ohjauksen päivitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

14.4.2025

# Tiivistelmä

Tekijä:	Yonatan Tesfome Berakhi
Otsikko:	Syövytyspenkin ohjauksen päivitys
Sivumäärä:	26 sivua
Aika:	14.4.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Tuomas Leppänen Kunnossapidon insinööri Sampo Toura

---

Tämä opinnäytetyö on tehty Okmetic Oy:n kunnossapidon osastolle päivitysprojektina. Työkohteeksi on valikoitu käytössä oleva emäs-syövytyspenkki, joka on palvellut yrityksen tarpeita 20-vuotta, ja on edelleen tuotantokyyinen. Laitteen ohjausjärjestelmä on kuitenkin tullut elinkaarensa loppuun, mikä näkyy varaosien saatavuushaasteiden ja vähäisen laitetuen muodossa. Näistä syistä oli ajankohtaista päivittää vanha Siemens S5 -logiikka uuden sukupolven Siemens S7 1500 -sarjan edustajaan.

Opinnäytetyö käsittelee tämän prosessilaitteen ohjausjärjestelmän päivitystä. Työssä kuvataan projektin eteneminen suunnitteluvaiheesta uuden järjestelmän kokoonpanoon ja käyttöönoton valmisteluun asti. Työssä esitellään komponenttien valintaperusteet sekä järjestelmään tehdyt fyysiset muutokset. Ohjausjärjestelmän arkkitehtuurin ja ohjelmoinnin periaatteet kuvataan tarkemmin omissa luvuissaan. Lopuksi käydään lyhyesti läpi testaus- ja simulointimenetelmät, joita hyödynnettiin järjestelmän toimivuuden varmistamiseksi.

Avainsanat: Ohjelmoitavat logiikat, Siemens S7, automaatio, ohjelmointi

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Yonatan Tesfome Berakhi  
Title: Modernizing the control System of a Wet Etching Tool  
Number of Pages: 26 pages  
Date: 14 April 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Automation Technology  
Supervisors: Senior Lecturer Tuomas Leppänen  
Maintenance Engineer, Sampo Toura

---

This thesis was commissioned by Okmetic Oy's maintenance department as a modernization project of a production tool. The tool in question is a wet etching bench, which has been in the company's use for more than 20 years. The tool is still capable of efficient production, however the control system behind the bench has come to the end of its life cycle. This has been made clear with increasing scarcity for spare parts and loss of technical knowledge. These factors have made the need to modernize the system from the old Simatic S5 to a new S7 1500-series PLC noticeably clear.

This thesis will cover the process of modernizing this production tool's control system. The various stages of the modernization process will be introduced, starting with the scoping phase, building the new system, and planning the commissioning of the built system. The selection criteria for the chosen components will be presented, alongside other physical changes made to the system. The control system's architecture and programming principles will be introduced in detail in their own sections. Followed by a brief description of the testing and simulation methods, employed during the final stage of verifying the system's functionality.

Keywords: PLC, Siemens S7, automation, programming

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Laitteen päivitys eli modernisaatio	2
3	Työkohteen esittely	5
4	Projektin valmistelu	8
4.1	Tavoitteiden määrittely	9
4.2	Järjestelmän rakentaminen	12
4.2.1	PLC-mitoitus	12
4.2.2	IO-moduulien mitoitus	14
4.2.3	PSU eli virtalähteen mitoitus	16
5	PLC-ohjelmointi TiaPortaalilla	18
5.1	Ohjelmiston rajapinnat	19
5.2	Logiikan ohjelmointi	21
5.3	Ohjelmoinnin opit	22
6	Simulointi ja käyttöönotto	24
6.1	Simuloitu PLC	24
6.2	Käyttöönottoon valmistautuminen	24
7	Yhteenveto	25
	Lähteet	2

## Lyhenteet ja käsitteet

- AI: *Analog Input* on skaalautuva tai muuttuvan tilan kuvaava viesti, joka välitetään PLC:lle seuraavissa muodoissa 0–20 mA / 4–20 mA tai 0–10 V / 0–5 V.
- AO: *Analog Output* on PLC:ltä lähtevä skaalautuva ohjauskäsky. Viesti voidaan välittää virta- tai jänniteviestillä, samoilla alueilla kuten analogi inputissa.
- DI: *Digital Input* on PLC:lle tuleva binäärinen tilatieto, kutsutaan usein tuloksi.
- DI-Vesi: *Deionized water* eli deionisoitu vesi on käsitelty vesi, josta on poistettu ionit.
- DO: *Digital Output* on PLC:ltä lähtevä binäärinen ohjausviesti, kutsutaan usein lähdeksi.
- HMI: *Human-Machine Interface* on käyttöliittymä, jonka avulla käyttäjä voi ohjata ja valvoa automaatiojärjestelmää. Esimerkiksi kosketusnäyttö, jonka kautta voidaan tarkastella prosessia, syöttää arvoja ja käsitellä hälytyksiä.
- PLC: *Programmable Logic Controller* on teollisuuden ympäristöön soveltuva ohjelmoitava tietokone, jolla voidaan vastaanottaa tilatietoja inputteina ja ohjata toimilaitteiden toimintoja outputteina.
- PSU: *Power Supply Unit* on yleisnimike teholähteelle, joka on laitteen käyttövirtaa syöttävä komponentti.

RTD: *Resistance Thermometer* ovat anturityyppeä, joiden resistiivisyys vaihtelee lämpötilan mukaan, esim. PT100. Termillä voi viitata myös toimilaitteisiin, jotka pystyvät käsittelemään tällaisen anturitiedon

## 1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty Okmetic Oy:n kunnossapidon osastolle tuotantolaitteen päivitysprojektina. Työn tavoitteena on päivittää tuotantolaitteen ohjausjärjestelmä Siemens S5:stä S7 1500 -sarjan logiikkaan. Okmetic Oy on suomalainen, maailmanlaajuisesti toimiva puolijohdeteollisuuden erikoispiikiekkojen valmistaja. Yritys perustettiin vuonna 1985 ja sen pääkonttori sekä tuotantolaitos sijaitsevat Vantaalla. Okmetic on yksi maailman johtavista piikiekkojen toimittajista MEMS- ja anturisovelluksiin sekä teho- ja RF-sovelluksiin, joita käytetään laajasti elektroniikassa, autoteollisuudessa, teollisuusratkaisuissa ja terveysteknologiassa.

Okmetic:n tuotteet valmistetaan mittatilaustyönä asiakkaan tarpeiden mukaan. Valmistuksessa hyödynnetään sekä CZ- että EPI-tekniikoita ja yritys on tunnettu teknologisesta osaamisestaan, joustavuudestaan ja korkealaatuisista ratkaisuistaan. Erityisesti korkean suorituskyvyn sovelluksissa tarvittavat piikiekot, kuten SOI-kiekot (Silicon on Insulator), ovat osa yrityksen erikoisosaamista. [1; 2.]

Työssä perehdytään automaatiojärjestelmän modernisointiin kokonaisvaltaisesti. Aion tuoda esiin keskeiset haasteet ja ratkaisut, jotka liittyvät vanhan järjestelmän korvaamiseen uudella automaatoratkaisulla. Teollisuuden ohjausjärjestelmät kehittyvät jatkuvasti, ja vanhojen järjestelmien modernisointi on tärkeä osa tuotantolaitosten toimintavarmuuden ja tehokkuuden ylläpitoa. Monissa tuotantoympäristöissä on edelleen käytössä vanhoja logiikkasarjoja, kuten Siemensin Simatic S5, joiden tuki ja varaosien saatavuus ovat päättyneet. Tästä syystä järjestelmän päivittäminen uudempaan ja tuettuun ratkaisuun, kuten S7-1500-sarjaan, on sekä teknisesti että taloudellisesti perusteltua. [3; 4]

Opinnäytetyö tulee sisältämään automaatioprojekteille yleisiä työvaiheita, kuten suunnittelua, komponenttien mitoitusta, ohjelmointia ja käyttöönottestausta. Ohjauksen päivityksen lisäksi korvataan vanha käyttöliittymä uudella kosketusnäyttöpohjaisella HMI:llä, joka korvaa lukuisat vanhat painikkeet ja avainkytkimet, parantaen laitteen käytettävyyttä ja huollettavuutta. Työn aikana tehdyt muutokset dokumentoidaan päivittämällä mm. sähkökuvia, luomalla uusia ohjeita koneenkäyttäjille ja arkistoimalla projektin aikana luotu tukimateriaalia.

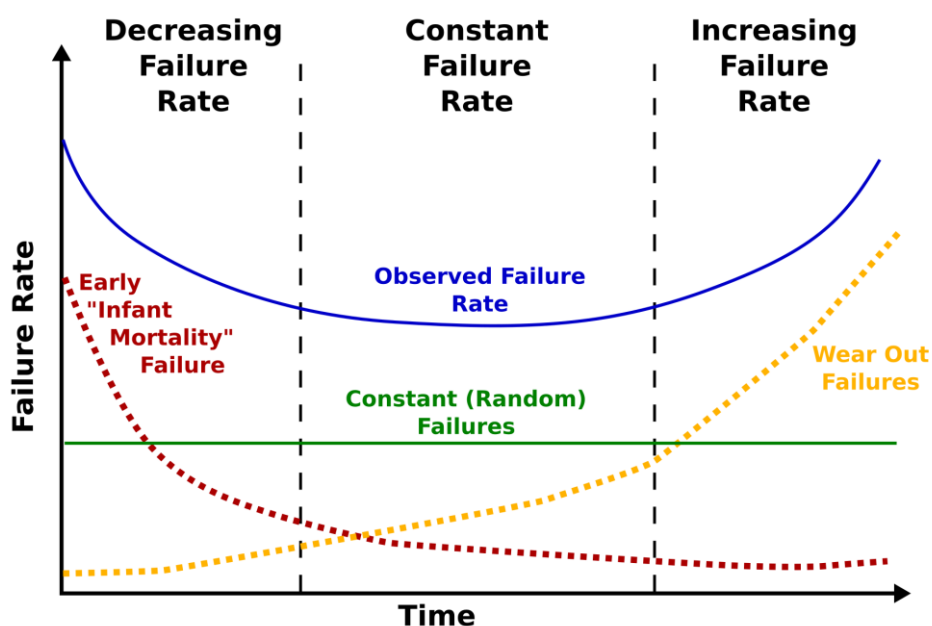
Opinnäytetyössä on hyödynnetty Open AI:n ChatGPT tekoälyä muotoilemaan ja parantamaan kirjoittajan omaa tekstiä. Opinnäytetyön kirjoittajana otan vastuun työn sisällöstä ja sen muotoilusta.

## **2 Laitteen päivitys eli modernisaatio**

Modernisaatiolla tarkoitetaan usein käyttöikänsä loppuun tulleen tuotantolaitteen tai linjaston päivitystä, jotta se pystyy tuottavasti vastaamaan yrityksen muuttuvia tarpeita. Päivittämällä koneiston rakenteet, ohjaukset tai lisäämällä toimintoja, voimme pidentää vanhentuneen koneiston käyttöikää ja näin tuottavuutta. Modernisaatiolla voidaan myös viitata laitekannan tai koneen korvaamista uudella. [5.]

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan työkohdetta, joka tarvitsee ennaltaehkäisevää parannustyötä, jolla voidaan ylläpitää laitteen käytettävyyttä. Ideaalinen kohde tällaiselle parantavalle työlle on vanhentunut, mutta silti tuottava koneisto, jonka tuotantokykyä halutaan tehostaa ja käyttöikää pidentää. Usein päivitysten kohteeksi soveltuvat sellaiset ikääntyneet koneet, jotka mahdollistavat tuotantomenetelmiä tai tuotteiden valmistusta, joihin ei kyetä uusilla vastaavilla laitteilla. Syynä voi olla myös uuden laitteen korkea hankintakustannus ja sen tuoma epävarmuus sijoituksen kannattavuudesta. Usein kohdennettu päivitys on kustannustehokkaampi ja nopeammin toteutettavissa kuin kokonaan uuden koneisto hankinta ja käyttöönotto.

Yhteisenä tavoitteena kaikilla päivitysprojekteilla on ylläpitää kohteen ydintointia, joka tekee laitteesta ainutlaatuisen, ja toissijaisena tavoitteena on tehostaa tämän tuotantokykyä. Päivityksellä voimme myös korjata rakenteellisia käytön ja ajan tuomia vaurioita. Näillä mekaanisilla muutoksilla halutaan ehkäistä ikääntyneiden laitteiden yleisiä ongelmia, kuten varaosien saataavuushaasteet, tekniikan vanheneminen tai jatkuvan huoltotarpeen aiheuttama alhainen laitekäytettävyys. Seuraavassa kuvassa (kuva 1) on esitetty laitevikojen esiintymisen tiheys ajan myötä. Tarkastelemalla tätä mallia voimme ymmärtää syyt lisääntyville laiterikoille ja tehdä päätöksen laitteen päivityksestä ennakoivasti. Päivityksen tai uuden korvaavan koneen hankinta on usein ajankohtaista, kun näiden huoltojen aiheuttamat alasajot ja kustannukset nousevat käytettävyyttä korkeammaksi.

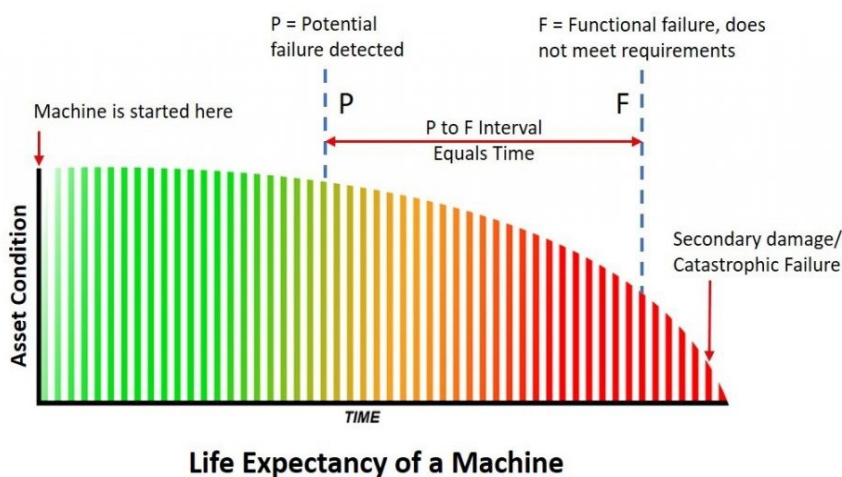


Kuva 1: ”Bathtub curve”. Laitteen elinkaaren aikana vikaantumiskäyrä noudattaa usein ns. kylpyammekäyrää, jossa alkuvaiheen korkea vikatiheys laskee tasaiselle tasolle ja nousee jälleen kulumisen myötä. [6; 7.]

## Laitteen elinkaaren teoria

Kaikilla laitteilla ja koneilla on elinkaari, joka kuvaa miten laitteen käytettävyyks tulee muuttumaan ajan ja laitteen käytön myötä. Kokemus sanoo myös, että kaikki koneet ja laitteet vaativat huoltoa tai osien vaihtoa käytön aiheuttaman kulumisen tai vaurion vuoksi. Näin ollen voimme ennustaa laitteen käyttöön-otosta alkaen jonkinlaisen oletetun huoltotarpeen ja odotetun käytettävyyssas-teen, joka tulee muuttumaan ajan myötä huonommaksi. Tämä muutos on esi-tetty kuvassa 2, joka ilmaisee yksittäisen osan tai laitteen kunnan muutoksen ajan myötä. Kuvassa on esitetty piste P, jossa alkaa ilmetä havaittavia puut-teita, sekä piste F, jolloin kone tai komponentti ei ole enää toimintakykyinen. Nämä pisteet kuvaavat, miten rasituksen kulminoituva vaikutus heikentää laitteen tai sen osien toimintakykyä.

Päivitetävän kohteen ohjausjärjestelmässä on nimenomaan huomattu näitä vikaantumisen merkkejä sekä tiedostettu varaosien saatavuus haasteet että teknisen osaamisen puute, ja tehty tämän tiedon pohjalta päätös päivittää laitteen ohjausta.



Kuva 2: Koneen tai yksittäisen osan käytettävyyden kuvaaja, joka esittää kunnan heikentyvän lineaarisesti koneen iän ja käytön mukaan. Tavoitteena ennakoivalla kunnossapidolla on vaihtaa näitä kuluvia osia, kun huomataan pisteen P:n esittämiä rikkoutumisen merkkejä. [8.]

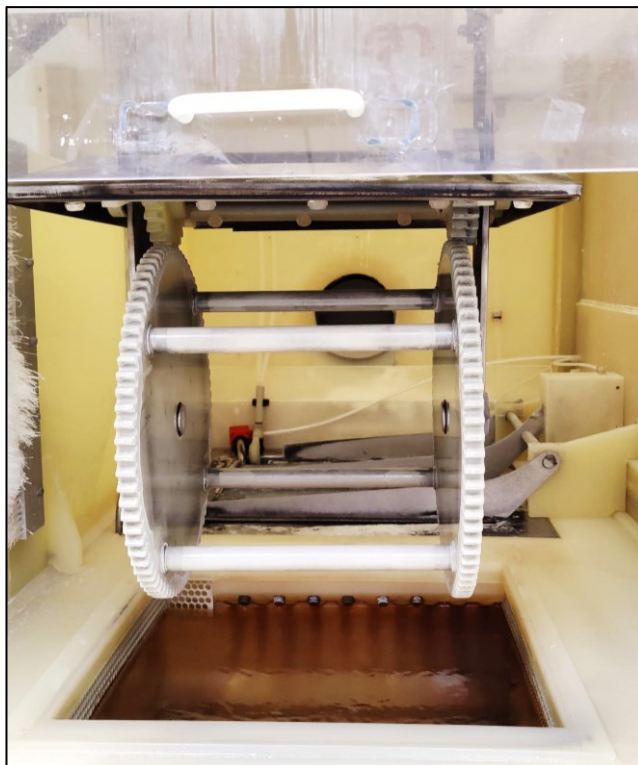
### 3 Työkohteen esittely

Esittelen tässä osiossa päivitettävän kohteen ja sen prosessiajoa eli laitteen automaattisen toiminnan. Päivitettävä kohde sijaitsee yrityksen syövytysosastolla. Tämän prosessivaiheen tavoitteena on poistaa kiekkojen pinnoilta epäpuhtauksia tai edellisten prosessien kerrostumia syövyttämällä.

Tähän soveltuvia laitteita kutsutaan syövytyspenkeiksi, joita erotellaan sen mukaan, käyttävätkö koneet emästä tai happoja syövytykseen. Laitteet koostuvat karkeasti syövytysaltaasta, sammutusaltaista ja jonkinlaisesta kiekon siirtäjästä. Näitä edellä mainittuja ominaisuuksia voi olla useampia yhden koneen sisällä.

Päivitettävä syövytyspenkki käyttää emästä syövytykseen ja on toiminnaltaan hyvinkin yksikertainen, mikä tulee ilmi prosessiajon kuvaavassa osuudessa. Laitteen mekaaniset osat ja prosessinsäätökomponentit ovat vieläkin hyvässä kunnossa, ja ainoastaan ohjausjärjestelmä kaipaa päivitystä.

Seuraavassa kuvassa nähdään päivitettävän koneen kokoonpano. Kuva 2 on otettu laitteen sisätilasta, latausluukun kautta. Kuvan etualalla oleva avoin huuhteluallas on penkin sammutusallas, jota kutsutaan **QDR**:ksi. Tämä lyhenne tulee altaan toiminnoista *Quick Dump and Rinse*. Kiekot huuhdellaan tässä altaassa syövyksen jälkeen, ja nimensä mukaisesti tämä toiminta tehdään hyvinkin nopeasti, jotta kiekkojen pinnalle ei jää syövyttävää emäsluuosta.



Kuva 3: Syövytyspenkin altaat ja kiekkojen siirtäjä etuluukusta katsottuna.

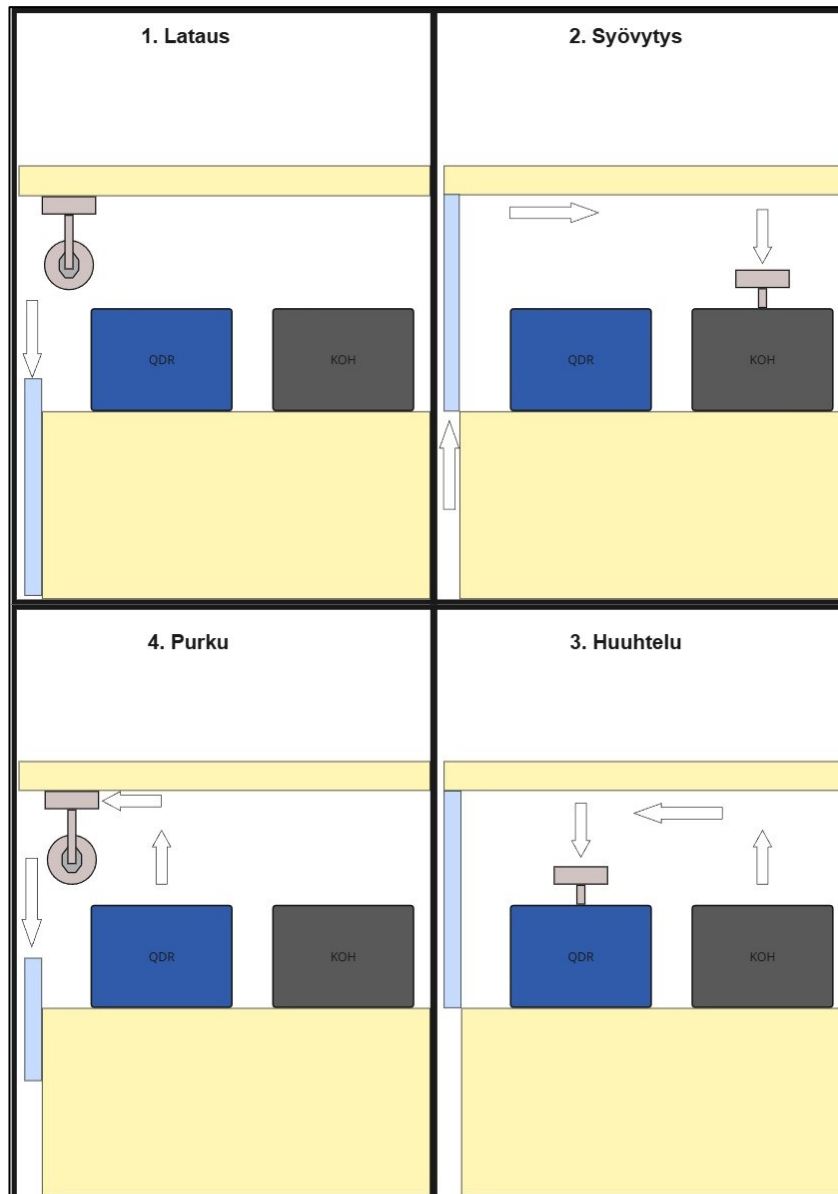
Kiekkojen siirtäjä, eli niin sanottu **Handler**, on 2-akselinen robotti. Sen tehtävänä on siirtää kiekkoerät prosessialtaisiin ja tuoda käsitellyt kiekot purku-asentoon. Kuvassa näkyy handleriin kiinnitetty muovinen kehikko, jonka sivussa olevat rattaat mahdollistavat kehikon pyöritystä syövytyksen aikana. Tämä pyöritys takaa tasaista syövytystä ja huuhtelua.

Taaempana kuvassa näkyvä kannellinen allas on laitteen syövytysallas. Sitä kutsutaan **KOH**-altaaksi johtuen siinä käytettyssä kemikaalissa kalsiumhydroksidista. KOH on hyvin voimakas ja syövyttävä emäs, joka sekoitettuna DI-veden kanssa toimii tämän prosessin syövytysliuksena.

Esittelen seuraavassa osiossa laitteen automaattisen prosessiajon työvaiheet, jotka olen jakanut karkeasti neljään osaan. Näiden työvaiheiden suorittaminen edellyttää, ettei koneessa ole vakavia virhetiloja aktiivisena ja että prosessin aloittamisen ehdot täyttyvät. Prosessiajon aloittaminen on hyvin manuaalinen ja vaatii korkean laitetuntemuksen koneenkäyttäjältä. Päivityksen myötä halutaan yksinkertaistaa tätä osuutta ja helpottaa prosessiajon

seurantaa. Seuraavassa kuvassa (kuva 4) on luomani piirros prosessiajon toimintamallista.

Kuvan ensimmäinen vaihe on uuden erän lataus, jossa etuluukku avataan ja operaattori asettaa kiekot kehikkoon, jonka jälkeen operaattori käynnistää prosessin antamalla koneelle käyntiluvan. Saatuaan luvan sulkeutuu etuluukku ja kuljettaja siirtää kehikon KOH-altaaseen, jossa syövytys alkaa ja kestää reseptissä asetetun ajan verran. Syövytyksen jälkeen kuljettaja hakeutuu QDR-altaaseen, jossa aiemmin mainittu QDR-toiminto suoritetaan reseptin määräämien toistojen verran. Viimeinen prosessivaihe on erän purku, jonka aloitusta ohjataan operaattorin käskyllä. Kone odottaa purkulupaa aloittaakseen kehikon noston purkuasentoon ja etuluukun avaamista



Kuva 4: Koneen sivusta katsottu piirros, jossa esitellään koneen työvaiheet. Työvaiheet etenevät numerojärjestyksessä, ja kestävät prosessin reseptin määräämän ajan.

## 4 Projektin valmistelu

Projekti alkoi perehtymällä työkohteeseen ja kaikkeen saatavilla olevaan taustamateriaaliin. Kone rakennettiin vuonna 1996, joten kaikki materiaalit

löytyivät arkistoista manuaaleina tai tulostettuina piirroksina. Materiaalinke-ruun jälkeen alkoi varsinainen valmistelutyö.

Seuraavaksi oli tutustuttava itse laitteeseen ja sen toimintaan. Kävin kohteen luona, ja otin tallenteen vanhasta S5 -ohjelmasta. Tästä alkoi perehtyminen laitteen ohjausohjelmaan. Vanha ohjelma oli kirjoitettu saksaksi, joten sen tulkitseminen ja sisäistäminen vaati aikansa. Kyseinen ohjelma oli myös hyvin heikosti kommentoitu ja muuttajat olivat nimeämättä.

Näistä haasteista huolimatta aloin sisäistämään ,miten laitteen ohjauksen kuuluisi toimia. Tässä vaiheessa projektia oli vielä päättämättä, tehdäänkö työssä ohjelmistokäännös S5:stä S7:ään vai tehdäänkö kokonaan uusi ohjelma. Ratkaiseva tekijä tähän kysymykseen oli lämmönohjauksen PID-moduulin suojattu koodiosuus. Lukittua osuutta ohjelmasta ei voitu kääntää, ja sen ollessa lukittu emme myöskään päässeet tutkimaan sen toimintamallia. Totesimme parhaaksi luoda kokonaan uusi ohjelma TiaPortalin ympäristössä, sen sijaan että yrittäisimme sovittaa käännöstä ja oman käden tuotosta. [9.]

#### 4.1 Tavoitteiden määrittely

Seuraavaksi oli ajankohtaista määrittellä, mitä uudelta järjestelmältä vaaditaan. Ennen projektikohtaisten tavoitteiden määrittelyä on hyvä mainita toimintaa ohjaavia arvoja kaikille kunnossapidon ja parantavan työn projekteille. Nämä ovat koneen ydintoiminnan säilyttäminen, työn suoritus aikataulussa ja muutoksien dokumentaatio.

Ensimmäinen ja tärkein kriteeri tekemiselle on ylläpitää koneen ydintoiminnot ennallaan. Näiden määrittelemiseksi loin toiminnankuvaus-asiakirjan, johon kirjattiin laitteen sen aikaiset toiminnot, ohjaustilat, hälytykset ja automaattiajon edellytykset. Aikataulussa pysyminen vaatii huolella tehtyä suoritusta, jossa on ennakoitu mahdollisia kompastuskiviä ja luotu tarvittavia testejä varmistamaan uuden ratkaisun toimivuutta. Luomalla toiminnankuvaus-asiakirja

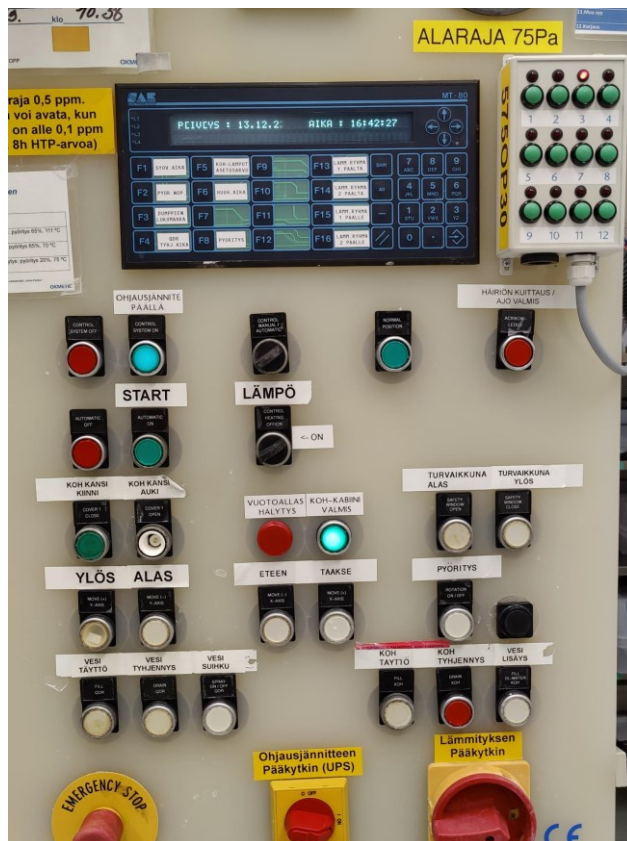
voidaan jäljitellä ja varmistua, että kaikki halutut toiminnot on testattu ja vastaavat koneen aiempaa suorituskykyä. Samalla asiakirjalla voidaan dokumentoida tehtyjä muutoksia ja käyttää sitä pohjana koulutus materiaalin luomiselle.

Päivitysprojektilla on omat spesifiset tavoitteet, jotka ovat listattu taulukossa 1, ja ne tulevat tuotannolta. Heidän toiveensa ja ehdotuksensa on listattu taulukkoon ja ratkaisut toteutettu päivityksen myötä. Päivityksen jälkeenkin voidaan lisätä uusia toimintoja tai muokata vanhoja, koska työtä ohjaava periaate on ollut luoda joustava ja muokattavissa oleva ohjelma. Projektin aikana kertyy myös osaamista ja laitetuntemusta tehdä näitä muokkauksia.

Taulukko 1: Päivitysprojektin ehdotuslista ohjauksen parannuksille.

<b>Parannusehdotus</b>	<b>Ehdotuksen selite</b>	<b>Ehdotuksen ratkaisu</b>
Painikkeiden poisto	Tavoitteena on keskittää koneen ohjaus HMI:lle	Painikkeiden toiminnot siirtyvät HMI:lle
Koneen vanhan käyttöliittymän poisto	Vanhan käyttöliittymän toiminnot HMI:lle	Toiminnot siirretään ja vanha käyttöliittymä poistetaan
Lämmitysvastuksien käymisenesto	Huomattu vastuksien voivan jäädä päälle altaan tyhjennyksen jälkeen.	Lisätään ohjelmallinen hälytys ja sähköinen lukitus
Prosessiseuranta logit	Laadunseurantaa varten halutaan prosessiseuranta logia	Luodaan tarvittavat logit koneen prosessiajon sekä vikatilojen seuranta varten

Koneen käyttäjälle isoin muutos tulee olemaan uuden käyttöliittymän käyttöönotto. Laitteen nykyistä digitaalista näyttöä ja lukuisia painikkeita korvataan Siemens Comfort -sarjan kosketusnäytöllä. Laitteen vanha käyttöliittymä ja painikkeet näkyvät kuvassa 5, ja niistä suurin osa tullaan poistamaan. Uuden näytön graafinen esitysmuoto ja toimintojen navigointi on pyritty pitämään yhtenäisenä muiden tuotantolaitteiden kanssa. Tämän pitäisi edesauttaa operaattoreiden uudelleen koulutusta.



Kuva 5: Koneen poistuvat painikkeet ja digitaalinen näyttö.

## 4.2 Järjestelmän rakentaminen

Uuden järjestelmän mitoittamiseen on käytetty ohjenuorana poistuvaa logiikka sekä sen mukana poistuvia moduuleja. Toki on muistettava poistuvien painikkeiden vaikutus, koska niiden poistaminen tulee vähentämään digitaalisten tulojen ja lähtöjen määrä merkittävästi. Selvittääkseni tätä tarvetta loin IO-luettelon, johon kirjasin järjestelmän sen aikaiset tulot ja lähdöt sekä niiden selitteet. Tämän pohjalta pystyin arvioimaan montako DI/DO- tai AI/AO-moduuleita tarvitaan.

### 4.2.1 PLC-mitoitus

Siemens S7 1500-sarjan logiikat soveltuvat todella hyvin keskisuurin ja monimutkaisiin projekteihin. Tähän päivitykseen valittu S7 1515–2 PN logiikka, joka näkyy kuvassa 6, on hieman ylimitoitettu järjestelmän tarpeisiin nähden.

Kaluston hankinta tehtiin koronapandemian loppupuoliskolla, jolloin osien saatavuushaasteet pakottivat ottamaan parhaiten sopivan ja saatavilla olevan vaihtoehdon.



Kuva 6: Siemensin S7 1515–2 PN PLC  
Tuotenumero: 6ES7515-2AN03-0AB0. [10.]

Logiikan mitoituksessa on huomioitava uuden järjestelmän koko, monimutkaisuus ja mahdollisten turvatoimintojen tarve. Siemens 1500 -sarjan logiikkojen suorituskyky ilmoitetaan kahdella viimeisellä numerolla ja lisäkirjaimilla. Logiikan mitoituksessa paras työväline on laitevalmistajan sivustoista löytyvät datalehdet sekä laitemanuaalit. Niistä löytyvät olennaiset tiedot, kuten pääohjelman syklinopeus( $\mu$ s), eli kuinka nopeasti logiikka pystyy ajamaan ohjelmansa alusta loppuun, ja minkä suuruisen ohjelma voidaan ohjelmoida tai kuinka monta moduulia kyseiseen logiikkaan voidaan kytkeä.

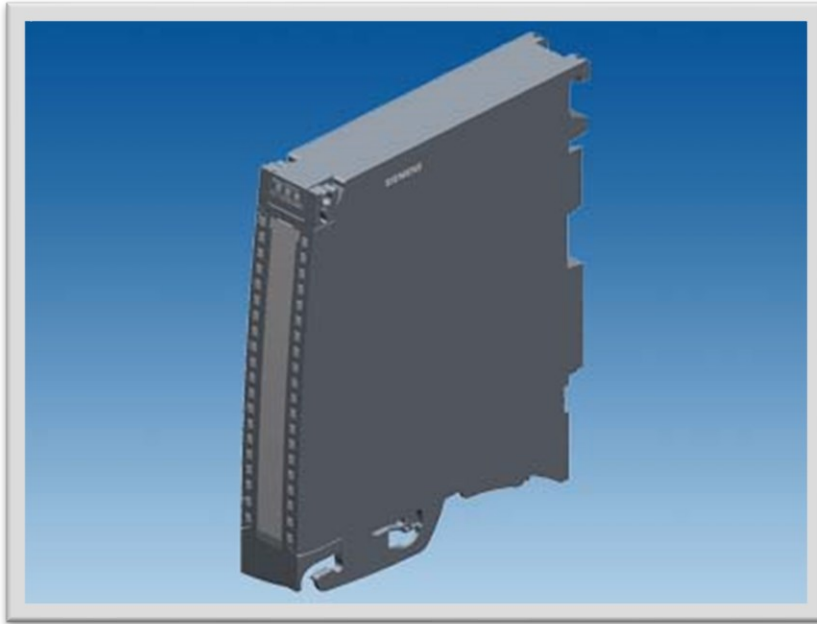
#### 4.2.2 IO-moduulien mitoitus

Kenttälaitteiden IO-moduulit mitoitettiin vanhasta järjestelmästä otetun IO-luettelon mukaan. Tilan säästämiseksi valikoitiin 16 tuloa ja 16 lähtöä omaava DI/DQ-kortti, joka näkyy kuvassa 7. Näitä tilan säästäviä kortteja hankittiin 4 kappaletta, mikä jättää yhden kortin verran laajennustilaa. Kaikkien korttien mitoituksessa on lisätty laajennusta mahdollistava puskuri, jotta voidaan kytkeä tulevaisuudessa lisää toimilaitteita hankkimatta uusia IO-moduuleita.



Kuva 7: PLC:n valittu 16 tulon ja lähdön omaava kortti. Tuoenumero: 6ES7523-1BL00-0AA0.[11.]

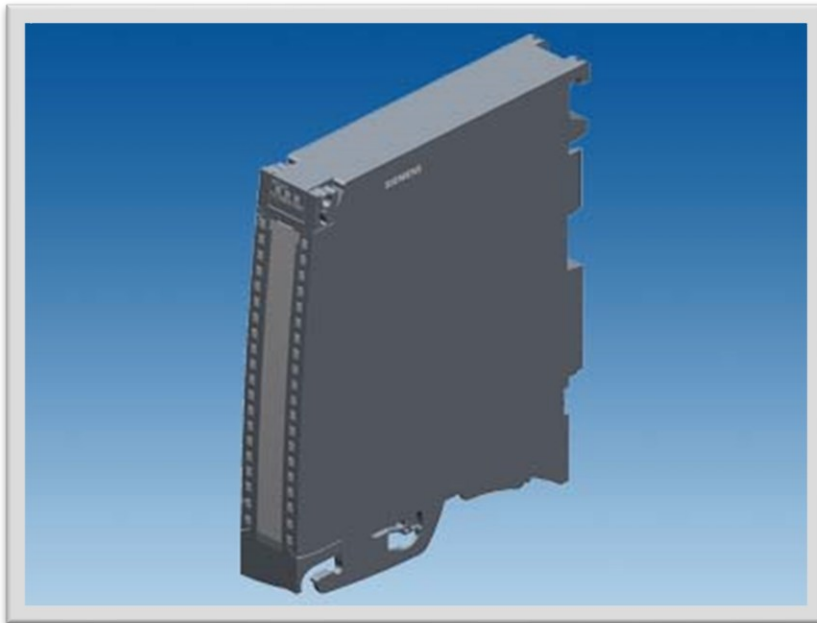
Digitaalisten korttien lisäksi oli tarvetta yhdelle analogiselle tulo- ja lähtökortille. AI-korttiin tulisi kytkeä altaan lämpötilaa mittaava PT -100 anturi, joten kortin on kyettävä lukemaan resistiivisyyden muutosta. Siemensin tuotevalikoimasta on etsittävä RTD-tunnuksella varustettu AI-kortti, jota konfiguroidaan RTD-mittaukselle. Alla olevassa kuvassa (kuva 8) on esitetty järjestelmän tarpeeseen sopiva analoginen tulokortti. Korttiin voidaan kytkeä yhteensä neljä tuloa, mikä jättää mainiosti tilaa tuleville laajennuksille.



Kuva 8: AI 4x U/I/RTD/TC ST, analoginen tulokortti.

Tuotenumero: 6ES7531-7QD00-0AB0. [12.]

Järjestelmän tarvitseman analogisen lähdön oli tuettava virtaviestiä, mihin melkein kaikki Siemensin AQ-sarjan kortit kykenevät. Analogisten korttien manuaaleihin on kuitenkin aina hyvä perehtyä, koska niissä ilmoitetaan hyvin yksityiskohtaisesti, soveltuvatko ne haluttuun käyttökohteeseen ja miten niitä konfiguroidaan ohjelmallisesti. Seuraavassa kuvassa (kuva 9) on valittu analoginen lähtökortti. Siinäkin on riittävästi tilaa tuleville laajennuksille ja se tukee jännite- että virtaviestien lähetystä.



Kuva 9: AQ 4xU/I HF, analoginen lähtökortti.

Tuotenumero: 6ES7532-5ND00-0AB0. [13.]

#### 4.2.3 PSU eli virtalähteen mitoitus

Käyn tässä osiossa läpi, miten projektin tarpeisiin mitoitettiin sopiva virtalähde ja mistä tämän tiedon voi selvittää. Tähän alkuun on hyvä mainita, ettei ole pakko käyttää Siemensin virtalähdettä, mikä tahansa oikein mitoitettu virtalähde kelpaa mainiosti.

Virtalähde on järjestelmän sydän. Jos sen alimitoitaa, koko järjestelmä voi kaatua normaalissakin rasituksessa. Sen tehtävänä on antaa järjestelmän tarvitsema teho sille sopivalla jännitteellä suodattaen verkkovirran pieniä häiriöitä. Moitteettoman toiminnan varmistamiseksi on erityisen tärkeitä selvittää ennakkoon järjestelmän tehon (Watt) tarve.

Moduulien ja PLC:n tehotarve voidaan selvittää datalehdessä *technical specifications* -osion alta. Usein automaatiourakoissa on tapana käyttää vakiintunutta nyrkkisääntöä tai ylimitoitaa virtalähdettä, sillä itse logiikan ja moduulien kuluttama virta on hyvinkin vähäinen. Alla olevaan taulukkoon (Taulukko

2) on kirjattu moduulien tehon tarve, ja näiden summaan on lisätty 20 %:n turvakerroin, jolla huomioidaan tehonhäviöt tai hetkellisestä ylikuormituksesta johtuva tehontarve. Tällä laskukaavalla olen selvittänyt järjestelmän tehon tarpeen ja sen mukaan mitoittanut virtalähdettä.

Taulukko 2: Virtalähteen mitoitus taulukko. Moduulien käyttöjännite on 24 VDC.

CPU:	1100 mA
DI/DO-moduulit 4kpl:	4 x 30 mA = 120 mA
AI-moduuli 1kpl:	140 mA
AQ-Moduuli 1 kpl:	160 mA
Tehotarpeen laskukaava  $P (W) = A \times V \times 20\%$  A virta, V jännite, 20%:n turvakerroin	$A = 1100 + 120 + 140 + 160 \text{ mA}$ $A = 1520 \text{ mA} = 1.52 \text{ A}$  $P = 1.52 \text{ A} \times 24 \text{ VDC} \times 20\%$  $P = 43,8 \text{ Watt}$

Taulukon 2 laskelmista selvisi, että järjestelmä tarvitsee noin 50 W:n virtalähteen. Olen valinnut projektiin sopivan kokoisen virtalähteen: Siemens PM1507, joka näkyy kuvassa 10. Valitun virtalähteen antama teho on 72 W, mikä on tietoisesti ylimitoitettu, jotta se mahdollistaa tulevat laajennukset. Virtalähteen manuaalissa suositeltiin lisäämään joko 16 A:n B-tyyppin tai 10 A:n C-tyyppin etusulake. Valitsin 10 A:n C-tyyppin sulakkeen, koska niitä oli saatavilla tehtaan varastossa. Sulake kytketään PSU:n ensiö puolelle eli

verkkovirtaa syöttävälle puolelle.



Kuva 10: Siemens PM 1507 24 V/3 A.  
Tuotenumero: 6EP1332-4BA00. [14.]

## 5 PLC-ohjelmointi TiaPortaalilla

Tässä osiossa esittelen ohjelmointini peruseriaatteita, jotka ovat ohjanneet työtäni, sekä matkan varrella kertyneitä oppeja. Ohjelmiston yksityiskohtia en voi käsitellä tarkemmin, sillä se on tehty yrityksen sisäiseen käyttöön. Voin kuitenkin jakaa esimerkkejä yksittäisistä toteutuksista ja valinnoista. Käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus oli rajattu siten, että se vastaa tuotannon muiden syövytyskoneiden käyttölogiikkaa. Tämän vuoksi käyttöliittymän yksityiskohtia ei käsitellä tässä osiossa.

Uusi logiikka on ohjelmoitu TIA Portal -ohjelmointiympäristössä, joka tukee IEC 61131-3 -standardin määrittelemiä ohjelmointikieliä. Ohjelmoinnissa on pyritty helpottamaan vianetsintää käyttämällä tikapuuohjelmointikieltä (Ladder Diagram) toimilaitteiden ohjausosoiden toteutukseen. Monimutkaisemmat toiminnot on toteutettu toimintolohkokaavioilla (Function Block

Diagram, **FBD**), mikä mahdollistaa rakenteellisemmän ja modulaarisen lähestymistavan.

Automaattinen prosessiajo on toteutettu sekvenssikaaviolla (Sequential Function Chart, **SFC**), jonka eri vaiheet – kuten syövytys- ja huuhtelutoiminnot – ovat muokattavissa reseptien kautta, mikä tuo joustavuutta prosessin säätöön. [15.]

## 5.1 Ohjelmiston rajapinnat

Ohjausjärjestelmä on rakennettu hierarkkisesti useaan tasoon, joista jokaisella on omat vastualueensa koneen toiminnassa. Tiedonsiirto tasojen välillä tapahtuu määrittelemäni rajapinnan kautta. Ohjelmiston jako mahdollistaa järjestelmän osien muokkausta tai uudelleen kirjoitusta vaikuttamatta järjestelmän toisiin osiin. Ohjelmiston arkkitehtuuri on pyritty luomaan joustavaksi ja helposti muokattavaksi kokonaisuudeksi. Tällä arkkitehtuurilla hallitaan myös tiedonkulkua ja varmistetaan ettei mikään osa ylikirjaa toisen tietoja. Ylikirjaus on estetty lukitsemalla vastualueiden tietokannat toisistaan, ja ainoastaan solun sisällä olevat toimilohkot pääsevät käsiksi omiin tietokantoihin.

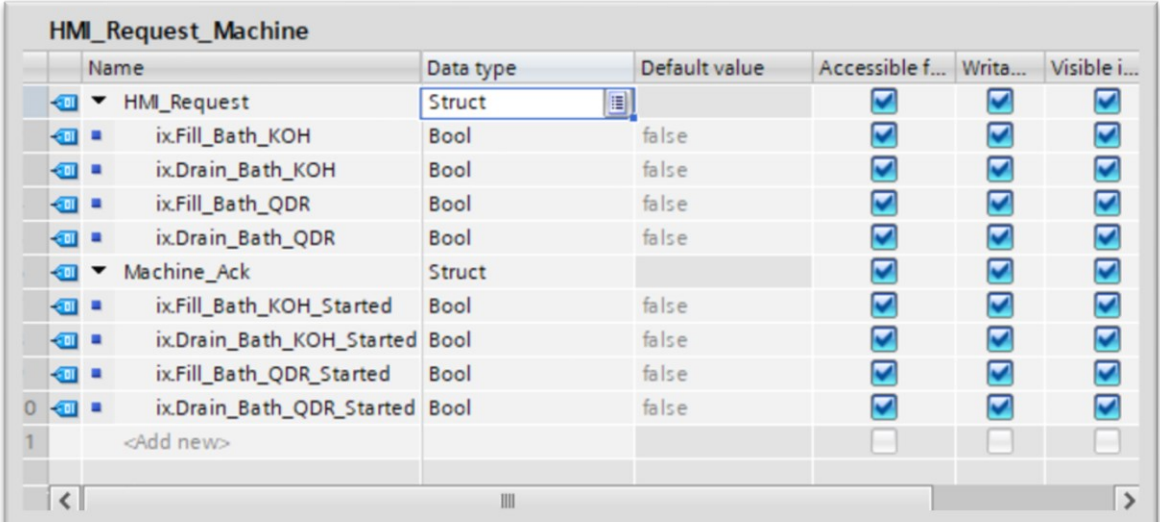
Järjestelmän korkein taso koostuu hyvin yksinkertaisesta tiedonvaihdosta PLC:n ja HMI:n välillä. PLC on vastuussa laitteen kaikista toiminnoista, ja tämän vastualueen rajapinta on nimeltään Machine interface. Tähän rajapintaan on määritelty pyynnit (Request), jotka tulevat HMI:ltä sekä niiden kuititukset (ACK) Machine-tasolta. Pyyntien vastaanotto, seuranta ja kuittaus tehdään Machine-tason sisällä olevilla lohkoilla. Tämän rajapinnan kautta kulkee myös HMI:lle erityisen tärkeä tietokanta, joka sisältää laitteen kaikki tilatiedot, jotka halutaan esittää käyttäjille.

Machine -tason sisällä olen segmentoinut altaiden ja Handlerin vastualueet omiksi rajapinnoiksi. Näiden vastualueiden sisällä käsitellään korkeammalta tasolta tulevia käskyjä ja ulosantina kuittaus, joka kulkeutuu Machine-tason

rajapinnan kautta HMI:lle. Tällä paluuviestillä ilmoitetaan käyttäjälle koneen aloittaneen tai tehneen pyydetyn toiminnon.

Equipment-nimiset rajapinnat edustavat isompia osakokonaisuuksia laitteen toiminnoista. Näiden lohkojen sisällä tulkitaan tulevia käskyjä toimilaitteille ja seurataan niiden turvallista suoritusta. Nämä lohkot käsittelevät omien vastualueiden anturitietoja, ja ilmoittavat mahdollisista vikatiloista.

Ohjauksen rajapinnat ja niiden muuttujat ovat luotu TiaPortalin UDT-nimisellä toiminnolla. UDT on lyhenne **U**ser **D**efined **D**ata **T**ypelle. Tällä toiminnolla voidaan luoda mielivaltaisesti listauksen muuttujia, jotka voidaan asettaa lohkojen tuloksi tai lähdöiksi. Kuvassa 4 on esitetty UDT-määrittely näkymä ja siinä näkyvät muuttujat on sidottu HMI\_Request\_Machine UDT:hen.

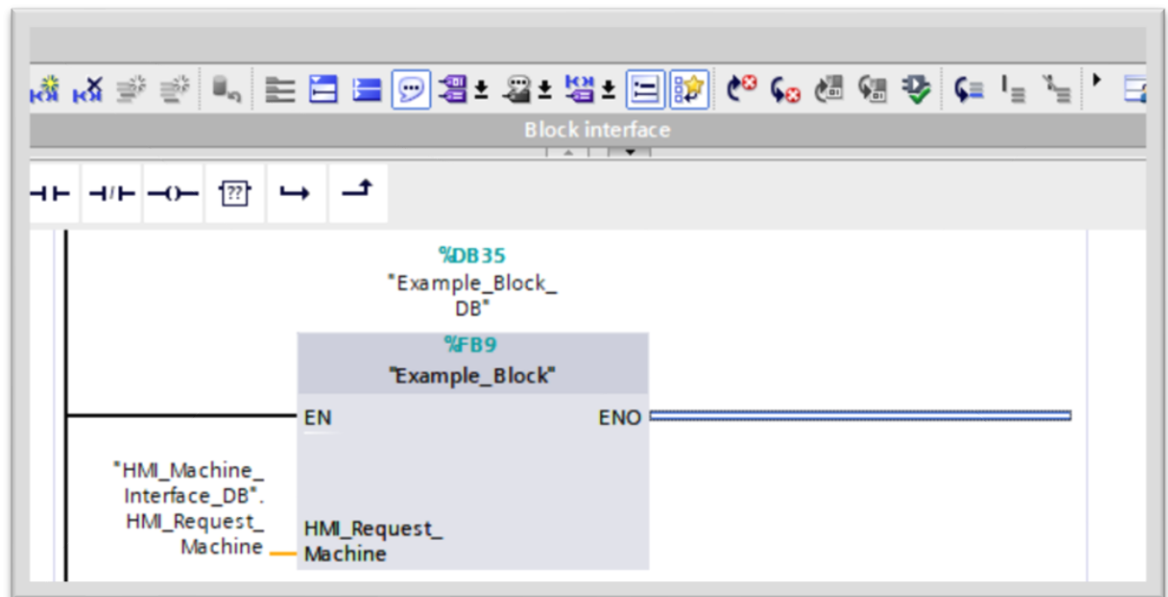


	Name	Data type	Default value	Accessible f...	Writa...	Visible i...
	▼ HMI_Request	Struct		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ix.Fill_Bath_KOH	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ix.Drain_Bath_KOH	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ix.Fill_Bath_QDR	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ix.Drain_Bath_QDR	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	▼ Machine_Ack	Struct		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ix.Fill_Bath_KOH_Started	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ix.Drain_Bath_KOH_Started	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ix.Fill_Bath_QDR_Started	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
0	ix.Drain_Bath_QDR_Started	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kuva 11: Rajapintojen määrittely: UDT-määrittelynäkymä.

UDT on hyvin dynaaminen tapa ohjelmoida järjestelmän IO:ta. Muutos UDT:n määrittelyssä vaikuttaa välittömästi kaikkiin lohkoihin, jotka sitä käyttävät.

UDT voidaan sijoittaa toimintalohkokaavion tuloksi ja lähdöksi, kuten alla olevassa kuvassa (kuva 12) voidaan todeta. Kuvassa näkyvä toimintalohkokaavio on luotu havainnollistavaksi esimerkiksi siitä, miten UDT:tä voidaan sijoittaa lohkoon. Voimme myös valita HMI\_Request\_Machine UDT:n yksittäisiä listauksia, kuten Machine\_Ack ja sen sisältämät muuttujat lohkon tuloksi tai lähdöksi.



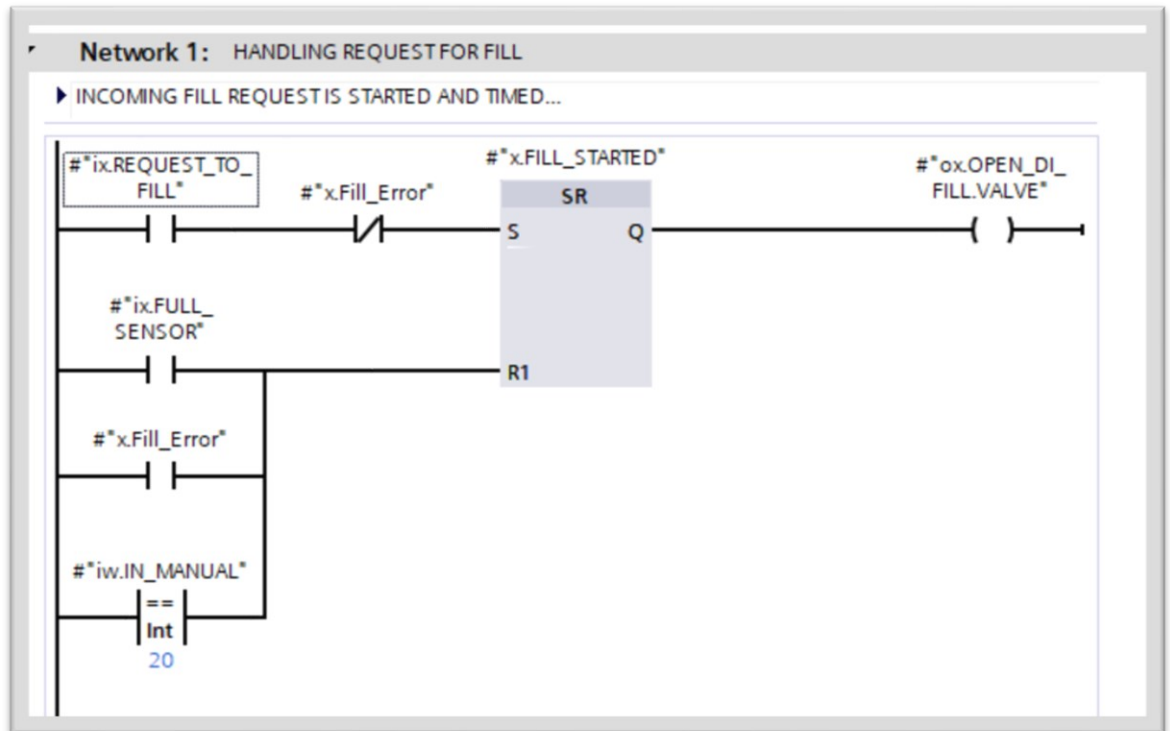
Kuva 12: UDT:n sijoitus toimilohkokaavion tuloksi ja lähdöksi. UDT:n muuttujat ovat sidottu lohkon sisällä oleviin muuttujiin. UDT:n ja lohkon muuttujien oltava saman tyyppiä eli lohkon sisällä on käytettävä samaa UDT:tä, mikäli se sijoitetaan kokonaan lohkon tulo/lähdöksi.

## 5.2 Logiikan ohjelmointi

Ohjausta on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi, vaikka edellisen kappaleen rajapinnat kuulostavatkin monimutkaisilta. Yksi tapa yksinkertaistaa isoja kokonaisuuksia on purkaa toimintojen valvonta ja suoritusosiot omiin lohkoihin. Yksi haastavampia kokonaisuuksia oli Handlerin liikkeen ohjaus. Ohjauksen tuli valvoa päätyrajakytkimien tiloja, akselien paikkatietoja ja käskyttää moottoriohjaimia. Ratkaisu tähän oli jakaa edellä mainittuja toimia omiin lohkoihin, jotka käsittelevät vastualueidensa kentälaitteiden tiloja ja antoivat yksinkertaisen binäärisen käyntiluvan, mikäli oli turvallista liikkua. Tällä tavalla pystyin kehittämään tai muokkaamaan toteutuksen eri osia hyvinkin ketterästi vaikuttamatta toiseen.

Seuraavassa kuvassa 13 on esitetty täyttöpöyynnön käsittely, joka on oiva esimerkki toiminnan pilkkomisesta pieniin osiin. Venttiilin avaus ja sulkua on

hyvin yksinkertainen toiminto. Siihen ei tarvita kummoista logiikkaa, mutta toiminnon ajastaminen, virheiden seuranta ja tehdyn työn kuittaus onkin astetta monimutkaisempi. Pilkomalla valvojan, joka näkyy kuvan 13:ta Network 1:ssä, ja käskyn suorittajan omiin lohkoihin pystyn muokkaamaan kumpaakin vaikuttamatta toiseen. Näin voidaan myös uudelleen käyttää samoja lohkoja säästäten ohjelmointiin menevää aikaa.



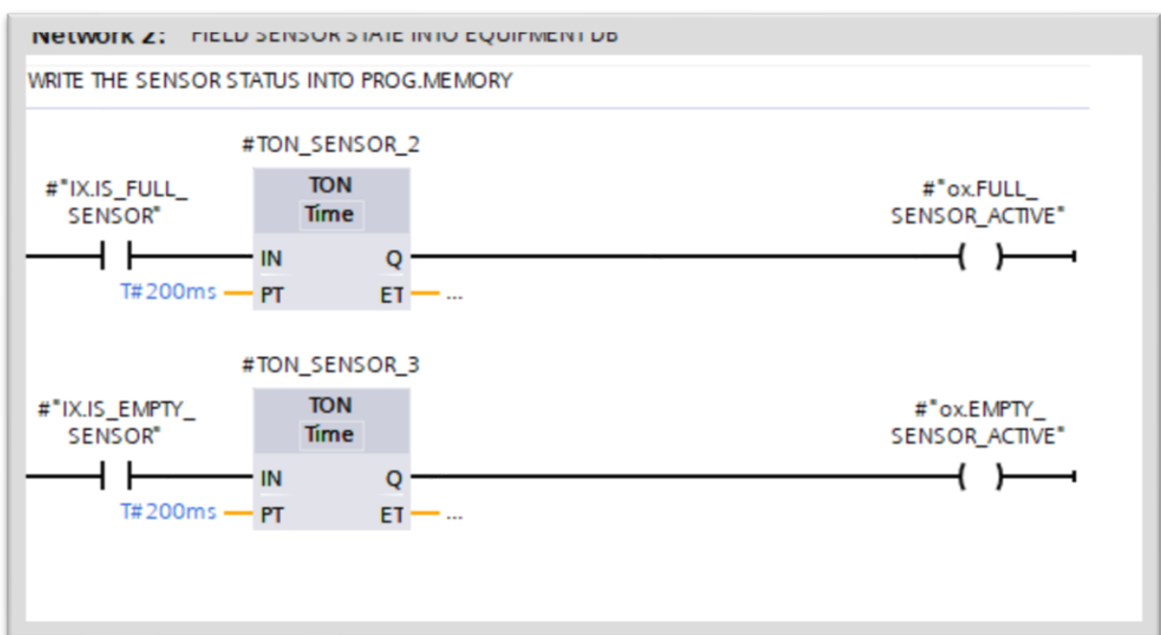
Kuva 13: HMI:ltä tulevan täyttöpöynnin käsittely. Käsky ix.REQUEST\_TO\_FILL aloittaa täytön aktivoimalla x.FILL\_STARTED SR-kiikun.

### 5.3 Ohjelmoinnin opit

Ohjelmoinnin aikana olen oppinut anturitiedon esikäsittelyn ja suodatuksen tärkeyden. Kaikkien tulojen ja lähtöjen ohjelmoinnissa kannattaa miettiä, miten kenttälaite toimii tosilanteessa tai vikaantuneena. Meidän on huomioitava mahdollisia viiveitä, pätkimisestä aiheutuvia virheitä tai turvallisuusriskejä, jotka voivat syntyä toimilaitteen käytön aikana. Hyvä tapa aloittaa tätä pohdiskelua on perehtyä IO-moduulien manuaaleihin. Hyvä esimerkki tästä ovat

analogiset kortit, joiden manuaaleissa ilmoitetaan, miten kortti hälyttää vikatilanteissa, kuten kaapelikatossa tai kortin oikosulussa.

Lisäksi olisi hyvä hahmottaa anturin ja sen mittaaman aineen tai esineen välinen vuorovaikutus. Esimerkki tästä löytyy altaiden pinta-antureista, jotka toimivat rajoina täyttö- ja viemäriventtiilin avaukselle. Näiden anturitietojen käsittelyssä oli huomioitava vedenpinnan käyttäytyminen täytön aikana eli sen aaltoilu ja hidus asettuminen haluttuun korkeuteen. Tämä ilmiö voi luoda pätkimistä pinta-anturin viestissä ja pysäyttää täytön ennenaikaisesti.



Kuva 14: Ylä- ja alaraja pinta-anturin tulotiedon suodatus ja binäärinen esitys.

Ratkaisu tähän oli lisätä pieni vetohidastus ennen anturitiedon siirtoa kts.

Kuva 14, jolla varmistetaan veden pinnan asettumista ja samalla suodatetaan satunnaista pätkimistä. Nämä ratkaisut ovat kuitenkin aina tapauskohtainen, ja on tiedostettava väärän tiedon aiheuttamat riskit.

## 6 Simulointi ja käyttöönotto

Projekti on kirjoitushetkellä edennyt testaus- ja simulointivaiheeseen, joka oli alkuvalmisteluvaiheessa määritelty tärkeäksi osaksi uuden järjestelmän toimivuuden varmistamista. Järjestelmän fyysinen asennus ja käyttöönotto toteutetaan seuraavan tehtaan alasajon yhteydessä. Ohjelmistoa voidaan siis vielä simuloida ja kehittää käyttöönottopäivään asti, joka ei ole vielä tiedossa.

### 6.1 Simuloitu PLC

Toimintojen testausta varten olen luonut simuloitun PLC:n, joka vastaanottaa varsinaisen järjestelmän fyysiset lähtösignaalit sen tuloina ja jäljittelee oikean penkin käyttäytymistä. Simuloitu PLC on ohjelmoitu reagoimaan järjestelmän tekemiin muutoksiin käyttämällä aikaviiveitä, veden pintaa mallintavia laskureita tai simuloimalla lämmön muutosta.

Lisäksi olen testannut toimintoja HMI:n kautta tarkistaaksen, siirtyvätkö pyynnöt ja kuittaukset logiikan ja käyttöliittymän välillä. Nämä testit ovat olleet erittäin hyödyllisiä, sillä niiden kautta olen ymmärtänyt graafisen palautteen merkityksen käyttäjälle. Tämän ymmärryksen olen saanut omasta turhautumisestani jatkuvaan ikkunoiden vaihteluun toimintojen testauksen aikana. Tämä on motivoinut minua lisäämään koneen käyttöliittymään enemmän visuaalista palautetta laitteen nykytilasta ja toiminnoista.

### 6.2 Käyttöönottoon valmistautuminen

Laitteiston asennukseen ja käyttöönottoon on varattu enintään viikon mittainen jakso, joka on ajoitettu alkamaan tehtaan vuosittaisen alasajon aikana. Tavoitteena on ottaa uusi ohjausjärjestelmä käyttöön ilman suuria yllätyksiä tai katkoksia tuotannossa. Mitä nopeammin laite saadaan prosessitestaukseen, sitä nopeammin se voidaan palauttaa tuotantokäyttöön.

Tämän tavoitteen tukemiseksi laaditaan erillinen testausasiakirja, jonka avulla seurataan testien etenemistä ja varmistetaan, ettei mikään osa järjestelmästä jää huomaamatta vialliseksi tai testaamatta.

Lopuksi suoritetaan automaattitilan prosessiajon testaus, jonka tarkoituksena on varmistaa, että laite pystyy suorittamaan prosessin samalla tavalla kuin ennen ohjausjärjestelmän päivitystä. Testauksen aikana seurataan muun muassa prosessimuuttujien käyttäytymistä, lämmönsäätelyn toimivuutta sekä automaattitilan turvallisuusominaisuuksien toteutumista.

## **7 Yhteenveto**

Opinnäytetyön tavoitteena oli päivittää vanha Siemens S5 -ohjausjärjestelmä uuden sukupolven S7-1500-sarjaan. Samalla suunniteltiin ja otetaan käyttöön uusi kosketusnäyttöpohjainen HMI-käyttöliittymä, joka korvasi aiemmat mekaaniset painikkeet ja parantaa laitteen käytettävyyttä ja selkeyttä. Projekti toteutettiin vaiheittain sisältäen valmistelun, sähkökuvien ja dokumentaation päivittämisen, ohjelmoinnin sekä simuloinnin ja testauksen. Työn tuloksena on testattu ja asennusvalmis ratkaisu, jota voidaan edelleen kehittää tai lisätä uusia ominaisuuksia.

Projektin toteutus vaati sekä sähkötekniistä että ohjelmointiosaamista. Vanha ohjelmalogiikka käytiin läpi ja sen kriittiset toiminnot, kuten servomoottorien ohjaus, lämmönsäätö ja vikatilanteiden käsittely uudelleenkirjoitettiin S7-ympäristöön sopivaksi. Ohjelmointi toteutettiin modulaarisesti ja hyödynnettiin käyttäjämääriteltyjä tietotyyppejä (UDT).

Projekti toteutettiin muun työn ohessa. Sen aikataulussa pysymiseen liittyi riskejä, joita hallittiin säännöllisellä raportoinnilla ja vaiheittaisella etenemisellä. Työ antoi hyvän mahdollisuuden kehittää käytännön osaamista muun muassa projektinhallinnassa, dokumentoinnissa ja teollisuusautomaation järjestelmien kokonaisvaltaisessa ymmärtämisessä.

Erityiset kiitokset FAP Automaation Matti Huttuselle mentorinnista projektin suorituksessa ja ohjelmiston testauksessa.

## Lähteet

- 1 Okmetic Oy:n yritysesittely. Verkkoaineisto. <<https://www.okmetic.com/fi/tietoa-okmeticista/yritys/>>. Luettu 11.4.2025.
- 2 Okmetic Oy:n historia. Verkkoaineisto. <<https://www.okmetic.com/fi/tietoa-okmeticista/okmeticin-historia/>>. Luettu 11.4.2025.
- 3 Siemensin SIMATIC S5 laitetuen loppumisen ilmoitus. Verkkoaineisto. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109776026/end-of-the-simatic-s5-product-life-cycle?dti=0&lc=en-US>>. Luettu 19.11.2024.
- 4 Siemensin SIMATIC S7-1500 tuotesarjan kuvaus. Verkkoaineisto. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/71704272/simatic-s7-1500?dti=0&lc=en-FI>>. Luettu 19.11.2024.
- 5 Trexo inc:n yritysblogi. What is industrial equipment modernization?. Verkkoaineisto. <<https://www.trexo.ca/en/modernization-industrial-equipment/>>. Luettu 19.11.2024.
- 6 Wikipedia. 2009. Bath tube curve mallin kuva. Verkkoaineisto. <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bathtub\\_curve.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bathtub_curve.svg)>. Viitattu 11.4.2025.
- 7 Milton Ohring.1995. Engineering Materials Science. Verkkoaineisto.<<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bathtub-curve>>. Luettu 19.11.2024.
- 8 LUDECA:n yritysblogi. Post-Machine Life Expectancy – What Should the Maintenance Organization Focus on?. Verkkoaineisto. <<https://ludeca.com/blog/alignment/8443/machine-life-expectancy-what-should-the-maintenance-organization-focus-on/>>. Luettu 19.11.2024.
- 9 Siemensin ohjelmankääntö opas: SIMATIC S5 to SIMATIC S7-1500. Verkkoaineisto. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/105106251/migration-guide-simatic-s5-to-simatic-s7-1500?dti=0&lc=en-US>>. Luettu 19.11.2024.
- 10 Siemensin S7 1515-2PN CPU:n datalehti. Verkoaineisto. <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7515-2AN03-0AB0>>. Luettu 19.11.2024.

- 11 Siemensin DI16/DQ16-moduulin tuotekuvaus. Verkkoaineisto <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=6ES7523-1BL00-0AA0&SiepCountryCode=WW>>. Luettu 19.11.2024.
- 12 Siemensin AI 4xU/I/RTD/TC ST-moduulin tuotekuvaus. Verkkoaineisto <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=6ES7531-7QD00-0AB0&SiepCountryCode=WW>>. Luettu 19.11.2024.
- 13 Siemensin AQ 4xU/I HF-moduulin tuotekuvaus. Verkkoaineisto <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=6ES7532-5ND00-0AB0&SiepCountryCode=WW>>. Luettu 19.11.2024.
- 14 Siemensin PM1507 virtalähteen tuotekuvaus. Verkkoaineisto <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6EP1332-4BA00>>. Luettu 19.11.2024.
- 15 IEC 61131-3. 2013. Programmable Controllers – Part 3: Programming Languages. 3rd ed. IEC. Verkkoaineisto. < <https://webstore.iec.ch/en/publication/4552> >. Luettu 19.11.2024.
- 16 Siemensin ohjelmointiopas "Define PLC data types. Verkkoaineisto. <[https://support.industry.siemens.com/cs/document/51339155/define-plc-data-types-\(udts\)-in-step-7-\(tia-portal\)?dti=0&lc=en-FI](https://support.industry.siemens.com/cs/document/51339155/define-plc-data-types-(udts)-in-step-7-(tia-portal)?dti=0&lc=en-FI)>. Luettu 19.11.2024.