



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juho Alapiha

Sähkö- ja automaatio suunnitelma kupariputkien pesuveden puhdistusprosessille

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Juho Alapiha

Työn nimi: Sähkö- ja automaatiosuunnitelma kupariputkien pesuveden puhdistusprosessille

Ohjaaja: Ismo Tupamäki

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 44

Liitteiden lukumäärä: 4

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi LSK Technology Oy ja työn tilaajana toimi Cupori Oy. Cupori Oy on suomalainen metalliteollisuusyritys, joka valmistaa kupariputkia LVI-asennus- ja teollisuuskäyttöön. Cupori Oy:n oli liitettävä tyhjiöhaidutin olemassa olevaan kupariputkien pesulaitteistoon, jonka avulla muuttuneet pitoisuusarvot alittuvat. Laitteiston tarkoituksena on poistaa kuparia kupariputkien pesuvedestä. Pesuvettä on johdettu viemäriin ja osittain Kokemäenjokeen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa sähkösuunnitelman dokumentit tyhjiöhaiduttimen ja tähän rakennetun prosessin liittämistä pesuveden puhdistusjärjestelmään. Tarvittavat dokumentit olivat piirikaavio, väyläkaavio, keskuksien layout-kuvat, maadoituskaavio ja osaluettelot. Säättökaavion perusteella suunniteltiin logiikka ja logiikkaan tarvittavat lisämoduulit. Moduulien määrään vaikuttivat prosessin mittaukset, säädöt ja tilatiedot. Näiden lisäksi pumppujen taajuusmuuttajat valittiin PI-kaavion toimittajan LVI-laiteluettelon perusteella.

Opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin. Kupariputkien pesuveden puhdistusjärjestelmän keskukset saatiin valmistettua suunnitelmien mukaan. Puhdistusjärjestelmä saatiin asennettua ja käyttöön otettua suunnitelmien mukaisesti. Tarvittavat dokumentit toimitetaan työn tilaajalle. Opinnäytetyön kirjoitushetkellä mittaustuloksia siitä, kuinka paljon uusi järjestelmä saa erotettua kuparia ja muita epäpuhtauksia, ei ollut vielä saatavilla.

¹ Asiasanat: sähkösuunnittelu, tietokoneavusteinen suunnittelu, höyrystyminen, CADMATIC

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical automation

Author: Juho Alapiha

Title of thesis: Electricity and automation plan for the purification system of copper pipe cleaning water

Supervisor: Ismo Tupamäki

Year: 2023

Number of pages: 44

Number of appendices: 4

The thesis was commissioned by LSK Technology Oy, with Cupori Oy acting as the project sponsor. Cupori Oy is a Finnish company in metal industry that produces copper pipes for HVAC and industrial use. Cupori Oy needed to integrate a heat pump vacuum evaporator into an existing copper pipe cleaning process in order to meet changing environmental standards. The purpose of the system was to remove copper from the process water, which had previously been discharged into the sewage system and partly into the Kokemäenjoki river.

The aim of the thesis was to produce an electrical design documentation for the connection of the vacuum evaporator and related equipment to the purification system of the cleansing water. The necessary documents included circuit diagrams, field bus diagrams, layout drawings, earthing diagrams and parts lists. Based on the P&ID diagram, the logic and additional modules required for the logic were considered. The number of modules was determined based on process measurements, process adjustments and status information. In addition, the frequency converters for the pumps were selected based on the HVAC equipment list provided by the company that supplied the P&ID diagram.

The objectives of the thesis were achieved. The control electric cabinets for the purification system of copper pipe cleaning water were manufactured according to the plan. The purification system was installed and put into operation as planned. The necessary documents will be provided to the project sponsor. At the time of writing the thesis, data on the amount of impurities removed from the water by the vacuum evaporator was not available.

¹ Keywords: electrical wiring design, computer-aided design, vaporization, CADMATIC

SISÄLTÖ

| | |
|---|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä | 2 |
| Thesis abstract | 3 |
| SISÄLTÖ | 4 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo | 6 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet..... | 8 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 1.1 Työn tausta | 9 |
| 1.2 Työn tavoite..... | 9 |
| 1.3 Työn rakenne | 9 |
| 1.4 Yritysesittely | 10 |
| 2 TEOLLISUUDEN SÄHKÖSUUNNITTELU..... | 11 |
| 2.1 Teollisuuden sähköpiirustukset | 11 |
| 2.2 CADMATIC..... | 12 |
| 3 TYÖHÖN LIITTYVÄT SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOLAITTEET | 13 |
| 3.1 Taajuusmuuttaja..... | 13 |
| 3.2 Ohjelmoitava logiikka | 14 |
| 3.3 Analogiakortit..... | 15 |
| 3.3.1 Analogiatulokortti | 16 |
| 3.3.2 Analogialähtökortti | 18 |
| 3.4 Turvatulot ja turvalähdöt..... | 18 |
| 4 SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOSUUNNITTELU | 21 |
| 4.1 Opinnäytetyön aloitus..... | 21 |
| 4.2 Projektin aloitus | 21 |
| 4.3 Ohjauskomponenttien valinta | 22 |
| 4.4 ECO VS-HP -tyhjiöhaidutin..... | 26 |
| 5 SÄHKÖKUVIEN SUUNNITTELUVAIHEET | 29 |
| 5.1 Piirikaavion rakenne | 29 |
| 5.2 Moottorilähdöt..... | 30 |
| 5.3 Turvatulot | 33 |

| | |
|--------------------------|----|
| 5.4 Turvalähdöt | 34 |
| 5.5 Digitaalitulot..... | 35 |
| 5.6 Digitaalilähdöt..... | 35 |
| 5.7 Analogiatulot..... | 35 |
| 5.8 Analogialähdöt..... | 37 |
| 6 YHTEENVETO | 38 |
| 7 POHDINTA..... | 40 |
| LÄHTEET | 41 |
| LIITTEET | 44 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Taajuusmuuttaja jaettuna kolmeen pääosaan. | 14 |
| Kuva 2. Erään 4-biittisen AD-muuntimen askeleet..... | 16 |
| Kuva 3. Vastusanturien kytkentämahdollisuudet. | 17 |
| Kuva 4. Simatic AQ 4×U/I ST -analogialähtömoduulin johdotusvaihtoehdot..... | 18 |
| Kuva 5. Turvallisuuustoiminnon SIL3- tai PLe-luokkaisen signaalin kytkeminen Simatic F-DI 8x24VDC HF -turvatulomoduuliin. | 19 |
| Kuva 6. Simatic-turvalähtömoduulin F-DQ 4x24VDC/2A PM HF kolme kuormankytkentämahdollisuutta. | 20 |
| Kuva 7. Vedenpuhdistuslaitteiston PI-kaavio..... | 22 |
| Kuva 8. Osa vedenpuhdistuslaitteiston säätökaaviota. | 23 |
| Kuva 9. HKC HQ-015 -sulkuventtiilit TV1, TV2 ja TV3..... | 25 |
| Kuva 10. Säätöventtiilin kytkentäpisteet..... | 26 |
| Kuva 11. ECO VS-HP -tyhjiöhaiduttimen periaatekuva..... | 28 |
| Kuva 12. ECO VS-HP -tyhjiöhaidutin. | 28 |
| Kuva 13. Tyhjennyspumppu kolmosen tyyppikilpi..... | 31 |
| Kuva 14. CADMATIC-ohjelmistolla suunniteltu moottorilähtö. | 33 |
| Kuva 15. Simatic-turvalähtömoduuli F-DQ 4x24VDC/2A PM HF. | 34 |
| Kuva 16. HKC HQ-015 -säätöventtiilin kytkentäkaavio. | 37 |
| Kuva 17. Kuva asennusvaiheesta..... | 39 |
| Kuvio 1. Absoluuttisen paineen (bar) vaikutus veden kiehumispisteeseen (°C)..... | 27 |

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. SIL- tai PLr-luokan määrittäminen turvatoiminnolle matriisin avulla..... | 19 |
| Taulukko 2. Maksimijännitteenalenema..... | 33 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|------------------|--|
| PI-kaavio | Putki- ja instrumentointikaavio. |
| Pt100 | Vastuslämpötilamittari, jonka mittauselementti on valmistettu platinasta ja mittauselementin vastus on nollassa celsiusasteessa 100 ohmia. |
| Kenttä | Keskuksen ulkopuolista aluetta kutsutaan kentäksi. |
| CAD | Computer-aided Desing eli tietokoneavusteinen suunnittelu. |
| PLC | Programmable Logic Controller eli ohjelmoitava logiikka. |
| I/O | Input/Output eli tulo/lähtö. |
| RTD | Resistance Temperature Detector eli vastuslämpötila-anturi. |
| MOSFET | Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor eli metallioksidipuolijohdekanavatransistori. |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Kiristyneiden ympäristöpäätöksien vuoksi Porin kupariteollisuusalueen yritykset joutuvat miettimään keinoja viemäriin johdettavan veden puhdistamiseksi. Aluehallintoviraston antamasta päätöksestä selviää uudet raja-arvot eri haitta-aineille. Porin kupariteollisuusalueella kupari tuottaa hankaluuksia. Viemäriin menevässä vedessä kuparin pitoisuus saa olla korkeintaan 1,0 mg/l. Prosessiveden puhdistusjärjestelmän käyttöönoton jälkeen laaditaan kalenterivuodelle tarkkailusuunnitelma, jolla todennetaan pitoisuusrajojen noudatettavuus. Tarkkailusuunnitelman mukaisista mittauksista vähintään 80 % vuorokauden mittaisista kokoomanäytteistä täytyy olla alle raja-arvon, eikä yksikään mittaus saa ylittää raja-arvoa 100 %:lla.

1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa sähkö- ja automaatio suunnitelma prosessiveden puhdistusjärjestelmän liittämiseksi olemassa olevaan kupariputken pesulaitteistoon. Kupariputkien pesuprosessin aikana kuparia irtoaa pesuveteen, ja tämä vesi on johdettu osittain Kokemäenjokeen. Vesistöjen suojelun tehostamiseksi raja-arvot ovat muuttuneet, ja tämä aiheuttaa toimenpiteitä Porin kupariteollisuusalueen yrityksissä. Prosessiveden puhdistusjärjestelmällä saadaan haitta-aineiden pitoisuudet vähenemään, jolloin pesuvettä voidaan jatkossakin johtaa viemäriin. Suunnitelma pitää sisällään CAD-kuvina piirretyt piirikaavion, väyläkaavion, maadoituskaavion ja ohjauskeskuksien layoutit sekä osaluettelon tarvittavista laitteista.

1.3 Työn rakenne

Työn ensimmäisestä luvusta löytyvät työn tausta, tavoite ja rakenne sekä esittely toimeksiantajasta ja työn tilaajasta. Toisessa luvussa käsitellään teollisuuden sähköpiirustuksia ja sitä, mistä CADMATIC-suunnitteluohjelma on saanut alkunsa. Kolmannessa luvussa käsitellään työhön liittyviä pääkomponentteja. Neljännessä luvussa käsitellään sähkö- ja automaatio suunnittelun aloitusta ja ohjauskomponenttien valintaa sekä kerrotaan lyhyesti tyhjöhaiduttimesta. Viidennessä luvussa käydään tarkemmin läpi sähkökuvien suunnittelun eri vaiheita.

Kuudes luku on työn yhteenveto, josta selviää työssä eniten haasteita aiheuttaneet asiat. Seitsemännessä luvussa on työn pohdinta.

1.4 Yritysesittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi LSK Technology Oy, joka kuuluu LSK-konserniin. LSK on vuonna 1930 Paavo Bohmin toimesta perustettu perheyritys, jonka alkuperäinen nimi on Lahden Sähkö ja Kone (LSK, i.a.). LSK Group Oy on emoyhtiö ja pääkonttori sijaitsee Lahdessa. Vuonna 2021 konsernin eri osastoilla työskenteli noin 250 teknisen alan asiantuntijaa ja konsernin liikevaihto oli noin 65 M€. Konserniin kuuluvat yhtiöt ovat LSK Group Oy, LSK Electrics Oy, LSK Technology Oy, LSK Service Oy, LSK Talotekniikka Oy, LSK Innovation Oy ja LSK Solutions Oy. Toimeksiantaja LSK Technology Oy suunnittelee ja toteuttaa modernisointeja teollisuusautomaation parissa ympäri Suomea. LSK Technology Oy työllisti vuonna 2021 yhteensä 84 työntekijää ja sen liikevaihto oli noin 27 M€. Toimipisteitä on neljässä eri kaupungissa eli Kuopiossa, Hämeenlinnassa, Lahdessa ja Seinäjoella.

Työn tilaaja on Suomessa vuonna 2008 perustettu kuparitoimittaja. Cupori Oy on Euroopassa yksi suurimmista teollisuusputkien toimittajista ja Pohjoismaissa johtava kuparisten LV-asennusputkien toimittaja (Kupariteollisuuspuisto, i.a.). Liikevaihtoa yrityksellä on noin 100 M€ ja henkilöstöä noin 140 (Cupori, 2021). Kupari on nykyaikana yksi monipuolisimmista ja tärkeimmistä metalleista. Cupori Oy valmistaa erilaisiin käyttökohteisiin sopivia kupariputkia. Tuotteita löytyy muun muassa sairaalatekniikkaan, kaasun- ja öljykohteisiin, jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmiin ja juomaveden johtamiseen.

2 TEOLLISUUDEN SÄHKÖSUUNNITTELU

2.1 Teollisuuden sähköpiirustukset

Sähköpiirustuksilla tarkoitetaan teknisten tietojen tallentamista dokumenteiksi (Mäkinen & Kallio, 2004, s. 200). Heidän mukaansa prosessisuunnittelusta saatavien tietojen perusteella sähkösuunnittelija tekee sähköpiirustukset (mts. 204). Näiden dokumenttien kerrotaan olevan muun muassa erinäisiä kaaviota, piirustuksia, luetteloita ja selostuksia (mts. 200). PI-kaaviossa esitellään laitoksen prosessilaitteet ja niihin liittyvät mittauspisteet (mts. 201). Tämän kaavion tarkoituksena on muun muassa antaa tiedot prosessin teknisistä ratkaisuksista ja antaa myös perustiedot automaatiopiirustusten laadintaan (mts. 201).

Piirustusstandardien mukaisesti PI-kaaviossa esitetään kaikki venttiilit ja laitteet sekä mitattavat suuret mittauspisteineen (Mäkinen & Kallio, 2004, s. 204). Säättöpiirit esitetään yleispiirrosmerkein. PI-kaavioita ei piirretä mittakaavassa, mutta mahdollisuuksien mukaan ne piirretään oikeisiin korkeusasemiin ja kooltaan vertailukelpoisiksi (mts. 201).

Mäkinen ja Kallio (2004, s. 206) kertovat, että maadoituskaaviosta käy ilmi kokonaisuus, jonka mukaisesti kaikki liittymän maadoitukset tehdään. Kaaviosta ilmenevät paikat päämaadoituskiskolle ja apumaadoituskiskolle. Siitä selviää myös maadoituskaapelien numero-, koko- ja värimerkinnot. On myös tärkeää merkitä kaavioon tikashyllyjen, putkistojen ja rakeneteräksien maadoitukset. Kaikki suojajohtimet, jotka häiriöiden ja sähköturvallisuuden takia on asennettava, esitetään maadoituskaaviossa (mts. 206).

Mäkisen ja Kallion (2004, s. 209) mukaan piirikaaviosta käy ilmi laitteen tai laitoksen toiminta ja sähköiset kytkennät. Piirikaavion voi mieltää sähköalan ammattilaiselle tarkoitetuksi toimintaselostukseksi. Kaaviossa esitellään kaikki moottorien ja muiden laitteiden ohjauslaitteet kytkentöineen. Tämä tekee piirikaaviosta erityisen tärkeitä, koska niiden mukaan tehdään kytkennät keskusvalmistuksessa. Myös asennusvaiheessa ulkoiset kytkennät kytketään piirikaavioon mukaan. Loppupiirustukset jäävät laitokselle, ja niihin on merkitty käyttöönotossa tehdyt korjaukset tai lisäykset. Mäkisen ja Kallion (2004, s. 200) mukaan edellä mainitut dokumentit voivat olla sähköisiä tai paperille suunniteltuja asiakirjoja.

2.2 CADMATIC

Cadmatic on suomalainen ohjelmistoyritys, joka kuuluu Elomatic-konserniin. Kesäkuussa 2021 julkaistussa uutisessa Tekniikan akateemiset -sivustolla Rönqvist (2021) kirjoittaa, että Cadmatic aloitti toimintansa Elomatic-insinöörintoimiston sisäisestä projektista 1980-luvun puolivälissä. Elomaticin työntekijät kehittivät tietokoneavusteista suunnittelujärjestelmää eli CAD-ohjelmaa sisäiseen käyttöön. Tuolloin toimisto teki suunnittelutöitä vielä piirustuslaudalla ja käsin, mutta asiakkaat kiinnostuivat kehitetystä ohjelmistosta. 1990-luvun alussa Cadmatic yhtiöitettiin, ja sen jälkeen hollantilainen yhteistyökumppani liittyi mukaan. Yhdessä he kehittivät ohjelmistoa meriteollisuuden tarpeisiin. Vasta 1990-luvun lopussa toimintaa laajennettiin prosessiteollisuuteen.

Elomatic (2019) uutisoi vuonna 2019 Cadmatic Oy:n ostaneen suomalaisen Kyndata Oy:n, joka kehitti teollisuuteen ja rakennussektoreille CADS-suunnittelujärjestelmiä. Kyndata Oy:n päätuotteita olivat CADS Electric, CADS Hepac ja CADS House. CADS Electrical on tarkoitettu sähkö- ja automaatio suunnitteluun ja rakennussähköistykseen. CADS Hepacia käytettiin LVIA-suunnitteluun ja CADS House oli tarkoitettu arkkitehti- ja rakennesuunnitteluun.

CADMATIC (2019) uutisoi omilla sivuillaan, mitä yrityskauppojen jälkeen on tiedossa kuluttajille. Tammikuussa vuonna 2020 julkaistiin uudet revisiot kaikista CADS-tuotteista, jolloin tuotenimet muuttuivat. Esimerkiksi CADS Electric muuttui CADMATIC Electricaliksi ja CADS (perusohjelma) muuttui CADMATIC Drawiksi. Nimen muutos tuli myös aliohjelmiin. Vanha CADS Electric Piirikaavio muuttui CADMATIC Electrical Schematicsiksi.

Nykyään CADMATIC-sivuston (i.a.-b) mukaan tarjontaa löytyy kolmelle päätoimialalle. Ensimmäisen toimialan nimi on Marine, ja se on suunniteltu laivanrakennusteollisuuteen. Toisen toimialan nimi on Proses & Industry, ja se on suunniteltu prosessivetoisille teollisuusaloille. Kolmas ja viimeinen toimiala on nimeltään Construction, joka on suunnattu rakenne-, LVIA-, ja sähkösuunnitteluun. Tämän opinnäytetyön suunnitteluosuus toteutettiin CADMATIC Construction -ohjelmistoratkaisuun kuuluvalla CADMATIC Electrical -ohjelmistolla. CADMATICin (2019) uutisesta selviää Electric-tuotteen neljä alisovellusta. Sovellusten nimet ovat Layout, Schematics, Distribution Board ja Cabinet Layout. CADMATICin (i.a.-a) mukaan CADMATIC Electrical on käytetyin sähkösuunnitteluohjelmisto.

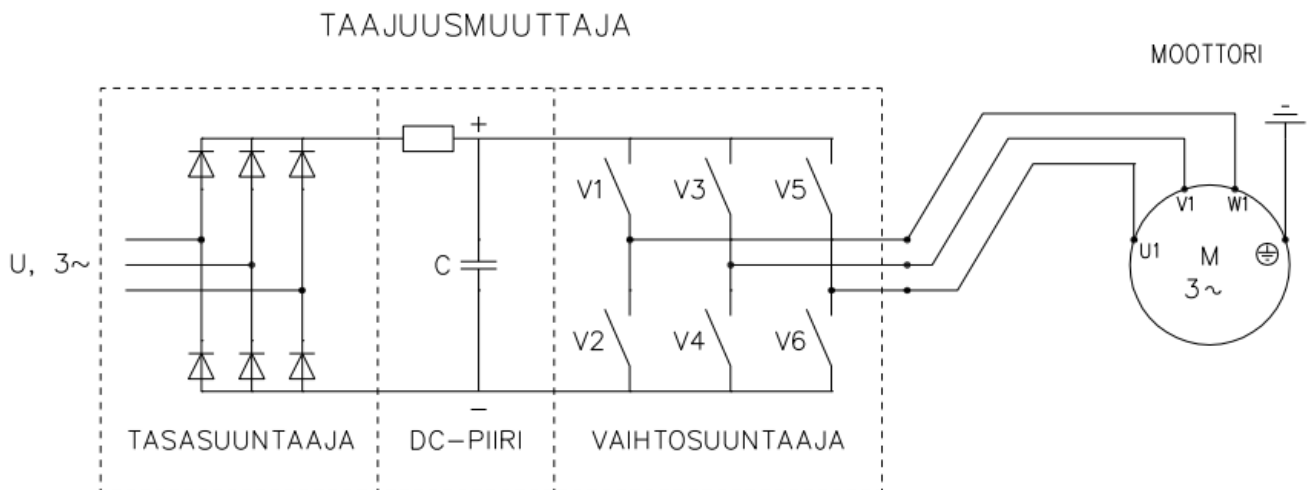
3 TYÖHÖN LIITTYVÄT SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOLAITTEET

3.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaa käytetään, kun oikosulkumoottoria halutaan pyörittää muulla kuin nimellisko- nopeudella. Hartman (2014) kertoo tekstissään, että taajuusmuuttaja muuttaa moottorille syötettävän sähkö- n taajuutta ja jännitettä. Taajuus on suoraan verrannollinen moottorin pyörimis- nopeuteen. Yin (2014) kertoo omassa tekstissään, että jännitteen ja taajuuden suhde on ver- rannollinen magneettikentän voimakkuuteen, kun taas magneettikentän voimakkuus on suo- raan verrannollinen moottorin tuottamaan momenttiin. Liian heikko magneettikenttä aiheuttaa tehottoman moottorin eikä tuota tarpeeksi vääntöä. Liian voimakas magneettikenttä saa moottorin ylikuumentamaan ja lopulta jopa hajoamaan.

Hartman (2014) jakaa tekstissään taajuusmuuttajan rakenteen kolmeen osaan. Kuvassa 1 on havainnollistettu pääkomponentit. Taajuusmuuttajan pääkomponentteja ovat tasasuuntaaja, DC-piiri ja vaihtosuuntaaja. Verkossa oleva sähkö on puhdasta siniaaltoa, mutta taajuus- muuttajasta lähtevä sähkö on kanttimaista aaltoa. Hartman (2014) esittää tekstissään taa- juusmuuttajan eri osien toimintaperiaatteet. Tasasuuntaajassa syötettävä vaihtosähkö tasa- suunnataan tasasähköksi diodien avulla. Tämän jälkeen sähkö ei ole vielä tasaista, minkä ta- kia DC-piiriin on lisätty sähköä tasaava kondensaattori. Vaihtosuuntaaja koostuu transisto- reista, joita ohjaamalla saadaan tuotettua kanttimaista jännitettä. Yhden jakson keskiarvo mu- kailee siniaaltoa. Oikosulkumoottoreille tämä kanttimainen aaltojännite sopii, koska moottorin käämeihin syntyy sinimuotoinen virta.

Kuvassa 1 näkyvät kytkimet V1, V3 ja V5 ohjaavat positiivista tasasähköä, kun taas kytkimet V2, V4 ja V6 ohjaavat negatiivista tasasähköä. Taajuusmuuttajassa nämä kytkimet ovat joko transistoreita tai MOS-transistoreita (MOSFET). Näitä kytkimiä ohjaamalla oikea-aikaisesti ja hallitsemalla kytkimen johtamaa aikaa saadaan tuotettua haluttua jännitettä halutulla taajuu- della. Tätä toimintoa kutsutaan pulssinleveysmodulaatioksi.



Kuva 1. Taajuusmuuttaja jaettuna kolmeen pääosaan (Alapiha, 2023).

Taajuusmuuttajaa voidaan ohjata neljällä eri tavalla. Siemensin (i.a.-g, s. 24–27) pikaohjeesta selviää, että taajuusmuuttajaa voidaan ohjata pelkästään digitaalituloilla. Näin käytössä ovat parametreihin ennalta asetetut vakionopeudet. Ohjaus voidaan toteuttaa myös digitaalituloilla sekä analogiatulolla, jolloin käy/seis -tieto on digitaalinen ja nopeusohje on analoginen. Kolmas vaihtoehto on käyttää taajuusmuuttajaa paikallisesti omalta paneelilta. Neljäs vaihtoehto on ohjata taajuusmuuttajaa kenttäväylän yli. Weber (2022) kertookin, että vuonna 2021 asennettiin 8,5 miljoonaa Profinet-laitetta ja kasvua vuoteen 2020 verrattuna tuli 22 %. Tämä tekee Profinetistä yhden kasvavimmista kenttäväyläteknikoista. Profinetin lisäksi on muitakin kenttäväyläprotokollia. Olson (2019) listaa artikkelissaan muita kenttäväyläprotokollia, esimerkiksi Profibus DB:n, EtherCATin, Modbusin ja EtherNet/IP:n.

3.2 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitavat logiikat eli PLC:t ovat teollisuuden erilaisissa ohjauksissa nykyään peruskomponentteja. Ohjelmoitavia logiikoita löytyy monelta eri valmistajalta. Kuphaldt (2022, s. 767) toteaa kirjassaan ohjelmoitavien logiikoiden olevan yleiseen käyttöön sopivia ohjaimia. Ohjelmoitavuus tekee logiikoista suosittuja, koska loppukäyttäjä voi tehdä ohjelmasta lähes millaisen tahansa. Lisäksi logiikat sopivat lähes kaikkiin käyttökohteisiin. Ohjelmoitavat logiikat ovat myös uudelleen ohjelmoitavia, jolloin käyttökohteen muuttuessa ohjelmaa voidaan helposti muuttaa. Nykyään monet ohjelmoitavat logiikat ovat modulaarisia, jolloin käyttökohteen laajentuessa on helppo kasvattaa I/O-moduulien määrää (mts. 773–774). Yleisiä laitteita, joita kytketään ohjelmoitavien logiikoiden tuloihin, ovat käsikytkimet, prosessikytkimet, anturit,

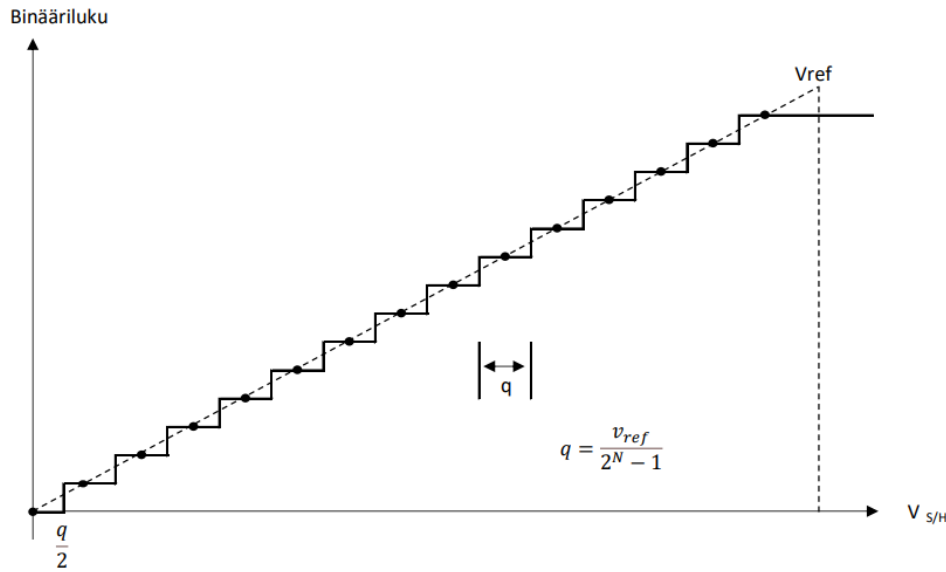
analogiaviestit (0–10 V, 4–20 mA), termistorit ja venymäliuskat (mts. 767–768). Yleiset ohjattavat laitteet, joita kytketään ohjelmoitavien logiikoiden lähtöihin, ovat merkkilamput, solenoidit, releet, kontaktorit ja analogiaviestillä ohjatut toimilaitteet, kuten säätöventtiilit ja taajuusmuuttajat. Nykyiset logiikat vievät vain murto-osan tilaa verrattuna vanhoihin rele-ohjattuihin keskuksiin. Joissain tapauksissa, kun keskuksessa ei ole tarpeeksi tilaa tai kentällä on paljon antureita tai toimilaitteita, on järkevämpää asentaa hajautusasema kentälle. Hajautusasema kytketään kenttäväylällä ohjelmoitavaan logiikkaan, jolloin ohjelma tehdään vain yhteen paikkaan (mts. 778). Hajautusaseman I/O-tiedot saadaan siirrettyä väylän kautta.

3.3 Analogiakortit

Nykyaikaisissa ohjelmoitavissa logiikoissa on tarpeeksi nopeutta ja tehoa käsitellä jatkuvasti muuttuvia arvoja. Kuphaldt (2022, s. 786) kertoo kirjassaan niiden olevan sopivia mittaamaan jatkuvasti muuttuvaa arvoa, prosessoimaan tämän tiedon ja ohjaamaan lähtökortille jatkuvasti muuttuvan arvon. Vaikka puhutaan analogiakorteista, tiedon käsittely hoidetaan digitaalisesti. Jokaisessa analogiatulokortissa signaali joudutaan muuttamaan analogisesta digitaalisiksi AD-muuntimella. Vastaavasti analogialähtökortilla signaali joudutaan muuttamaan digitaaliseen analogiseksi DA-muuntimella.

Bucci (2017, s. 96) mainitseekin yhdeksi tärkeimmäksi asiaksi AD- tai DA-muuntimessa olevan resoluution määrän. Hän (mts. 92) kertoo resoluution eli erottelutarkkuuden määräytyvän bittimäärän mukaan. Muuntimissa on N määrä bittejä, ja muuntimen ”askelien” määrä saadaan selville laskemalla $2^N - 1$. Sijoittamalla muuntimen bittien määrä kirjaimen N kohtaan, saadaan 4-bittisestä muuntimesta 15 askelta (mts. 97).

Kuvassa 2 on havainnollistettu 4-bittisen AD-muuntimen askeleet. Siemensin AQ 4×U/I ST -laitemanuaalista (i.a.-c, s. 12) selviää analogialähtökortin bittimäärät eri mittausalueille. 4–20 mA virtaviestin tarkkuus on 14-bittiä, ja tämä tekee askelien määräksi 16383. Vastaavasti Siemensin AI 4xI 2-/4-wire ST -laitemanuaalista (i.a.-a, s. 16) selviää analogiatulokortin 4–20 mA virtaviestin tarkkuudeksi 15-bittiä, ja tällöin askeleita on 32767. Bucci (2017, s. 97) kertoo kuvassa 2 esittelystä V_{ref} , joka on analogiareferenssijännite. AD- tai DA-muuntimille tämä referenssijännite pitää johtaa. Vähemmän herkissä sovelluksissa muuntimen V_{ref} -nastaaan kytketään jopa suoraan jännite sähkölähteestä. Tarkoissa sovelluksissa tämä pitää toteuttaa vaakaalla, muuttumattomalla ja tarkalla arvolla.



Kuva 2. Erään 4-biittisen AD-muuntimen askeleet (Alapiha, 2023).

Bucci (2017, s. 97) kertoo toiseksi tärkeäksi valinnaksi muuntimen kynnyksen asetuskohdan. Kynnyksellä tarkoitetaan kohtaa, jossa askeleet muuttavat tilaa. Kuvassa 2 näemme ensimmäisen kynnyksen olevan askeleen puolivälissä. Askeleen pituus q saadaan laskettua kaavalla (mts. 97):

$$q = \frac{v_{ref}}{2^N - 1} \quad (1)$$

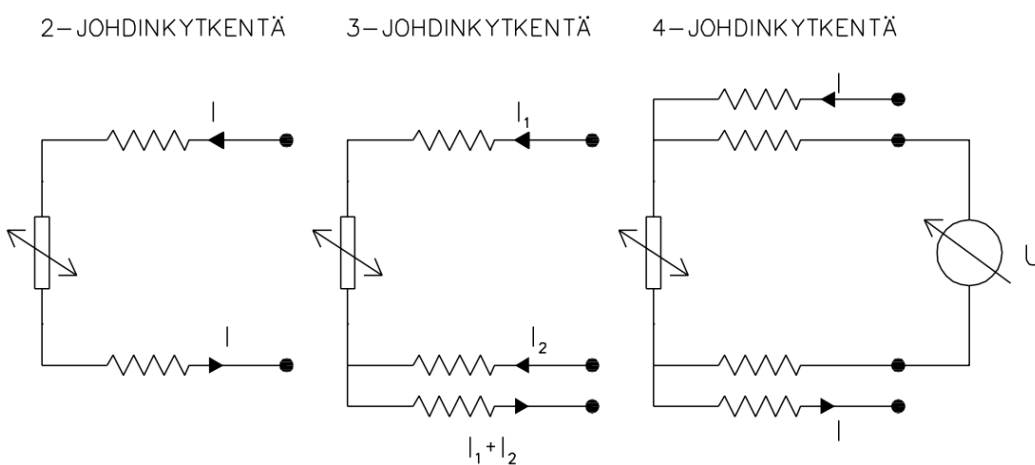
Tällä tavalla kvantisointivirhe aina viimeiseen digitaaliseen numeroon asti on vähintään puolet askeleen pituudesta, kun $V_{S/H}$ alkaa nolasta ja loppuu V_{ref} vähennettynä puolet askeleesta.

3.3.1 Analogiatulokortti

Analogiatuloihin kytketään yleensä vastusantureita. Niitä voivat olla esimerkiksi lämpötila- tai paineanturit. Krohne inorin (i.a.) mukaan anturin kytkentä voidaan toteuttaa kahdella, kolmella tai neljällä johtimella. Virtaa mitattaessa resistanssilla on merkitystä mittaustulokseen. Tästä syystä johtimien resistanssi vaikuttaa joissain mittauksissa oleellisesti mittaustarkkuuteen.

Kuvassa 3 on esitelty kolme eri kytkentävaihtoehtoa. Kaksijohdinkytkentä on kaikista epätarkin, koska johtimien vastus ja vastusanturi ovat sarjassa. Tällöin johtimista ja niiden liitännäkohdista aiheutuvat muutokset vaikuttavat suoraan mittaustulokseen. Epätarkkuuden vuoksi tämä kytkentä on vain harvoin käytössä. Kolmijohdinkytkentä on yleisin kytkentätapa. Yleisesti tämä tapa poistaa mittaajajohtimien resistanssimuutoksista aiheutuvat epätarkkuudet. Tämä onnistuu kuitenkin vain, jos muutokset ovat samat kaikissa kolmessa johtimessa. Nelijohdinkytkentä on kaikista tarkin vaihtoehto. Tällöin kahta johdinta pitkin johdetaan vakioarvoinen mittausvirta ja jäljelle jääneistä kahdesta johtimesta mitataan jännitehäviö. Tämä menetelmä poistaa kaiken johtimien resistanssimuutokset, vaikka ne eriäisivät toisistaan.

Siemensin laitemanuaalin (i.a.-a, s. 15) mukaan nelikanavaisen analogiatulokorttiin (virta) on mahdollista kytkeä suoraan kaksi- tai nelijohdinkytkentänä. Kolmijohdinkytkentä ei ole mahdollinen, vaan tällöin on käytettävä mittamuunninta. Krohne inorin (i.a.) mukaan muuntimia valmistetaan kaksi- tai nelijohtimisina. Näitä ei saa sekoittaa kaksi-, kolmi- tai nelijohdinkytkentöihin.

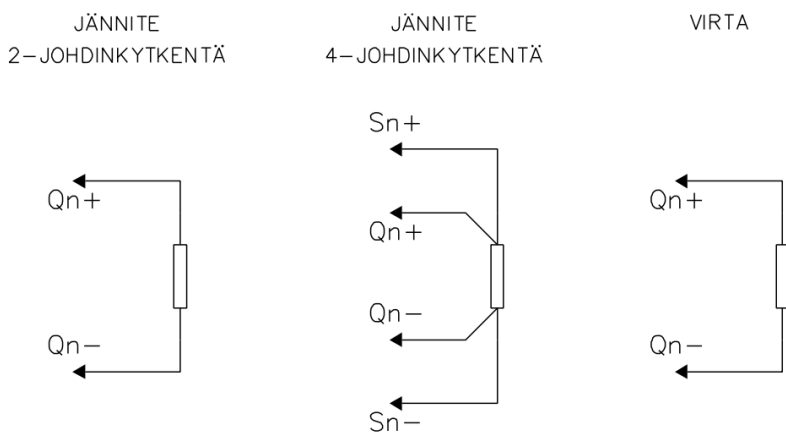


Kuva 3. Vastusanturien kytkentämahdollisuudet (Alapiha, 2023).

Siemensillä on analogiatulokortti AI 4xRTD/TC 2-/3-/4-wire HF, johon voi kytkeä suoraan kaksi-, kolme- tai nelijohdinkytkennällä vastuslämpötila-anturin tai erityyppisiä termopareja. Siemensin laitemanuaalista (i.a.-b, s. 16) selviää, että moduuliin voi kytkeä kuparista, platinasta tai nikkelistä valmistetun RTD-anturin. Termopareista moduuliin voi kytkeä kaikki yleisesti käytössä olevat tyypit. Moduulin konfigurointi on helppoa, kunhan valitaan mittaustapa, mittausalue ja lämpötilayksikkö (Siemens, i.a.-b, s. 35). Mittaustulos saadaan jopa kolmen desimaalin tarkkuudella, joko celsius- tai fahrenheitasteina.

3.3.2 Analogialähtökortti

Analogialähtökorteilla ohjataan toimilaitteita, jotka Siemens (i.a.-c, s. 10) AQ 4×U/I ST -laitemanuaalin mukaan voivat toimia joko virta- tai jänniteviestillä. Jänniteviestin voi kytkeä joko kaksi- tai nelijohdinkytkentään, mutta virtaviesti kytketään aina kahdella johtimella. Kuvassa 4 on esitelty liittimet, joihin analogialähtökortilla johtimet kytketään jännite- tai virtaviestillä. Samassa kuvassa Qn+ tarkoittaa analogista virta- tai jännitelähtöä (positiivinen) ja Qn- (negatiivinen) lähtöä. Sn+ tarkoittaa anturilinjan positiivista puolta ja Sn- anturilinjan negatiivista puolta. N-kirjain ilmaisee käyttöön tulevan kanavan. Siemensin nelikanavaisessa AQ 4×U/I ST -moduulissa kanavat ovat nolasta kolmeen.



Kuva 4. Simatic AQ 4×U/I ST -analogialähtömoduulin johdotusvaihtoehdot (Alapiha, 2023).

3.4 Turvatulot ja turvalähdöt

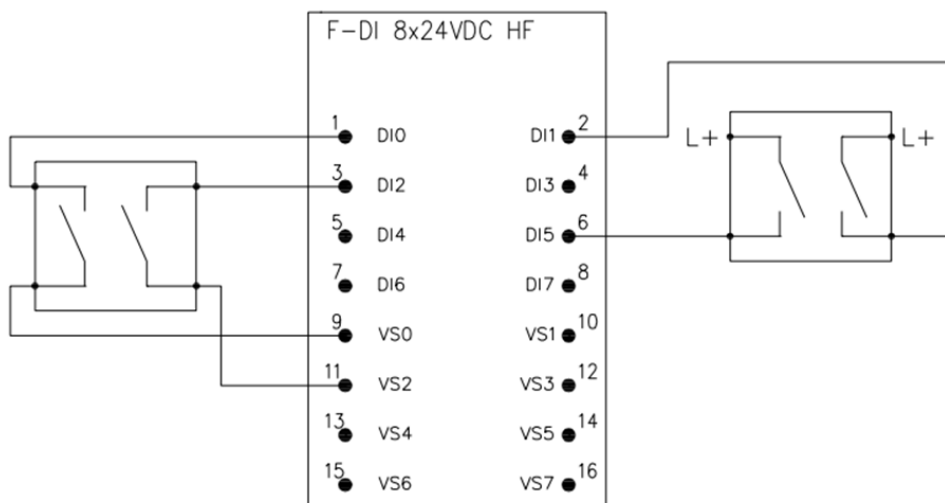
Siemensin laitemanuaalista (i.a.-d, s. 14) selviää, että kyseiseen moduuliin voidaan kytkeä kahdeksan turvatuloa alemman turvallisuustoiminnan luokan SIL3/PLd -tasolla tai neljä turvatuloa korkeammalla SIL3/PLe -turvallisuustoiminnan luokalla vaadittuihin kohteisiin. Pilzin (i.a.) mukaan ohjausjärjestelmältä vaadittu suoritustaso saadaan arvioimalla riski ja laadittava ohjausjärjestelmästä johtuva riskien pienentäminen. Standardista IEC 62061 saadaan selville turvallisuusluokkaan vaikuttavat parametrit. Riskit arvioidaan vamman vakavuuden (S), altistumistiheyden ja keston (F), todennäköisyyden (W) ja vahingon välttämisen tai rajoittamisen luokituksen mukaan (P). Tällöin jokaiselle luokalle annetaan luku, jonka perusteella taulukosta 1 saadaan määriteltyä turvallisuustoiminnan luokka. Vakavuuden perusteella valitaan

taulukosta rivi, jota tarkastellaan, ja tämän jälkeen muiden luokkien yhteispisteet määrittävät sarakkeen, josta saadaan käyttöön tuleva turvallisuustoiminnon luokka.

Taulukko 1. SIL- tai PLr-luokan määrittäminen turvatoiminnolle matriisin avulla (Pilz, i.a.).

| Vaikutukset | Vakavuus | Luokka $K = F + W + P$ | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------|---|---------------|---|-----------------------|---|----------------------|----|-----------------------|----|---------------|----|----|--|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| Kuolema, silmän tai käden menetys | 4 | SIL 1 PLrb PLrc | | SIL 2 PLrd | | SIL 2 PL-rd | | SIL 3 PL re | | SIL 3 | | SIL 3 PLre | | | |
| Pysyvä, sormien menetys | 3 | | | MT PLra | | SIL 1 PL rb PLrc | | SIL 2 PLrd | | SIL 3 PLre | | | | | |
| Peruuntuva, lääketieteellinen hoito | 2 | Ei SL (tai PL) vaatimusta | | | | MT PLra | | SIL 1 PLrb PLrc | | SIL 2 PLrd | | | | | |
| Peruuntuva, ensiapu | 1 | MT: Muu toimenpide | | | | | | MT PL ra | | SIL 1 PLrb PL rc | | | | | |

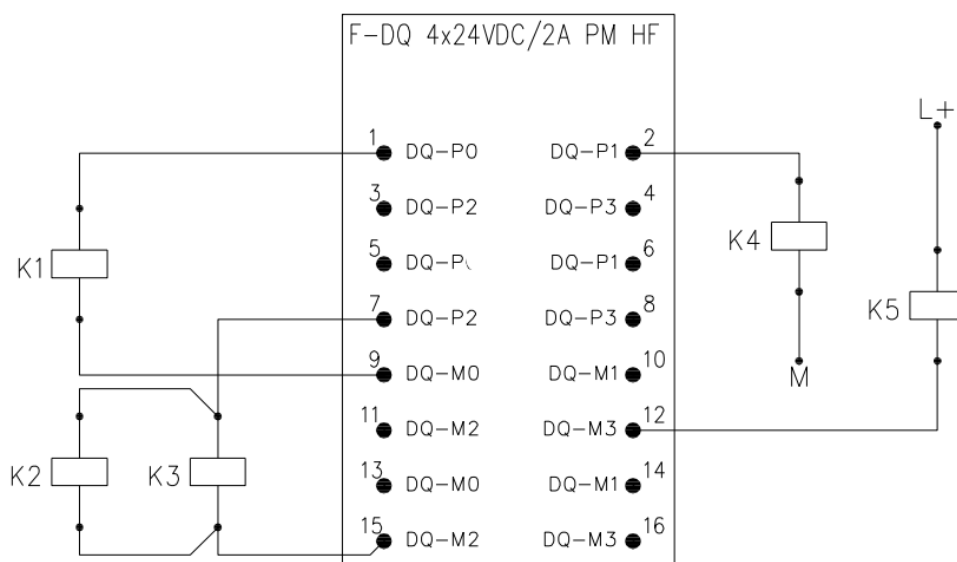
On muistettava, että komponenttien turvallisuustoiminnon luokan on vastattava taulukosta 1 määriteltyä luokkaa. Siemensin laitemanuaalista (i.a.-d, s. 39) saadaan selville signaalin kytkeminen turvatulokorttiin. Kuvassa 5 on kytketty kahdennettu signaali kanavaan nolla (DI0) ja kanavaan kaksi (DI2) käyttäen moduulin sisäistä kanavakohtaista jännitesyöttöä (VS0 ja VS2). Kanavaan yksi (DI1) ja kanavaan viisi (DI5) on kytketty kahdennettu signaali ulkoista jännitelähdettä L+ hyväksi käyttäen, kuten kuvasta 5 saa selville.



Kuva 5. Turvallisuustoiminnon SIL3- tai PLe-luokkaisen signaalin kytkeminen Simatic F-DI 8x24VDC HF -turvatulomoduuliin (Alapiha, 2023).

Turvalähtökortti Simatic ET 200SP F-DQ 4x24VDC/2A PM HF soveltuu Siemensin laite-manuaalin (i.a.-e, s. 10) mukaan solenoidien, tasavirtakontaktorien ja merkkilamppujen ohjaamiseen. Kortin lähtökohtainen virrankesto on kaksi ampeeria, jolloin se riittää edellä mainittujen toimintojen ohjaamiseen hyvin. Solenoidit voivat olla esimerkiksi suojaluukkujen lukituksia, jolloin koneen ollessa turvaton käyttäjälle luukut ovat lukossa. Kuvassa 6 on esitelty kolme erilaista kuorman kytkentämahdollisuutta. Turvalähtöön nolla on kytketty yksi kontaktori (K1). Kontaktori kytketään DQ-P0 ja DQ-M0 välille (Siemens, i.a.-c, s. 29). Toinen vaihtoehto on kytkeä kaksi kontaktoria eri turvalähtöihin käyttäen ulkoista turvamoduulin kanssa samassa referenssissä olevaa jännitesyöttöä (Siemens, i.a.-c, s. 30).

Kuvassa 6 kontaktori K4 on kytketty turvalähtömoduulin lähtökanavaan yksi positiiviseen jänniteliitimeen (DQ-P1) ja negatiivinen jännite johdetaan ulkoiselta jännitelähteeltä. Vastaavasti kontaktori K5 on kytketty turvalähtömoduulin lähtökanavaan kolme negatiiviseen jänniteliitimeen (DQ-P3) ja positiivinen jännite johdetaan ulkoiselta jännitelähteeltä. Edellä kuvatulla kytkentätavalla johdin on poikki ja ylikuormavirheitä tarkistetaan vain DG-Px-liitimeen kytketystä johtimesta. Siemensin laitemanuaalista (i.a.-c, s. 31) selviää kolmas ja heidän suosittelemansa kytkentätyyli. Kuvassa 6 olevat K2 ja K3 ovat kytkettyinä suositellulla tavalla. Kaksi kontaktoria kytketään rinnan yhden turvalähdön positiiviseen (DQ-P2) ja negatiiviseen (DQ-M2) jännitelähteen välille samalla periaatteella kuin kontaktori K1.



Kuva 6. Simatic-turvalähtömoduulin F-DQ 4x24VDC/2A PM HF kolme kuormankytkentämahdollisuutta (Alapiha, 2023).

4 SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOSUUNNITTELU

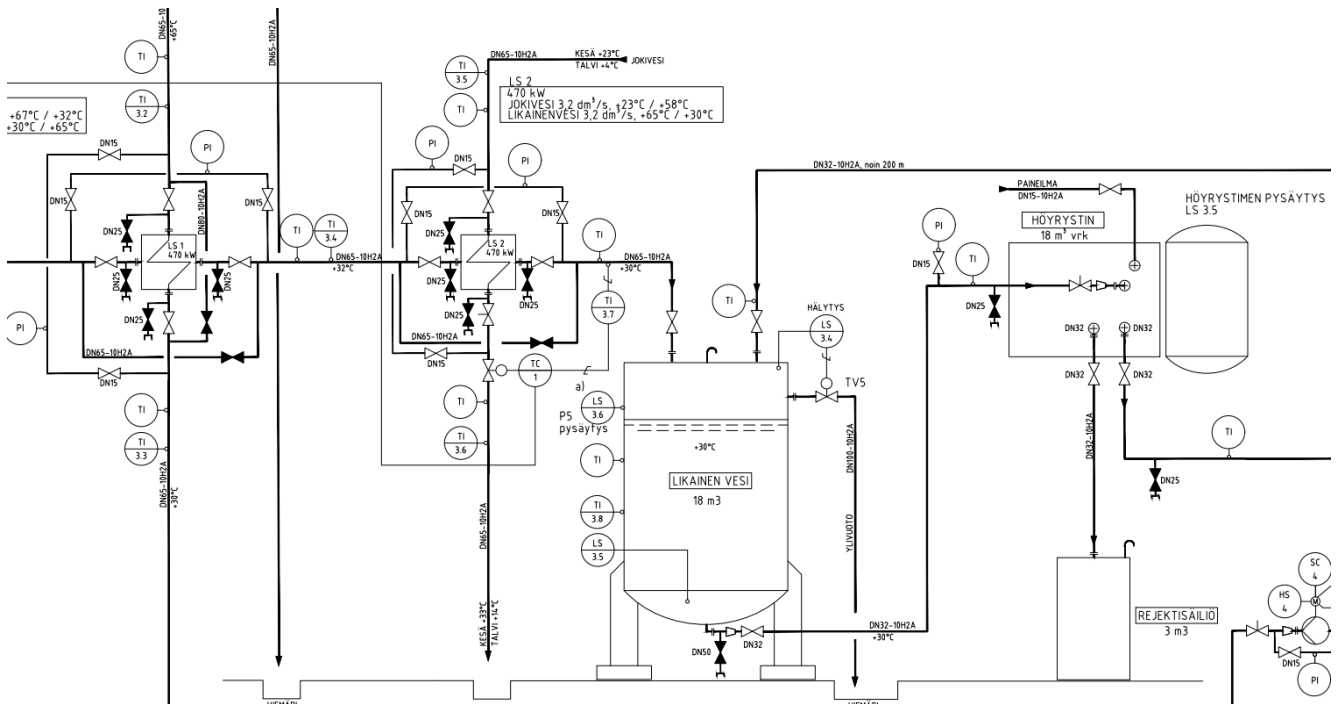
4.1 Opinnäytetyön aloitus

Esisuunnitteluun on tärkeää saada hyvät lähtötiedot. Lähtötiedot antavat pohjan koko projektin aikataululle sekä kustannuksille. Hyvillä lähtötiedoilla suunnittelu on sujuvampaa, eikä suuria muutoksia projektin aikana tarvitse tehdä. Projektin aikana komponenttipula vaikeuttaa sähkösuunnittelua entisestään, eivätkä komponenttien vaihdot välttämättä onnistu nopealla aikataululla. Kesken projektin voidaan huomata, että tarvitaankin lisää mittauksia tai joidenkin jo tilattujen komponenttien toimitus viivästyy ja tästä syystä joudutaan vaihtamaan komponentteja esisuunnittelusta poikkeaviksi. Näistä erinäisistä syistä projektin aikataulu venyy helposti ja suunnittelijalle aiheutuu lisää työtä.

4.2 Projektin aloitus

Cupori Oy toimitti prosessikuvauksen insinööritoimisto Etteplanille. Siellä suunniteltiin PI-kaavio ja säätökaavio kuvauksen mukaan. Kaavioiden liitteenä tuli ehdotelma sopivista pumpuista tehoineen. Kaaviosta saatiin selville prosessissa tarvittavat mittaukset ja ohjaukset. PI-kaavio ei ota kantaa, kenen valmistamia toimilaitteet ovat tai minkä tyyppisiä antureita prosessissa tulee käyttää. Näiden komponenttien valinnat tapahtuivat yhteistyössä asiakkaan kanssa.

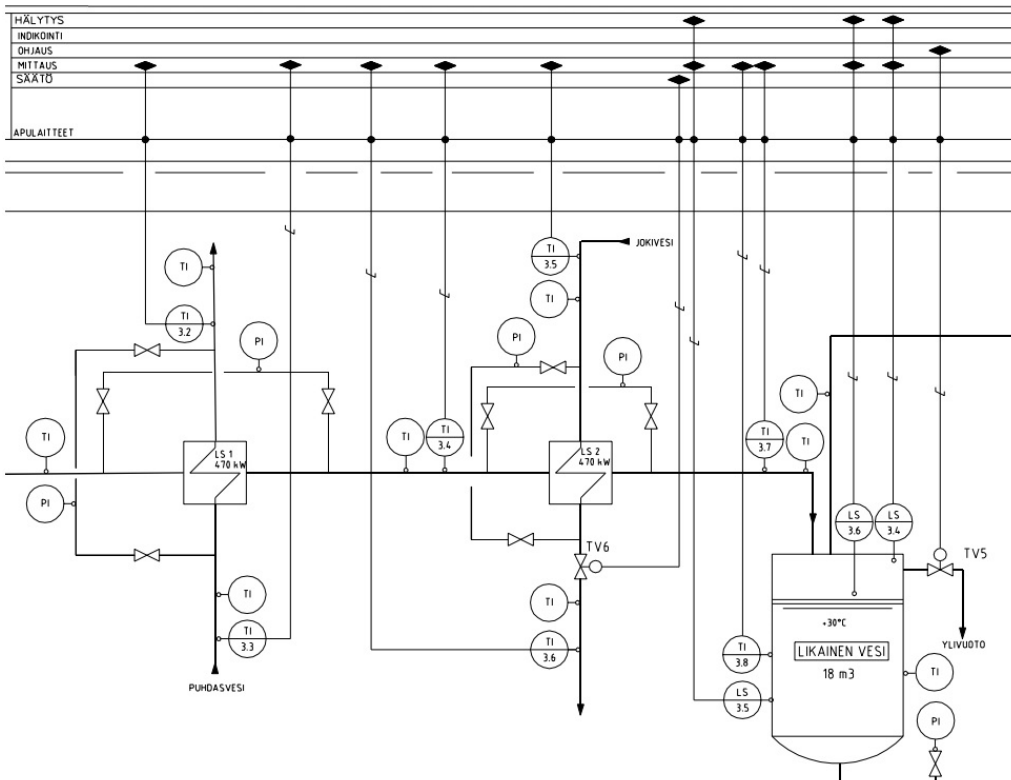
Asiakas teki lopullisen ratkaisun tilattavista komponenteista. Kaikkien kenttälaitteiden toimitusta ei ollut vielä vahvistettu sähkösuunnittelun aloitusvaiheessa, jolloin suunnitteluvaiheessa piti jättää varaa mahdollisille muutoksille. Näiden esitietojen pohjalta päästiin tekemään sähkö- ja ohjauskeskuksen komponenttivalinnat. Komponenttien valintaan vaikutti yrityksen pitkä kokemus sekä hyväksi ja luotettavaksi havaitun komponenttien valmistajan Siemensin komponentit. Kuvassa 7 on vedenpuhdistuslaitteiston alkuperäinen PI-kaavio, jonka tietojen perusteella suunnitelmia alettiin tehdä.



Kuva 7. Vedenpuhdistuslaitteiston PI-kaavio (Alapiha, 2023).

4.3 Ohjaukseenkomponenttien valinta

Ohjaukseenkomponenttien valinta tehtiin pumppujen tehojen perusteella. Kun pumppujen tehot tiedettiin, voitiin taajuusmuuttajat mitoittaa oikean kokoisiksi. Etukojeet mitoitettiin valittujen taajuusmuuttajien perusteella. Taajuusmuuttajan teknisestä dokumentaatiosta löytyy taulukko, josta selviää suositetut etukojeet. Siemensin taulukosta (i.a.-f, s. 3–4) selviää, että Siemensin G120C 2,2 kW -taajuusmuuttajalle suositellaan 10 A käyttöluokan gG omaavaa kahvasulaketta tai 7–10 A virralle asetettavaa moottorinsuojakytkintä.



Kuva 8. Osa vedenpuhdistuslaitteiston säätökaaviota (Alapiha, 2023).

Säätökaaviosta (kuva 8) saatiin selville kentän puolelle tulevat mittaus- ja ohjauspisteet. Mittauspisteitä olivat putkistojen ja säiliöiden vesien lämpötilan mittaukset, säiliöiden pinnankorkeuksien mittaukset, sulkuventtiilien tilatiedot ja säätöventtiilin ohjaus- sekä tilatiedot. Kentällä olevat ohjauspisteet olivat neljä kappaletta auki tai kiinni olevia sulkuventtiilejä ja säätöventtiili.

Kentällä olevien erinäisten pisteiden lisäksi tarvittiin keskuksien sisäisiä tilatietoja ja ohjauksia. Höyrystintä varten tarvittiin tila- ja ohjaustietoja eli niin sanottuja kättelytietoja. Nämä tiedot eivät selviä PI-kaaviosta, vaan höyrystimen omista sähkökuvista. Näiden tietojen perusteella valittiin riittävä määrä digitaalituloja ja -lähtöjä sekä analogiatuloja ja -lähtöjä.

Logiikan korttien lisäksi piti valita oikeanlaiset pohjaosat, joilla kortit saatiin yhdistettyä logiikkaan. Pohjaosaan kytketään johdotukset eri toiminnoilta, jolloin kortin vikaantuessa ei johtimia tarvitse irrottaa ja näin kortin vaihto on nopeaa. Pohjaosia on erityyppisiä, mutta laite-manuaalista löytyy sopiva tyyppi jokaiselle kortille. Käyttöön tulleille digitaalikorteille sopii tyyppi A0 pohjaosa. Näitä pohjaosia on neljää eri mallia, kaksi pitkää ja kaksi lyhyttä versiota. Molemmista versioista löytyy vaaleansävyinen pohjaosa, johonka tuodaan uusi jännitesyöttö,

sekä tummansävyinen pohjaosa, joka jatkaa vasemmanpuoleisen pohjaosan jännitesyöttöä. A0-tyyppisten pohjaosien suurin sallittu virrankesto on 10 A. Erityisesti digitaalilähtökorteissa tämä pitää ottaa huomioon, ettei virrankesto ylitä. 16-lähtöisessä kortissa tämä tarkoittaa 8 A virrankulkua pahimmassa mahdollisessa tapauksessa, jolloin joka lähdössä on 0,5 A suurin sallittu lähtökohtainen kuorma. Käytännössä näin harvoin tapahtuu.

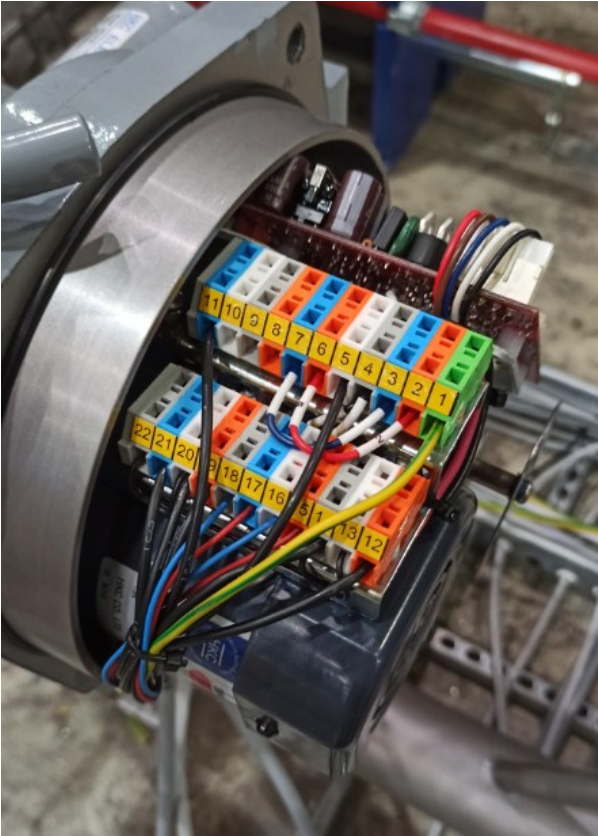
Lämpötilanmittauksia varten valittiin logiikkaan kortit, joihin voidaan kytkeä lämpötilanmittausta varten valitut Pt100-platinamittausvastukset suoraan ilman erillistä lähetintä. Kyseisen kortin tyyppi on Simatic ET 200SP AI 4xRTD/TC. Kyseiseen korttiin saa kytkettyä neljä kappaletta erityyppistä lämpötilan mittausvastuselementtiä. Höyrystintä varten tarvittiin likaisen vedensäiliöstä reaaliaikainen nesteen määrä. Sama tieto haluttiin puhtaanvedensäiliöstä. Reaaliaikaiseen pinnanmittaukseen pelkät säiliön ylä- ja alaraja eivät riitä, jolloin säiliöiden pinnanmittaukset toteutettiin Sickin kaksijohdinpaineantureilla. Paineantureita varten valittiin nelikanavainen kaksi- tai nelijohdinkytkenän mahdollistava analogiatulokortti tyyppiltään Simatic ET 200SP AI 4xI 2-/4-wire ST. Samaan korttiin kytkettiin säätöventtiilin asentotilatieto. Liitteestä 1 nähdään, miten mittaukset on kytketty kyseiselle kortille. Edellä mainittujen analogiamittauksien signaalit oli komponenttien tilausvaiheessa valittu 4–20 mA virtaviestillä. Säätöventtiilin asentotilaohjetta varten tarvittiin analogialähtökortin. Kortiksi valikoitui nelikanavainen jännite- tai virtaohjauksen mahdollistava analogialähtökortti tyyppiltään Simatic ET 200SP AQ 4xU/I ST. Säätöventtiilin asentoa ohjattiin myös 4–20 mA virtaviestillä.

Kuvassa 9 esitetyt sulkuventtiilit toimivat 230 VAC jännitteellä, ja niiden ohjausta varten otettiin käyttöön välireleet. Välireleitä ohjataan suoraan logiikan digitaalilähtökortilla, mutta releiden koskettimista ohjataan sulkuventtiilille 230 VAC jännite joko kiinni- tai auki-liittimeen. Välireleiden käytöllä pystyttiin varautumaan erityyppisiin sulkuventtiileihin, koska suunnittelun alkuvaiheessa ei oltu vielä varmoja, minkä tyyppisiä venttiilejä tulee käyttöön. Esimerkiksi magneettiventtiilien virrantarve saattaa olla moninkertainen verrattuna välireleen kelan ottamaan virtaan. Tässä piti huomioida digitaalilähtökorttien kanavakohtainen suurin sallittu virrankesto. Välirelettä käytettäessä tästä ei tarvinnut olla huolissaan, koska välireleiden kelan ottama virta on noin 20 mA. Sulkuventtiileistä saatiin kosketintietoina venttiilin kiinni ja auki -tilat, ja kyseisiä tilatietoja hyödynnettiin antamaan venttiilille häiriötila, joka ilmoitettiin paneelilla.



Kuva 9. HKC HQ-015 -sulkuventtiilit TV1, TV2 ja TV3 (Alapiha, 2022).

Säätöventtiili on ulkoisesti hyvin samanlainen kuin käyttöön tulleet sulkuventtiilit. Ero löytyy kytkentäkotelosta ja venttiilin toiminnasta. Säätöventtiilin pystyy ohjaamaan mihinkä asentoon tahansa kiinni ja auki -tilan lisäksi. Säätöventtiilin kotelossa on viisi kytkentäpistettä enemmän ja elektroninen kortti hoitamassa analogiaohjetietoja. Kuvassa 10 on otettu säätöventtiilin suojakotelo irti, joten kytkentäpisteet ovat hyvin nähtävillä.



Kuva 10. Säätoventtiilin kytkentäpisteet (Alapiha, 2022).

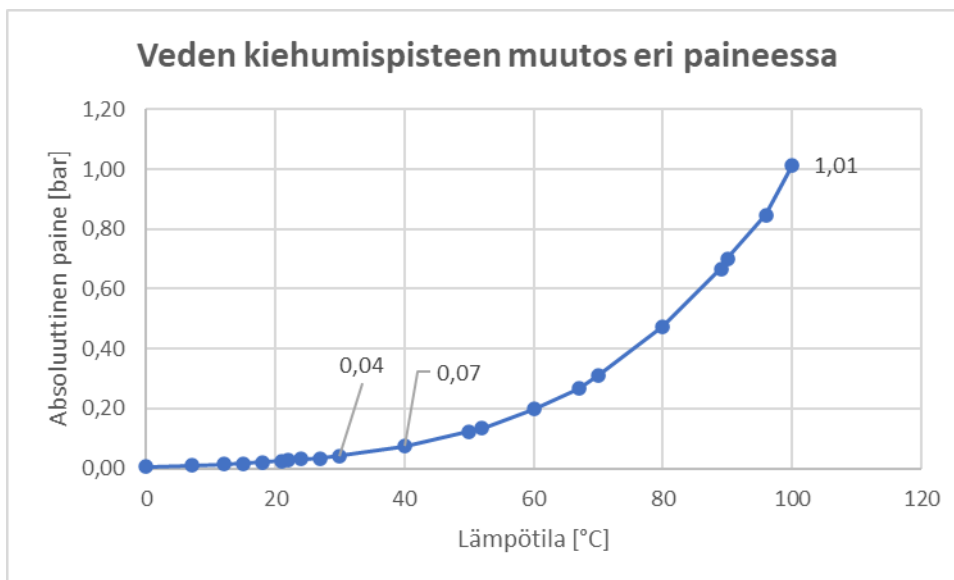
4.4 ECO VS-HP -tyhjiöhaidutin

Valmistettaessa tasalaatuista ja kestävästä kuparista vesiputkea tulee putken sisäpinnan olla oksidoitunut. Jaakkola (2019) kirjoittaa tekstissään, että kuparin pitää altistua ilmassa olevalle hapelle, jolloin suojaava oksidikerros pääsee muodostumaan putken pinnalle. Valmistusvaiheessa putken pinnalle saattaa jäädä epäpuhtauksia, minkä vuoksi putket pestään. Pesuvaiheessa kuparia irtoaa pesuveteen ja likaantunut pesuvesi johdetaan viemäriin. Tähän ongelmaan lähdettiin etsimään ratkaisua.

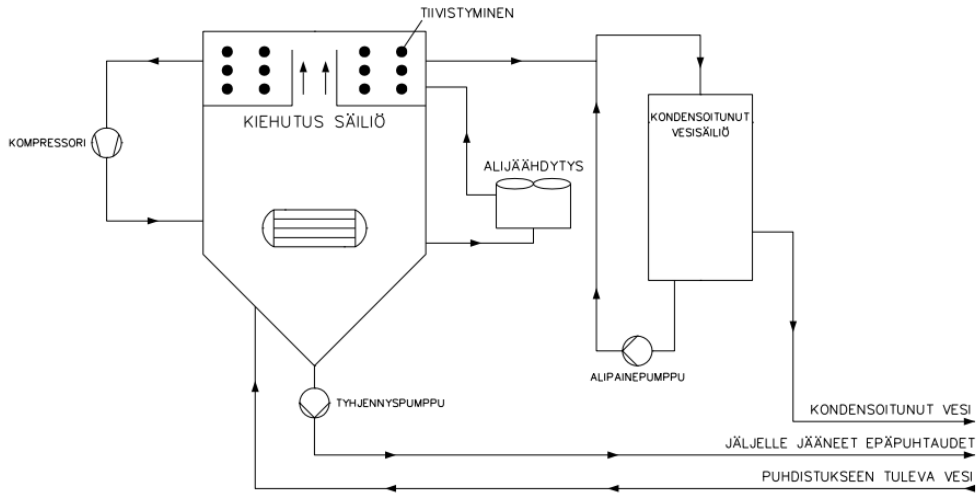
Yhdeksi ratkaisuksi löydettiin pesuvien höyryttäminen. Tällöin pesuvettä käytännössä tislataan, vesi höyrytyy ja kupari ja muut epäpuhtaudet jäävät jäljelle. Höyrystynyt vesi kerätään talteen. Vettä voidaan käyttää pesuvetenä uudestaan tai johtaa viemäriin. Jäljellä jäävä vesi alittaa viemäriin laskettavien haitta-aineiden maksimipitoisuudet. Jäljelle jäävät haitta-aineet johdetaan erilliseen säiliöön, mistä ne ovat helppo jatkokäsitellä. Vogelpohlin (2015, s. 1) mu-

kaan tislaukseen perustuu termodynaamiseen ominaisuuteen, joka on usealla nestemäisellä aineella. Tislauksessa kiehuva neste muuttuu höyryksi ja kiinteät aineet jäävät jäljelle. Näin eri aineet voidaan erotella toisistaan.

Prosessiveden puhdistusta varten valittiin lämpöpumpputekniikalla toimiva höyrystin, Eco-Technon valmistama VS-HP -tyhjiöhaihdutin. Yrityksellä on pitkä historia höyrystimien suunnittelusta, ja Eco-Techno on valmistanut matalalämpötilahöyrystimiä jo vuodesta 1984 (Eco-Techno, i.a.). Tässä haihduttimessa veden höyrystyminen on mahdollista noin 35–40 °C:n lämpötilassa. Kuviosta 1 voimme nähdä, että absoluuttinen paine on noin 1 baria, on veden kiehumispiste noin 100 °C. Tyhjiöhaihdutin kiehua vettä paljon alhaisemmassa lämpötilassa. Kuviosta 1 saamme absoluuttiseksi paineeksi noin 0,04–0,07 bar, jolloin tyhjiöhaihduttimessa vesi kiehuu. Tämä onnistuu korkean alipaineen ansiosta. Kuvassa 11 on kuvattuna höyrystimen toimintaperiaatetta. Likainen vesi pumpataan haihdutuskattilaan. Haihdutuskattilassa on vaipallinen lämmönvaihdin, jolla saadaan veden lämpötila nousemaan 35–40 °C asteeseen. Suuren alipaineen takia vesi alkaa höyrystymään ja kondensointi tapahtuu haihdutuskattilan yläosassa. Kuvassa 12 on nähtävissä kuva ECO VS-HP -tyhjiöhaihduttimesta.



Kuvio 1. Absoluuttisen paineen (bar) vaikutus veden kiehumispisteeseen (°C) (soveltaen My Engineering Tools, i.a.).



Kuva 11. ECO VS-HP -tyhjiöhaihduttimen periaatekuva (Alapiha, 2023).



Kuva 12. ECO VS-HP -tyhjiöhaihdutin (Alapiha, 2022).

5 SÄHKÖKUVIEN SUUNNITTELUVAIHEET

5.1 Piirikaavion rakenne

Sähkökuvien suunnittelu aloitettiin syöttökaaviosta. Kaaviosta selviää, miltä keskukselta tulee sähkönsyöttö ja keskuksen pääkytkin. Monet piirikaaviot suunnitellaan samalla tyyllillä, mutta se ei ole ainut vaihtoehto. Kuvia voi suunnitella keskuskaavion perusteella, jolloin keskuskaaviossa oleva ensimmäinen laite suunnitellaan ensimmäisenä ja niin edelleen. Tyylejä tai tapoja on useita, mutta asiakkaan toive tai yrityksen käyttämä tapa on se, miten kuvat suunnitellaan. Ensimmäiselle sivulle voidaan laittaa muutakin tietoa, mutta tässä projektissa ei siihen ollut aihetta.

Tästä eteenpäin jatkettiin moottorilähtöjen suunnittelulla. Ajatuksena tässä on laittaa piirikaavion alkuun puhdistamon käyttöön tulevien laitteiden isoimmat jännitesyötöt. Mitä pidemmälle piirikaavioita suunnitellaan, sitä matalammat jännitteet ovat käytössä. Tässä projektissa pumppujen jännitesyötöt olivat 400 VAC, jolloin ne suunniteltiin piirikaavion alussa. Liitteessä 2 on nähtävillä CAD-kuva moottorilähdöstä.

Moottorilähtöjen jälkeen suunniteltiin 230 VAC jännitejako. Tämä vaihe sisälsi keskusvalaisin- ja -pistorasiayhdistelmän, sähkötoimisten venttiilien, virtalähteen ja keskuspuhaltimen sähkönsyötöt. Tässä projektissa ei ollut muita pienjännitteellä toimivia laitteita, joten tästä siirryttiin virtalähteen tuottamaan 24 voltin tasajännitteen jännitejakoon. Tästä osasta selviää, mikä sulake suojaa mitään pienisjännitteellä toimivaa laitetta. Kunnossapidon kannalta on hyvä suunnitella piirikaaviot niin, että niitä on helppo lukea ja asiat löytyvät nopeasti.

Pienisjännitteen jännitejaon jälkeen suunniteltiin logiikan jännitejako. Tästä kohtaa saadaan helposti selville käytössä oleva PLC, sille määritelty IP-osoite, lisäkorttien tyypit ja logiikan käyttämät osoitteet. Lisäksi selviää, miltä sivulta löytyy tarkemmat kytkennät jokaiselle kortille. Käyttöön tuleva ihmisen ja koneen välinen rajapinta eli ohjauspaneeli suunniteltiin piirikaaviossa logiikan jälkeiselle sivulle. Siitä selviää (liite 3) ohjauspaneelille tulevat kaapelit ja paneelin IP-osoite.

Loput sivut käsittelevät logiikalle kytkettäviä tuloja ja lähtöjä. Logiikan turvatulot ja -lähdöt -kohdassa on suunniteltu höyrystimen turvapiiriin liittäminen pesuveden puhdistusjärjestelmään. Höyrystin on täysin itsenäinen laite, jota ohjataan pesuveden puhdistusjärjestelmästä.

Höyrystimeltä saadaan tilatietoja, ja sen toimintaa ohjataan potentiaalivapaita koskettimia hyväksi käyttäen. Eri keskuksien virtalähteet ovat eri potentiaalissa, jolloin esimerkiksi suoraan logiikan tulokorttiin ei voi tuoda eri potentiaalinen omaavaa 24 VDC-jännitettä.

5.2 Moottorilähdöt

Moottorilähtöjä alettiin suunnitella pumppujen oikosulkumoottorien tehojen perusteella. Käyttöön tulevat pumput olivat tiedossa etukäteen, jolloin mitään laskentaa ei tarvinnut suorittaa pumppujen kokoon liittyen. Taajuusmuuttajat valittiin suoraan pumppujen oikosulkumoottorien tehojen perusteella.

Piirikaavion moottorilähtösivusta saadaan selville monia oleellisia tietoja. Tässä kuvan 14 esimerkissä on esitelty mielestäni hyvin tyypillinen taajuusmuuttajaohjattu moottorilähtö. Kuvasta selviää sulakkeen, taajuusmuuttajan, turvakytkimen, moottorin ja kaapelien tunnukset ja osa komponenttien tiedoista nopeasti ja selkeästi. Vikatilanteessa näistä kaikista saattaa olla hyötyä. Taajuusmuuttajan makroja on monenlaisia ja kaikissa niissä ei esitellä jokaista liitintä, mutta jatkoa ajatellen olisi hyvä, jos näin tehtäisiin. Tällöin sovelluksen laajentuessa näkisi jo pelkistä piirikaavioista, mitä eri mahdollisuuksia siinä on.

Väylät ovat vähentäneet huomattavasti johdotuksia taajuusmuuttajiin, ja tässä esimerkissä on käytössä Profinet-väylä. Väylän kautta saadaan annettua taajuusmuuttajalle esimerkiksi nopeusohje ja pyörimissuunta. Vastaavasti väylän yli saadaan haettua häiriöt, käyntitila, moottorin ottama virta ja monia muita tietoja. Vastaavasti, jos väylää ei ole käytettävissä, kaikki ohjaukset kytketään suoraan taajuusmuuttajan digitaalisiin tai analogisiin tuloihin tai lähtöihin. Tässä kohteessa tuodaan taajuusmuuttajalle ulkoinen 24 VDC:n jännitesyöttö. Se ei olisi pakollinen, koska taajuusmuuttajassa on sisäinen virtalähde. Taajuusmuuttajan suojalaitteen

toimiessa pääsähkö katoaa, jolloin myös sisäinen virtalähde sammuu ja väylän toiminta lakkaa. Ulkoisella jännitesyötöllä saadaan varmistettua väylän pysyminen ylhäällä, vaikka sähköä ei olisikaan saatavilla taajuusmuuttajalle.



Kuva 13. Tyhjennuspumppu kolmosen tyyppikilpi (Alapiha, 2022).

Moottorin syöttökaapelin mitoitus on oleellinen vaihe suunnittelussa. Kaapelit tulee mitoittaa virran mukaan. Moottorin tyyppikilvessä on yleisesti ilmoitettu nimellisvirta I_n tähti- ja kolmiokytkennälle. Kuvassa 13 näemme tyhjennuspumppu kolmosen oikosulkumoottorin tyyppikilvestä otetun kuvan. Kuvasta selviää nimellisjännite, -virta ja tehokerroin. Nimellisvirta on oikosulkumoottorin verkosta ottama virta nimelliskuormalla ja nimellisyörimisnopeudella. Aina nimellisvirta ei ole saatavilla, joten se voidaan laskea moottorin syöttötehosta kaavaa (2) pyörittämällä (ABB, 2001, s. 14). Kaavalla (3) saadaan laskettua oikosulkumoottorin nimellisvirta.

$$P_{SYÖTTÖ} = \sqrt{3} * U_n * I_n * \cos(\varphi) \quad (2)$$

$$I_n = \frac{P_{SYÖTTÖ}}{\sqrt{3} * U_n * \cos\varphi} \quad (3)$$

missä

U_n on moottorin nimellisjännite

I_n on moottorin nimellisvirta

$\cos(\varphi)$ on tehokerroin

Tämän jälkeen voidaan sovittaa laskettua virtaa taulukoihin. Kaapelia valittaessa johtimien kokoon vaikuttaa myös asennustapa. Taulukoista valitaan kertoimet, jotka vaikuttavat johtimien kuormitettavuuteen. Kaapelin valinnan jälkeen pitää laskea jännitteenalenema. Jännitteenalenema u saadaan määriteltyä kaavalla (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2022, s. 62):

$$u = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B \quad (4)$$

missä

u on jännitteenalenema voltteina
 b on kerroin, joka on kolmivaiheisilla piireillä 1 ja yksivaiheisilla piireillä 2
 ρ_1 on johtimen resistiivisyys normaalikäytössä $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ (Cu 0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
 L on johtojärjestelmän pituus metreinä
 S on johtimien poikkipinta-ala mm^2 :nä
 $\cos \varphi$ on tehokerroin (jos ei tiedossa tarkkaa arvoa niin $\cos \varphi$ 0,8 ja $\sin \varphi$ 0,6)
 λ on johtimen reaktanssi pituusyksikköä kohden $\text{m}\Omega/\text{m}$
 I_B on suunniteltu virta ampeereina

Suomen Standardisoimisliitto on määrittänyt (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2022, s. 62) maksimijännitteenaleneman liittymispisteen ja minkään kuormituspisteen välille verrattuna asennuksen nimellisjännitteeseen. Taulukkoon (2) verrataan prosentuaalista jännitteenalenemaa Δu , joka saadaan kaavasta (SFS, 2022, s.62):

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0} \quad (5)$$

missä

U_0 on vaiheen ja nollan välinen jännite

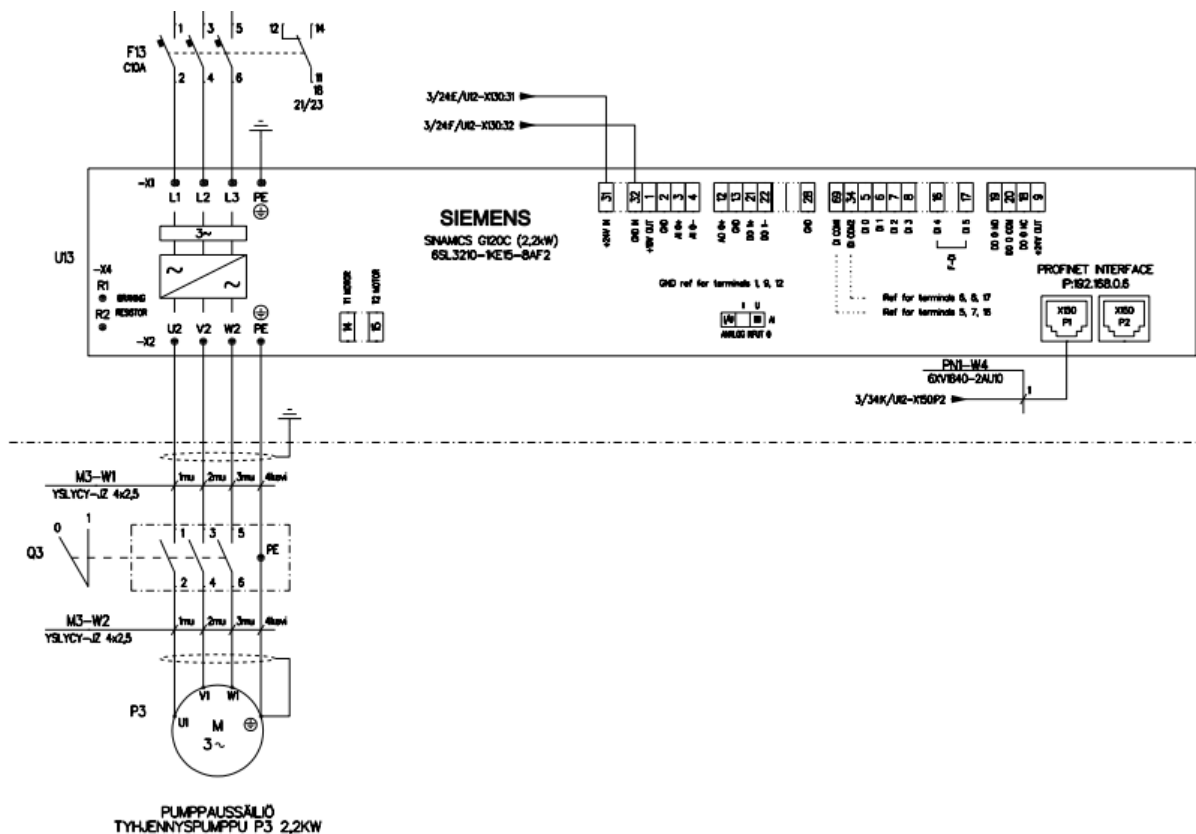
Taulukko 2. Maksimijännitteenalenema (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2022, s. 62).

| Asennuksen tyyppi | Valaistuskäyttö % | Muu käyttö % |
|--|-------------------|--------------|
| A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta | 3 | 5 |
| B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä pienjänniteteholähteestä (a) | 6 | 8 |

(a) Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja.

Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %.

Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.



Kuva 14. CADMATIC-ohjelmistolla suunniteltu moottorilähtö (Alapiha, 2022).

5.3 Turvatulot

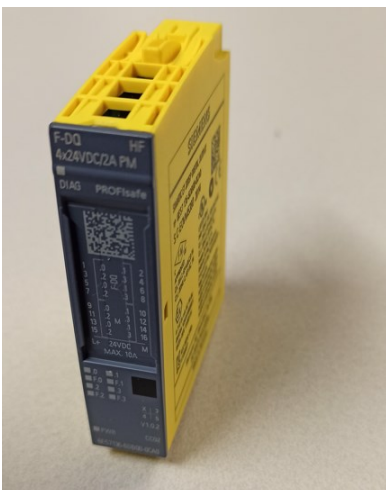
Käyttöön valittiin Simatic F-DI 8x24VDC HF -turvatulomoduuli. Turvamoduulin tunnistaa sen keltaisesta värityksestä, kuten kuvassa 15 nähdään, ja mallimerkinnästä löytyy iso F-kirjain.

Turvatuloihin voidaan kytkeä yleisien hätäseis-painikkeiden lisäksi esimerkiksi turvamattoja, paineantureita tai paineen muutokseen reagoivia laitteita. Esimerkiksi turvamatto sijoitetaan kielletylle alueelle, jonka päälle astuttaessa saadaan tieto turvatuloon.

Prosessialue on suhteellisen pieni eikä liikkuvia osia kohteessa ole, joten päätettiin ottaa käyttöön yksi hätäseis-painike ja liittää höyrystimen turvapiiri osaksi pesulaitteiston turvapiiriä. Tällöin käyttöön jäi yksi hätäseispiiri. Tämä toteutettiin kytkemällä höyrystimen hätäseis-painike pesulaitteiston turvatuloihin ja kierrättämällä höyrystimen turvareleen pysäytyspiirit pesulaitteiston turvalähdön ohjauksessa olevien kontaktorien koskettimien kautta. Tällöin kontaktorien koskettimet vastaavat höyrystimen hätäseis-painikkeen koskettimia. Liitteestä 4 sivulta yksi selviää tarkemmin, miten höyrystimen turvarele liitettiin kupariputkien pesuprosessiin. Liitteestä 4 sivulta kaksi selviää hätäseis-painikkeiden kytkentä kupariputkien pesuprosessiin.

5.4 Turvalähdöt

Turvalähdöksi valittiin Simatic ET 200SP F-DQ 4x24VDC/2A PM HF -turvalähtömoduuli. Kontaktoreilla voidaan katkaista esimerkiksi sähkö niiltä osin, jotka tekevät koneesta turvattoman, ja tällöin sähköä on saatavilla halutuille osille, jolloin saadaan kone aseteltua turvalliseen tilaan.



Kuva 15. Simatic-turvalähtömoduuli F-DQ 4x24VDC/2A PM HF (Alapiha, 2022).

5.5 Digitaalitulot

Digitaalituloihin kytkettiin kosketintietoja, ja tällöin tulo on joko nolla tai 24 volttia. Pääkeskuksesta ja ohjauspulpetista kytkettiin nokkakytkimiä, ja tilatietoja kytkettiin johdonsuojakytkimiltä sekä kahdeksankanavaiselta sulakemoduulilta. Höyrystimen toiminnasta saatiin tuloihin johdotettua potentiaalivapailta koskettimilta käynti- ja häiriötieto. Kentältä johdotettiin säiliöiden ylä- ja alarajojen tilatiedot. Pääasiassa pinnanmittaukset toteutettiin Siemens Sitrans LVL100-pinnanmittausantureilla, ja näissä on vaihtokosketin ja manuaalin mukainen kytkentä on erilainen ylä- ja alarajoissa. Kahteen säiliöön tuli erilainen pinnanmittaus. Pumppaussäiliöön asennettiin uimurikytkin, josta saatiin neljän eri pinnankorkeuden tilatiedot. Rejektisäiliöön asennettiin laseranturi, joka voidaan ohjelmoida antamaan tilatieto halutuilla pinnankorkeuksilla.

5.6 Digitaalilähdöt

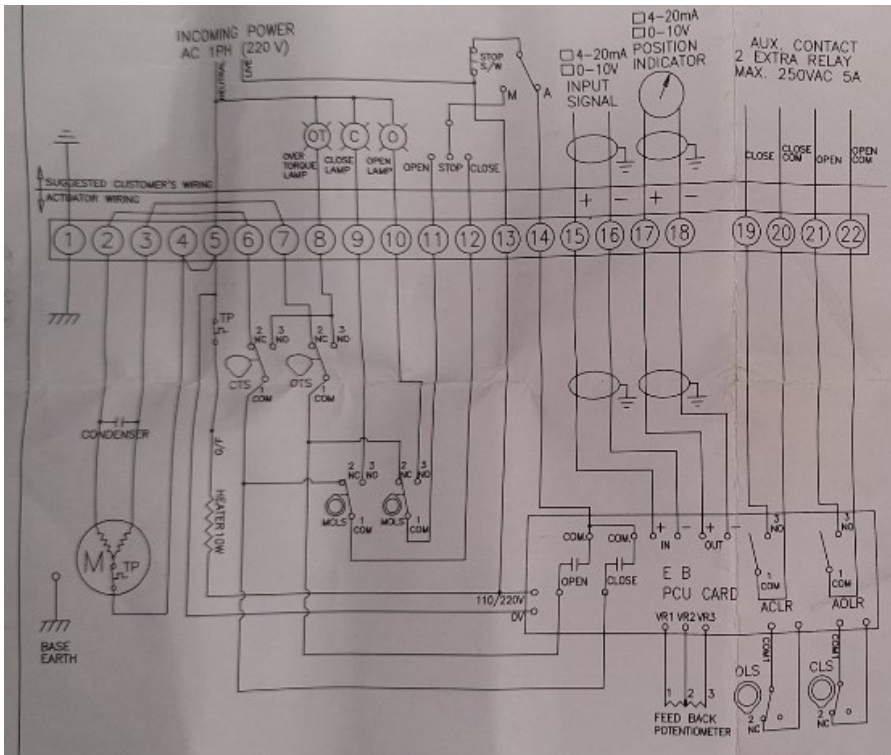
Digitaalilähdöillä ohjataan 24 volttia halutulla lähdöllä haluttuun kohteeseen logiikkaohjelmassa määritetyllä tavalla. Lähtökorttiin voidaan kytkeä suoraan esimerkiksi releitä, kontakteja ja merkkilamppuja. Tässä projektissa edellä mainittujen lisäksi yhdellä lähdöllä annetaan kuittaus kahdeksankanavaisen elektroniseen sulakemoduuliin. Sulakemoduulin havaitessa ylivirtaa jollakin kanavalla elektroninen suoja laukeaa ja sähkö katkeaa estäen vakavat vahingot. Sulakemoduulista on mahdollisuus saada virhediagnostiikka joko keräilyviestinä tai kanavakohtaisena diagnostiikkana. Kanavakohtainen diagnostiikka mahdollistaa tiedon, paljonko virtaa kanavan läpi kulkee, mikä on kanavakohtainen virtakynnys, mikä kanava on toiminut ja suojannut piirin ja mikä oli kanavan sammutuksen syy. Keräilyviestillä saa sulakemoduulin vikatiedon sulkeutuvalla koskettimella. Molemmat virhediagnostiikkamahdollisuudet kytketään samoihin liittimiin sulakemoduulissa. Valinta suoritetaan COM-kytkimellä, joka sijaitsee sulakemoduulin etuosassa. Vian ollessa aktiivinen voidaan sulakemoduulin kanava kuitata ohjaamalla sulakemoduulin RST-tulo päälle ja tämän jälkeen pois. Kaikkia vikoja RST-tulolla ei ole mahdollista kuitata.

5.7 Analogiatulot

Lämpötilojen mittaukset vaativat analogiatulokortteja. Käyttöön valikoitui Simatic ET 200SP AI 4xRTD/TC 2-/3-/4-wire -analogiatulomoduuli, koska tähän moduuliin on mahdollista kytkeä

valitut Pt100-lämpötilanaturit suoraan ilman erillistä lähetintä. Siemensin (i.a.-b, s. 11) laite-manuaalista selviää, että moduuliin on mahdollista valita neljä erilaisia mittaustyyliä, lämpövastus, termopari, resistanssi ja jännite. Lämpötilanmittaukset toteutettiin Pt100-mittausvas-tuksilla, joten moduulin mittaustyyliksi valittiin lämpövastus (RTD). Kirjainyhdistelmä RTD tu-lee englannin kielen sanoista Resistance Temperature Detector. Pt100-anturit kytkettiin neli-johdinmenetelmällä analogiatulomoduliin. Ohjelmaa tehdessä mittalaite tulee konfiguroida ohjelmaan oikein, ja tällöin saadaan suoraan oikea lämpötila-arvo joko celsiusasteina tai fah-renheit-asteikolla. Oikein konfiguroituna ohjelma osaa valita oikean lämpötilavastustaulukon, josta saadaan oikea lämpötila tietyllä vastusarvolla. Valitussa moduulissa on mahdollisuus kompensoida johtimien resistanssi pois itse mittaustuloksesta. Varsinkin etäällä olevan mit-tauksen pitkät johtimet aiheuttavat lisäresistanssia lämpötilanmittaukseen, ja tämän takia lämpötilanmittaus antaa väärän tuloksen. Kompensoimalla johtimien resistanssi pois saavu-tetaan tarkempi mittaustulos mittaustaikalta.

Säätöventtiilin asentotilatietoa varten tarvittiin analogiatulokortti. Venttiilin asennus- ja huolto-manuaalista selvisi analogiaohjeiden olevan muutettavissa DIP-kytkimillä. Venttiilin tilausvai-heessa jouduttiin valitsemaan jännite- tai virtaviesti, ja käyttöön valittuun säätöventtiiliin valit-tiin 4–20 mA virtaviesti. Kuvassa 16 on nähtävillä säätöventtiilin kytkentäkaavio, ja siitä saa-tiin selville kytkentäpisteet. Analogiatulomoduliiksi valikoitui Simatic ET 200SP AI 4xI 2-/4-wire ST -analogiatulomoduu-li. Siemensin (i.a.-a, s. 12) laitemanuaalin mukaan moduuliin on mahdollista kytkeä virtamittaus, joko 0–20 mA tai 4–20 mA virtaviestillä. Kahden säiliön pin-nanmittaukset toteutettiin paineantureilla. Analogiatulomoduliin näistä paineenmittauksista saatiin 4–20 mA virtaviesti. Paineanturit sijaitsevat säiliöiden alaosassa, jolloin mitattava paine anturissa kasvaa nesteen pinnan noustessa. Laitemanuaalista (Siemens, i.a.-a, s. 15) selviää, kuinka mittaukset tulee kytkeä moduulille. Säätöventtiili toteutetaan nelijohdinkytken-nällä ja paineen mittaus kaksijohdinkytkennällä. Nelijohdinkytkennässä johdot kytketään ka-navakohtaisesti virta tulo positiivinen- ja virta tulo negatiivinen -liittimiin, kun taas kaksijohdin-kytkentä kytketään kanavakohtaiseen jännitesyöttöön ja virta tulo positiivinen -liittimeen.



Kuva 16. HKC HQ-015 -säätöventtiilin kytkentäkaavio (Alapiha, 2022).

5.8 Analogilähdöt

Analogiaohjetta tarvittiin säätöventtiilin asennon ohjaukseen. Analogilähtömoduuliksi valikoitiin Simatic ET 200SP AQ 4XU/I ST. Siemensin (i.a.-c, s. 12) laitemanuaalin mukaan moduuli mahdollistaa mittausalueeksi jännite- tai virtaviestiohjeen. Mahdolliset virtaviestiohjeet voivat olla ± 20 mA, 0–20 mA tai 4–20 mA ja jänniteviesti voi olla ± 10 V, ± 5 V, 0–10 V tai 0–5 V. Kaksijohdinkytkennällä jännite- ja virtaviestiohjeen kytkentäpisteet ovat samat, mutta nelijohdinkytkentä on mahdollinen vain jänniteohjeelle. Säätöventtiilin kytkentäkaaviosta kuvassa 16 selvisivät venttiilin asento-ohjeen kytkentäpisteet. Tilausvaiheessa säätöventtiilille oli valittu analogiaohjeen alueeksi 4–20 mA virtaviesti.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella työn tilaaja yritykselle Cupori Oylle tarvittavat dokumentit kupariputkien pesuveden puhdistusprosessille. Dokumentit olivat piirikaavio, väyläkaavio, keskuksien layout-kuvat, maadoituskaavio ja osaluettelot. Tavoitteeseen päästiin. Muutoksien kanssa tuli välillä kiire, koska asennukset olivat käynnissä samaan aikaan. Kuvat piti päivittää nopealla tahdilla asennuksia varten. Ensimmäiset muutokset tulivat tietoon asennuksien alkuvaiheessa. Letkupumpuksi suunniteltu 5,5 kW tyhjennyspumppu vaihtui isompaan 7,5 kW pumppuun. Komponenttien saatavuusongelmat vaikuttivat taajuusmuuttajan hankintaan, ja jouduttiin tilaamaan 11 kW moottorille sopiva taajuusmuuttaja. Piirikaaviossa tämä ei aiheuttanut isompia muutoksia. Sinamics G120C -sarjan taajuusmuuttajien kytkennät suoritetaan samoihin liittimiin aina 18,5 kW:iin asti. Vasta tästä isommissa tulee muutoksia. Piirikaaviossa etukoje ja kaapelit vaihdettiin isompiin. Keskus-layout -muutoksessa kokemattomuus tuli esille, sillä taajuusmuuttaja mahtui sille suunniteltuun paikkaan, mutta moottori-kaapelin ja syöttökaapelin kytkeminen olisi ollut lähes mahdotonta. Tämän ongelman välttämiseksi taajuusmuuttaja asennettiin korotuspalan päälle. Vastaavia pieniä muutoksia tehtiin projektin aikana. Sulku- ja säätöventtiilien käyttöjännite oli 230 VAC. Näitä varten välireleet olivat olemassa, mutta niihin oli johdotettu 24 VDC. Osa pinnanmittauksista muuttui viimehekillä.

Vaikka selvittelyyn käytettiin paljon aikaa, muutama asia jäi kuitenkin huomaamatta. Säätöventtiilin toiminta suunniteltiin toimimaan kolmella välireleellä. Yksi rele ohjaa automaatti- tai käsitoiminnon päälle ja kaksi relettä ohjaa venttiiliä kiinni tai auki, jos käsitoiminto on valittuna. Venttiili toimi käsitoiminnolla ja automaattitoiminnolla oikein, mutta käsitoiminnolla venttiilin tilatieto ei toiminut. Kuvassa 10 on nähtävissä yhdistetyt liittimet numerossa 13 ja 14. Tämä hyppylanka oli venttiilissä valmiina tehtaalta tullessa ja tämän vuoksi automaattitilassa tilatieto toimi oikein. Kuvasta 16 saadaan selville, että säätöventtiilin syöttö on kytkettävä liittimeen 13. Venttiilille asennettiin uusi syöttökaapeli, jonka avulla asia korjaantui. Hyppylanka liittimien 13 ja 14 väliltä otettiin samalla pois.

Toinen epähuomio kävi Sitrans LVL100 -pinnanmittausanturien kanssa. Sitrans LVL100 -käyttöohjeesta (Siemens, 2015, s. 17) selvisi, ettei kyseistä mallia voinut kytkeä suoraan logiikkaan, vaan tässä piti käyttää välirelettä. Pinnanmittausantureiden olisi pitänyt olla transistorilähtöisiä, jolloin ne olisi voinut kytkeä suoraan logiikan digitaalituloon. Näiden ja varmasti muutaman muunkin vaiheen jälkeen pesulaitteisto saatiin toimintaan.

Joulukuussa 2022 pesuprosessi otettiin osittain käyttöön. Tällöin likaista vettä aloitettiin pumppaamaan puhdistukseen, mutta puhdistettua vettä ei vielä tässä vaiheessa käytetty uudestaan. Tammikuussa 2023 otettiin prosessi kokonaisuudessaan käyttöön, jolloin puhdistettua vettä käytettiin uudelleen kupariputkien pesussa. Kuvassa 17 nähdään hieman prosessialuetta. Kuvassa takana oikealla on likaisenveden säiliö ja sinisten levylämmönvaihtimien keskeltä on nähtävissä rejektisäiliö, jonne höyrystetystä vedestä jääneet epäpuhtaudet pum-pataan.



Kuva 17. Kuva asennusvaiheesta (Alapiha, 2022).

7 POHDINTA

Opinnäytetyön projekti meni suunnittelijan kokemukseen nähden hyvin. Alkuun tuli todella paljon uutta asiaa. Onneksi toimeksiantajan henkilökunnalta kysyttäessä sai vastauksen, kun vain tiesi, mitä kysyä. Alkuun ei oikein tiennyt, mitä edes kysyä. Mitä pidemmälle suunnittelu eteni, sitä enemmän tuli mietittyä projektin alkuvaiheita. Paljon tuli opittua ja selvitettyä asioita. Paljon jäi vielä ymmärtämättä, mutta nämä asiat selviävät seuraavissa projekteissa. Kaikki tarvittavat dokumentit saatiin aikaan. Vaikka ilman suunnitteluvirheitä ei selvitty, niistä otettiin opiksi ja korjattiin tähän projektiin. Datalehtien tarkempi lukeminen ja niiden ymmärtäminen on avainasemassa hyvien kuvien suunnittelussa, varsinkin uran alkuvaiheessa.

Opinnäytetyötä kirjoitettaessa tutustuttiin analogiakytkeihin tarkemmin. Projektin suunnitteluvaiheessa analogiakytkenät olivat mielestämme oikein, mutta käytäntö osoitti osan kytkennöistä vääriksi, vaikka aikaa kytkentöjen toimivuuden varmistamiseksi käytettiin paljon. Myöhempi tarkempi teorian tutkiminen antoi paljon oppia seuraaviin projekteihin. Tunnuksien ja positioiden luominen osoittautui hankalaksi, eikä tähän oikein löytynyt selkeää vastausta tai linjaa, miten se pitäisi tehdä. Kokemuksen lisääntyessä tähän varmasti tulee rutiinia. Suunnittelija saa monesti päättää tunnuukset. Löytyy myös yrityksiä, joilla on tarkat ohjeet näiden luomiseen.

Suunnittelun alkuvaiheessa olevilla lähtötiedoilla päästiin hyvin alkuun. Vaikka kaikkia komponentteja ei vielä tiedetty, suunnittelu kuitenkin aloitettiin. Tämän takia suunnittelijalle aiheutui hieman lisätyötä. Asiasta ei tullut kuitenkaan isompaa ongelmaa. Asiat päästiin ratkaisemaan sitä mukaan, kun niitä huomattiin.

LÄHTEET

- ABB. (2001). *Tekninen opas nro 4 - Nopeussäädettyjen käyttöjen opas*. https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf
- Bucci, D. (2017). *Analog Electronics for Measuring Systems*. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://ebookcentral-proquest-com.libts.seamk.fi/lib/seamkebrary-ebooks/reader.action?docID=4843079>
- CADMATIC. (6.12.2019). *CADS is now CADMATIC - mitä se tarkoittaa CADS-käyttäjälle ja mikä CADSissä muuttuu?* Haettu 11.2.2023, <https://www.cadmatic.com/fi/ajankoh-taista/uutiset/cads-is-now-cadmatic-mita-se-tarkoittaa-cads-kayttaj%C3%A4lle/>
- CADMATIC. (i.a.-a). *CADMATIC Electrical*. Haettu 12.2.2023, <https://www.cadmatic.com/fi/construction/ohjelmistoratkaisut/cadmatic-electrical/>
- CADMATIC. (i.a.-b). *Ohjelmistot 3D-suunnitteluun ja tiedonhallintaan*. Haettu 12.2.2023, <https://www.cadmatic.com/fi/>
- Cupori. (2021). *Johtava kupariosaaja*. Viitattu 30.3.2023. <https://www.cupori.com/cupori/>
- Eco-Techno. (i.a.). *Heat pump vacuum evaporator. Eco vs-hp data sheet*. Viitattu 27.2.2023. https://www.hyxo.fi/assets/files/2022/06/ECO-VS-HP_small.pdf
- Elomatic. (22.8.2019). *CADMATIC ostaa suomalaisen ohjelmistoyhtiö Kymdatan ja CADS ohjelmistot*. Haettu 11.2.2019, <https://www.elomatic.com/fi/elomatic/uutiset/2019/08/22/cadmatic-ostaa-suomalaisen-ohjelmistoyhti%C3%B6-kymdatan-ja-cads-ohjelmistot/>
- Hartman, C. (20.3.2014). *What is a Frequency Drive?. What is a vfd*. <https://vfds.com/blog/what-is-a-vfd/>
- Jaakkola, H. (17.5.2019). *Kupariputkien nopealle syöpymiselle etsitään selitystä*. Rakennusmaailma. <https://rakennusmaailma.fi/kupariputkien-nopealle-syopymiselle-etsitaan-selitysta/>
- Krohne inor. (i.a.). *Pt100 – Mittauksen epätarkkuus ja mittauspoikkeamat*. Krohne Inor. <https://www.krohne-inor.fi/lamputilakoulu/pt100-mittauksen-epatarkkuus-ja-mittauspoikkeamat/#>
- Kupariteollisuuspusito. (i.a.). *Cupori*. Viitattu 30.3.2023. <https://www.kupariteollisuuspusito.fi/en/corp/cupori/>
- Kuphaldt, T. (2022). *Lessons in industrial instrumentation*. (Versio 3.01). Samurai Media Limited. (Alkuperäinen teos julkaistu 2008). <https://www.ibiblio.org/kuphaldt/socratic/sinst/book/liii.pdf>

- LSK. (i.a.). *LSK yrityksenä. LSK Groupin historia*. Viitattu 30.3.2023. <https://www.lsk.fi/lsk-yrityksena/>
- My Engineering Tools. (i.a.). *Water boiling point vs pressure*. Haettu 28.2.2023. https://myengineeringtools.com/Data_Diagrams/Water_Boiling_Point_Vs_Pressure.html
- Mäkinen, M., & Kallio, R. (2004). *Teollisuuden sähköasennukset*. Otava.
- Olson, E. (28.5.2019). *What is the most popular industrial network protocol?*. *Engineering* 360. <https://insights.globalspec.com/article/11936/what-is-the-most-popular-industrial-network-protocol>
- Pilz. (i.a.). *IEC 62061– Safety integrity level (SIL)*. Pilz. <https://www.pilz.com/fi-FI/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iec-6206>
- Siemens. (2019). *SITRANS LVL100 - contactless electronic switch. Operating Instructions*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/091/109812091/att_1109092/v1/43192-EN-SITRANS-LVL-100-contactless-electronic-switch.pdf
- Siemens. (i.a.-a). *ET 200SP Analog Input Module AI 4xI 2-/4-wire ST (6ES7134-6GD01-0BA1)*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/161/59768161/att_109158/v1/et200sp_ai_4xi_2_4_wire_st_manual_en-US_en-US.pdf
- Siemens. (i.a.-b). *ET 200SP Analog input module AI 4xRTD/TC 2-/3-/4-wire HF (6ES7134-6JD00-0CA1)*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/600/59753600/att_71712/v1/et200sp_ai_4xrtd_tc_2_3_4_wire_hf_manual_en-US_en-US.pdf
- Siemens. (i.a.-c). *ET 200SP Analog Output Module AQ 4xU/I ST (6ES7135-6HD00-0BA1)*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/612/59753612/att_880087/v1/et200sp_aq_4xu_i_st_manual_en-US_en-US.pdf
- Siemens. (i.a.-d). *ET 200SP Digital input module F-DI 8x24VDC HF (6ES7136-6BA01-0CA0)*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/402/109803402/att_1083697/v1/et200sp_f-di_8x24vdc_hf_manual_en-US_en-US.pdf
- Siemens. (i.a.-e). *ET 200SP Digital output module F-DQ 4x24VDC/2A PM HF (6ES7136-6DB00-0CA0)*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/789/78645789/att_878790/v1/et200sp_f-dq_4x24vdc_2a_pm_hf_manual_en-US_en-US.pdf
- Siemens. (i.a.-f). *Protective Devices for SINAMICS G120C. (Product Information Edition 02/2022)*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/343/109750343/att_1094835/v1/G120C_protective_devices_prod_info_0222.pdf

- Siemens. (i.a.-g). *Sinamics G120C -pienjännitetaajuusmuuttajat. (Pikaohje versio 04/2014)*. <https://www.auser.fi/wp-content/uploads/Sinamics-G120C-pikaopas.pdf>
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2022). *Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät*. Haettu 27.2.2023.
- Vogelpohl, A. (2015). *Distillation: The Theory*. De Gruyter.
- Weber. (25.4.2022). *Impressive figures for Profinet and IO-Link. Profibus and profinet international (PI)*. <https://www.profibus.com/newsroom/press-news/impressive-figures-for-profinet-and-io-link>
- Yin. (31.10.2014). *Motor Theory 101: Adjusting Frequency. Motor theory 101 adjusting frequency*. <https://vfds.com/blog/motor-theory-101-adjusting-frequency/>

LIITTEET

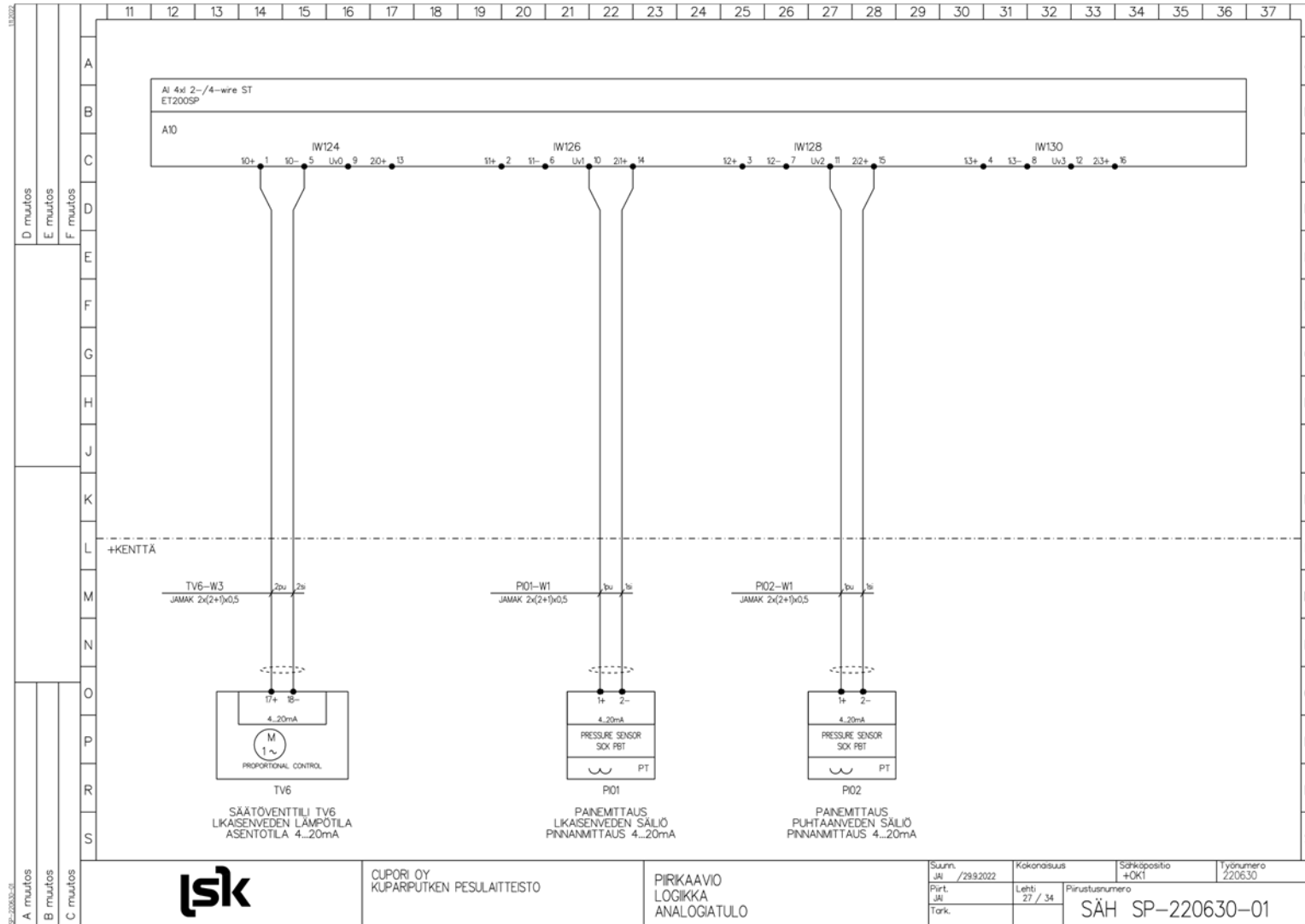
Liite 1. CAD-kuva analogiatulokortin kytkennöistä

Liite 2. CAD-kuva moottorilähdöstä

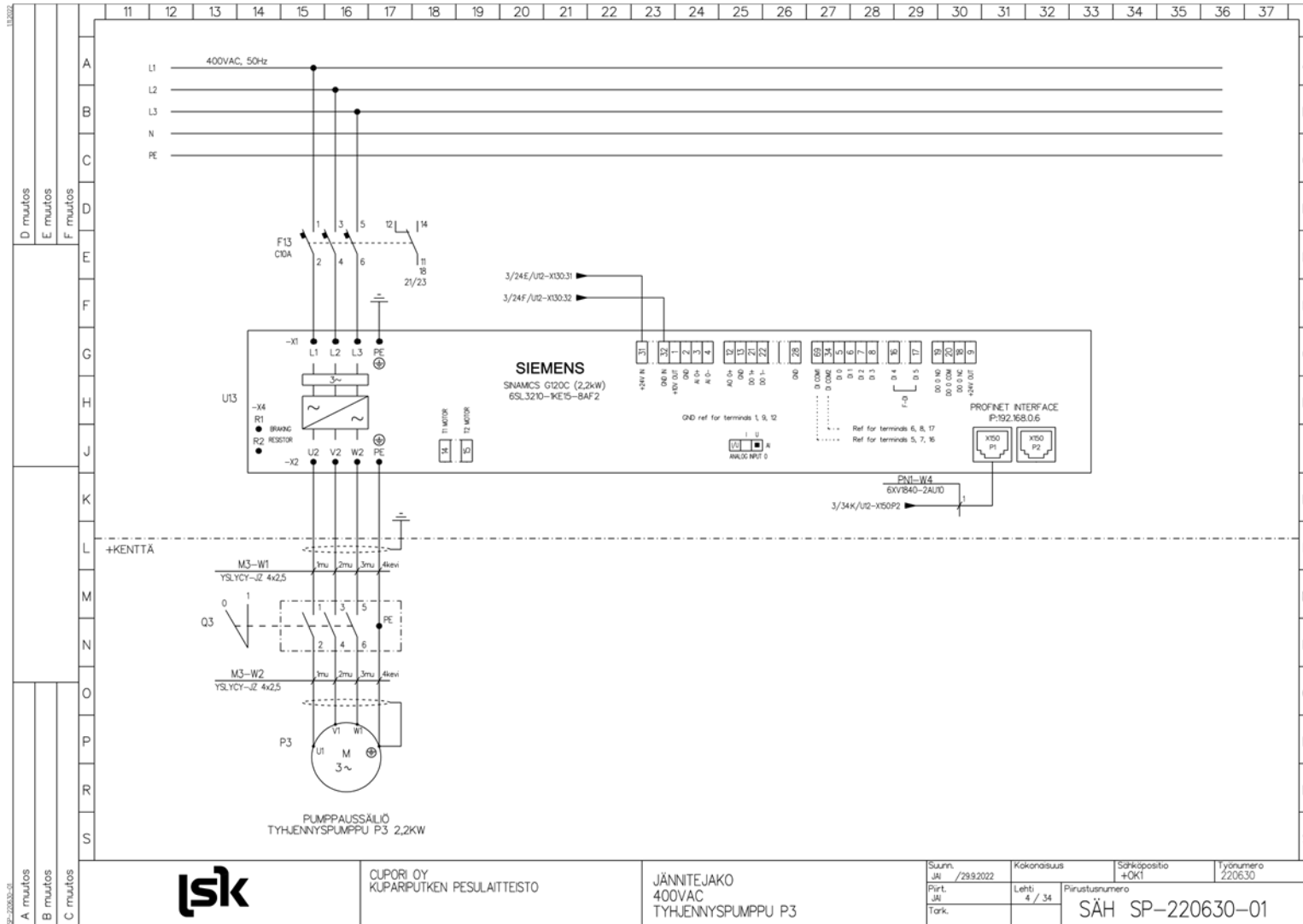
Liite 3. CAD-kuva paneelista

Liite 4. CAD-kuva turvakytkennöistä

Liite 1. CAD-kuva analogitulokortin kytkennöistä



Liite 2. CAD-kuva moottorilähdöstä

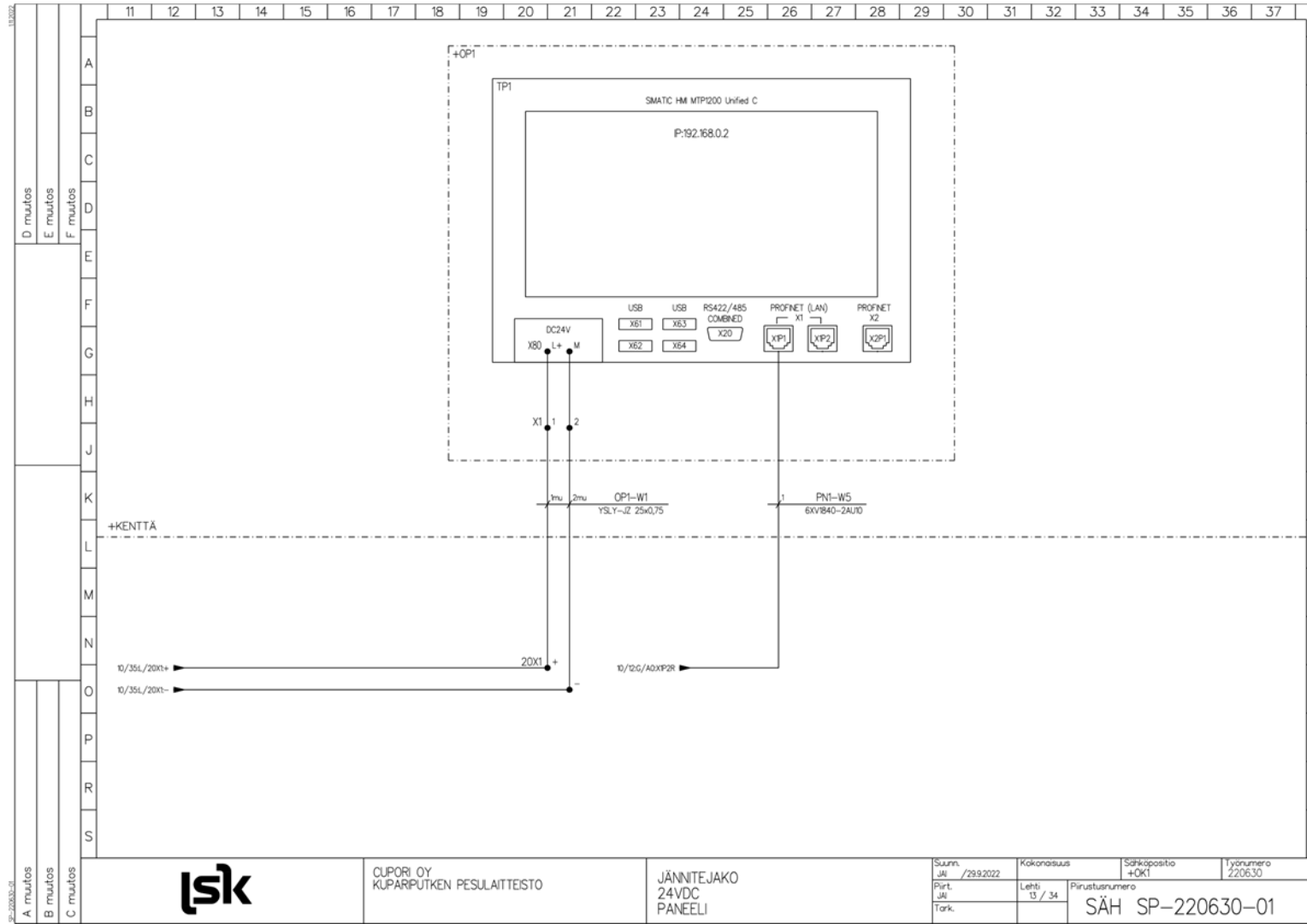


CUPORI OY
KUPARIPUTKEN PESULAITTEISTO

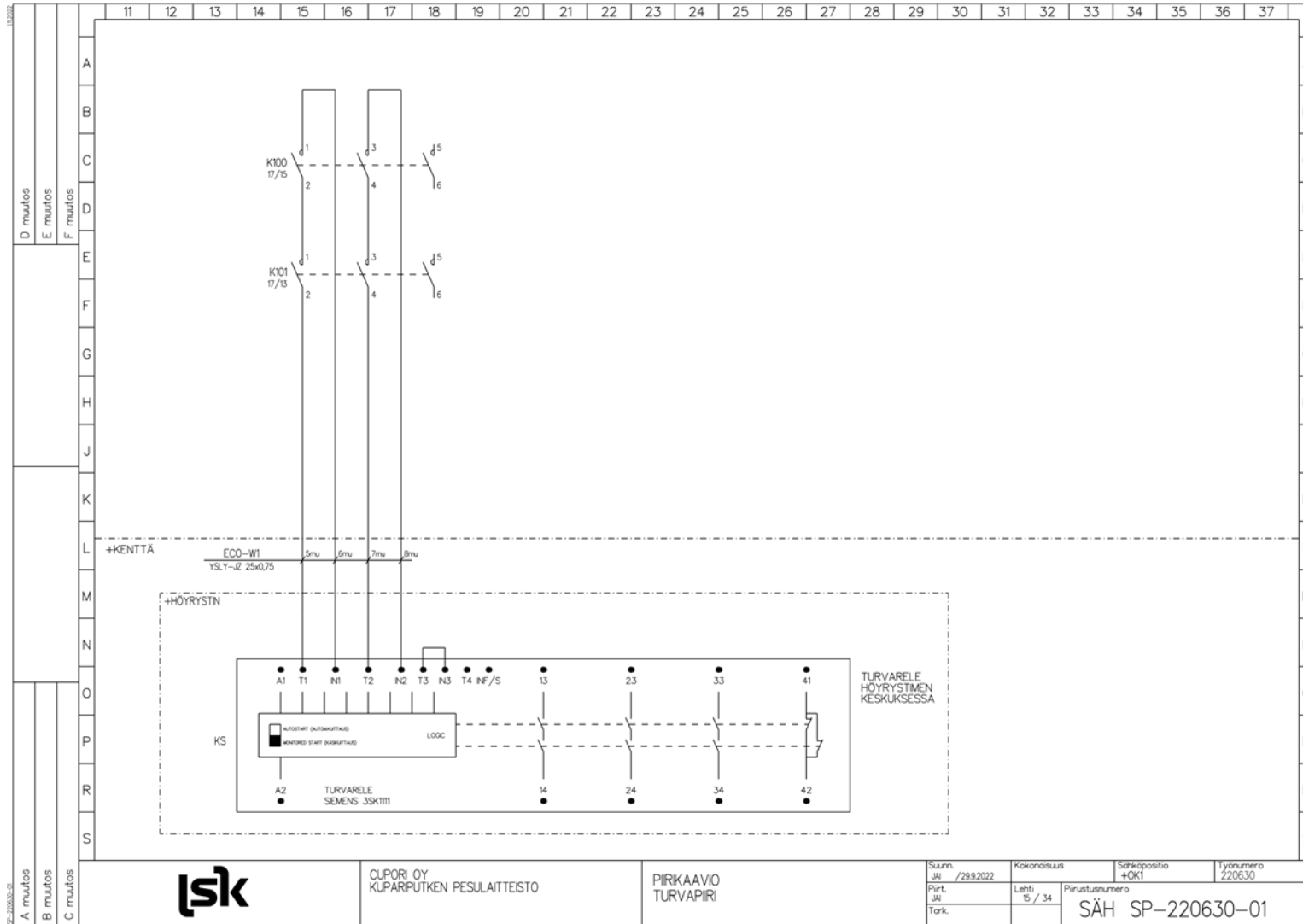
JÄNNITEJAKO
400VAC
TYHJENNYSPUMPPU P3

Summ. JAI /299/2022
Kokonaisuus
Sähköpositio +OK1
Työnumero 220630
PiL. JAI
Lehti 4 / 34
Pinuslusuomero
SÄH SP-220630-01

Liite 3. CAD-kuva paneelistä



Liite 4. CAD-kuva turvakytkennöistä



P: 220630-01

A muutos
B muutos
C muutos



CUPORI OY
KUPARIPUTKEN PESULAITTEISTO

PIIRKAAVIO
TURVAPIIRI

| | | | |
|---------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Summ. JAI /299/2022 | Kokonaisuus | Sähköpositio +OKI | Työnumero 220630 |
| Part. JAI | Lehti 5 / 34 | Pinuslusuomero | |
| Tark. | SÄH SP-220630-01 | | |

