

Olli Kytölä

## **KAASUN TÄYTTÖLINJASTON KULJETTIMEN LOGIIKAN MIGRAATIO**

# KAASUN TÄYTTÖLINJASTON KULJETTIMEN LOGIIKAN MIGRAATIO

Olli Kytölä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-  
ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Automaatiotekniikka

---

Tekijä: Olli Kytölä

Opinnäytetyön nimi: Kaasun täyttölinjaston kuljettimen logiikan migraatio

Työn ohjaajat: Manne Tervaskanto, Mikko Niva

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 92

---

Opinnäytetyön tavoite on Siemens S5:seen perustuvan kuljetinjärjestelmän päivitys Siemens S7-logiikalle. Työssä käännetään S5-ohjelma ja suunnitellaan tietomallipohjaisesti uudet sähköpiirustukset kohteen moottorikeskukseen vanhojen piirustusten pohjalta. Päivitetään turvapiiri nykyi-  
kaan sekä vertaillaan ja sovelletaan koneturvallisuusstandardeja. Valitaan muutostyössä tarvittavat komponentit ja luodaan asennusohje sähköurakoitsijalle. Lopuksi suoritetaan käyttöönotto.

Työssä tutkitaan ja selvitetään asioita, joita tulee ottaa huomioon vanhan järjestelmän päivityk-  
sessä. Kohteena on kahden ketjukuljetinlinjan moottorikeskuksen Siemens Simatic S5-115U -logii-  
kan korvaaminen Siemens Simatic S7-300 314 -logiikalla. Keskusyksikön päivityksen yhteydessä  
korvataan IO-kortit, jotka koostuvat 128 digitaalitulosta ja 64 digitaalilähdöstä. Koneturvallisuus-  
standardien avulla määritetään hätäpysäytystoiminnon suoritustaso erilaisin metodein.

Työ kattaa projektin kaikki vaiheet suunnittelusta toteutukseen. Suunnittelu vaatii perehtymistä ole-  
massa olevaan järjestelmään piirustusten ja tehdaskäyntien perusteella. Arvioidaan kehityskohteita  
ja toteutettavia ratkaisuja. Lopputuloksena kuljetin otettiin käyttöön. Työn aikana tuotettiin seuraava  
dokumentaatio: käännetty logiikkaohjelma, sähköpiirustukset, tarvikeluettelo ja asennusohje.

---

Asiasanat: Siemens, S5, konvertointi, koneturvallisuus, Cadmatic, generointi

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Automation Engineering

---

Author: Olli Kytölä

Title of thesis: Migration Project of Conveyor Logic for Gas Filling Line

Supervisors: Manne Tervaskanto, Mikko Niva

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 92

---

The goal of the thesis is to update the conveyor system which is based on Siemens S5 to the Siemens S7 logic. The S5 source code is converted and the new electrical drawings for the electrical enclosure of the conveyor line are designed based on the old drawings. CAD design utilizes data models. The safety circuit is upgraded based on machine safety standards which are compared and investigated during the thesis. The components needed for the modification work are selected and installation instructions for the electrical contractor are created. Finally, commissioning of the modernized system is performed.

The thesis covers issues that should be considered when updating an old system. The objective is to replace the Siemens Simatic S5-115U logic of two chain conveyor lines electrical cabinet with Siemens Simatic S7-300 314 logic. While updating the CPU also the IO cards are replaced which consist of 128 digital inputs and 64 digital outputs. The performance level of emergency stop function is determined applying different methods from the machine safety standards.

The thesis covers all phases of the project, from planning to implementation. Designing modernization requires familiarization with the existing system based on electrical drawings and factory visits. Development targets and possible solutions are evaluated. As a result, the conveyor was commissioned for active duty. The following documentation was produced during the thesis: converted program for S7, electrical drawings, list of necessary materials and installation instructions.

---

Keywords: Siemens, S5, convert, machine safety, Cadmatic, automatic drawing generation

## ALKULAUSE

Työ käsittelee logiikan migraatiota, eli vanhan logiikkaohjelman siirtoa uudelle laitteistolle, mutta ei rajoitu pelkästään siihen vaan kaikkeen kyseisessä kohteessa huomioon otettaviin seikkoihin sähkö- ja automaatio-suunnittelijan näkökulmasta. Työ on konkreettinen ja soveltaa useaa eri aihealuetta käytäntöön, jonka vuoksi se oli mielenkiintoista toteuttaa. Esitän kiitokset avusta ja luottamuksesta insinööritoimisto Polartek Oy:n Oulun konttorin sähkö- ja automaatio-osastopäällikölle Mikko Nivalle, joka toimi mentorinani ja mahdollisti opinnäytetyön toteutuksen.

29.3.2023

Olli Kytölä

# SISÄLLYS

ALKULAUSE.....	5
1 JOHDANTO.....	8
2 KAASUN TÄYTTÖLINJASTON KULJETTIMEN TOIMINTAKUVAUS.....	9
2.1 Linja 1 (sisärata).....	10
2.2 Linja 2 (ulkorata).....	11
2.3 Syöttörata.....	12
2.4 Siirtovaunu.....	12
2.5 Täyttöasema.....	14
2.6 Purkurata.....	15
2.7 Ajotavat.....	16
2.8 Häiriötilanteiden käsittely.....	17
3 OHJELMOITAVAT LOGIIKAT.....	19
3.1 Siemens Simatic historia.....	19
3.2 Elinkaari.....	19
3.3 Laittevalinta.....	21
3.4 Siemens Simatic S5-115U CPU 941B.....	21
3.5 S5-sarjan digitaaliset lähtö- ja tulokortit.....	22
3.6 Siemens Simatic S7-300 CPU 314.....	23
3.7 S7-sarjan digitaaliset lähtö- ja tulokortit.....	24
3.8 Yhteenvedo laitevalinnasta.....	25
4 KONETURVALLISUUS.....	26
4.1 Koneen muutostyöt ja koneturvallisuus.....	26
4.2 Kuljetinjärjestelmän koneturvallisuus.....	28
4.2.1 Käynnistyksen arviointi.....	29
4.2.2 Käynnistyksen päivitys.....	29
4.2.3 Hätäpysäytyksen arviointi.....	30
4.2.4 Hätäpysäytyksen päivitys.....	31
4.3 Standardit turvatoiminnon arviointiin.....	34
4.4 Hätäpysäytystoiminnon arviointi standardien avulla.....	36
4.4.1 Hätäpysäytystoiminnon turvallisuuden eheyden taso, SIL (EN IEC 62061) .....	37

4.4.2	Hätäpysäytystoiminnon suoritustaso, PL (SFS-EN ISO 13849-1).....	44
4.4.3	Hätäpysäytystoiminnon suoritustason arviointi SISTEMA:lla .....	50
5	LOGIIKKASOVELLUS .....	53
5.1	Sovelluksen lataus EPROM-piiriltä .....	53
5.2	Sovelluksen konvertointi .....	55
5.3	Konvertoidun sovelluksen tarkistelu .....	63
5.4	Valmiin sovelluksen simulointi .....	64
6	KESKUKSEN MUUTOSTYÖT .....	66
6.1	Suunnittelu ja toteutus .....	66
6.2	Hyödyt ja riskit .....	66
6.3	Olemassa olleen sähköjärjestelmän kartoitus .....	67
7	TIETOKANTAPOHJAINEN SÄHKÖSUUNNITTELU .....	72
7.1	Cadmatic ja tietokanta .....	72
7.2	Tuotemallit .....	74
7.3	Älykkäät symbolit .....	77
7.4	Modulaarinen generointi .....	78
8	KÄYTTÖÖNOTTO .....	82
8.1	Asennusohje .....	82
8.2	Asennus ja viimeiset muutokset .....	83
8.3	Koeajo .....	83
8.4	Luovutus .....	85
9	YHTEENVETO .....	87
	LÄHTEET .....	89

# 1 JOHDANTO

Tutustuin opinnäytetyössä käsiteltävään kuljetinjärjestelmään vikakeikan yhteydessä. Luonnonilmiöstä johtuva jakeluverkon odottamaton käyttökeskeytys oli tyhjentänyt S5-logiikan RAM-muistin, josta seurasi kuljettimen pysähtyminen ja seisakki kaasuntäyttöprosessiin. S5:ttä saatiin tekoehditettyä EPROM-piirille poltetun ohjelman avulla ja kuljetin takaisin käyttökuntoon. Samassa yhteydessä asiakkaan kanssa keskusteltiin hyvin palvelleen, mutta varsin ikääntyneen logiikan uusimistarpeesta. Myöhemmin projekti realisoitui, josta tämä opinnäytetyö kertoo.

Opinnäytetyön päätavoitteena on kuljetinjärjestelmän Siemens S5 -logiikan korvaaminen. Laite ei enää kuulu valmistajan tuen piiriin, jonka vuoksi varaosien saatavuus on merkittävästi heikentynyt. Logiikan vaihdolla uudempaan S7-tuoteperheeseen pyritään lisäämään kuljettimen elinkaarta ja käyttövarmuutta. Työssä tutkitaan migraatioprojektissa huomioitavia seikkoja ja esitetään sekä toteutetaan valittuja ratkaisuja.

Välitavoitteet, joiden avulla saavutetaan haluttu lopputulos ovat seuraavia. Kuljetinjärjestelmän rakenne selvitetään alkaen toimintakuvauksesta ja päättyen automaatio- sekä sähköjärjestelmän kartoitukseen. Automaatiojärjestelmän osalta selvitetään komponenttien valintaa sekä logiikkaohjelman konvertointiin liittyviä teemoja. Sähköjärjestelmän tarvitsemat muutokset arvioidaan ja piirretään nykyaikaisella tietomallipohjaisella tavalla uudet sähköpiirustukset. Muutostyössä otetaan huomioon myös koneturvallisuuden liittyvät aihealueet, jotka koskevat vanhan koneen muutostöitä. Niistä esitetään lakiin ja asetuksiin pohjautuvat perustelut vaadittaville muutoksille, jotka toteutetaan koneturvallisuusstandardeja soveltamalla. Työ sisältää projektin kaikki vaiheet suunnittelusta toteutukseen ja käyttöönottoon.



## 2 KAASUN TÄYTTÖLINJASTON KULJETTIMEN TOIMINTAKUVAUS

Kuljetinjärjestelmä sijaitsee Linden tehtaalla Oulussa. Toimipisteessä käsitellään mm. kuvassa 1 näkyviä alle 50 litran kaasupulloja, jotka lähetetään asiakkaille. Kaasupullojen logistiikka tapahtuu metallihäkkien avulla. Asiakkaalta tuodaan tyhjiä pulloja häkit rekalla, josta ne siirretään trukilla välivarastointiin. Välivarastosta tyhjiä pulloja häkit siirretään kuljetinlinjoille, jotka siirtävät häkit edelleen täyttöasemalle. Kaasupullojen täytön jälkeen kuljetin vie ne purkupaikalle. Purkupaikasta täysien kaasupullojen häkit siirtyvät trukilla välivarastoon odottamaan kuljetusta asiakkaille.

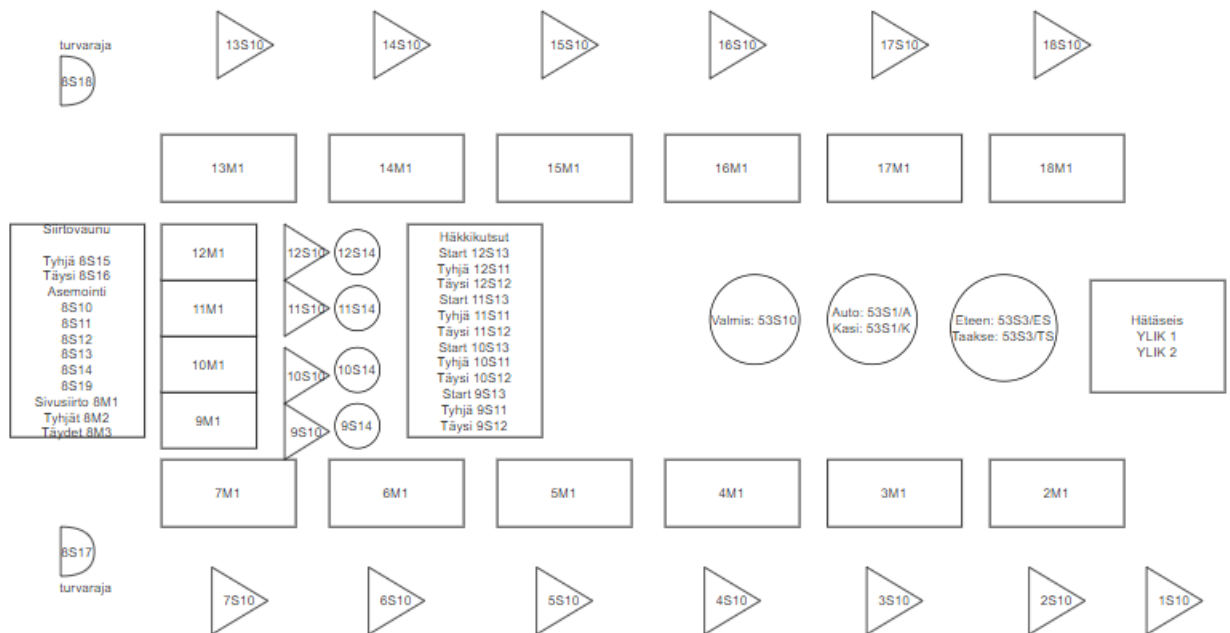


*KUVA 1. Erikokoisten kaasupullojen kuljetushäkkejä.*

Kuljetinjärjestelmä jakautuu kahteen osaan: sisä- ja ulkorataan. Molemmat osat ovat keskenään lähes identtisiä. Ne kykenevät toimimaan toisistaan erillään ja siirtelevät häkkejä saman täyttöaseman eri täyttöpisteille. Ratojen toiminnalliset osuudet käsitellään yhdessä, koska eroavaisuudet rajoittuvat niin mekaanisesti kuin ohjelmallisestikin lähinnä positiotunnuksiin. Molemmat radat tai linjat koostuvat ketjukuljetinmoduuleista, joiden välillä siirrettävät häkit liikkuvat. Kuljettimen laitteisto perustuu robustiin tekniikkaan. Kenttälaitteet koostuvat induktiivisista antureista ja valokennoista. Moottorilähdöt ovat suoria, taajuusmuuttajia ei ole. Kuljetinjärjestelmää ohjataan keskitetysti S5-logiikalla yhdestä moottorikeskuksesta. Käyttöliittymänä toimivat nokkakytkimet ja merkkivalot.

## 2.1 Linja 1 (sisärata)

Kuvassa 2 on toimintakuvausta avaava piirros linjasta 1. Linja 1 käynnistyy, kun syöttöradan lastauspäähän tuodaan trukilla häkki, jonka valokenno 1S10 tunnistaa ja logiikkaan asetetut ehdot täyttyvät. Kyseisen linjan syöttöradan kuljetinmoottorit, joita on kuusi kappaletta, on nimetty lastauspäästä lähtien 2M1-7M1-posiioilla. Moottorit sijaitsevat omassa modulissaan, joissa on vastaavasti nimetyt valokennot 2S10-7S10, jotka tunnistavat häkin sijainnin linjalla.



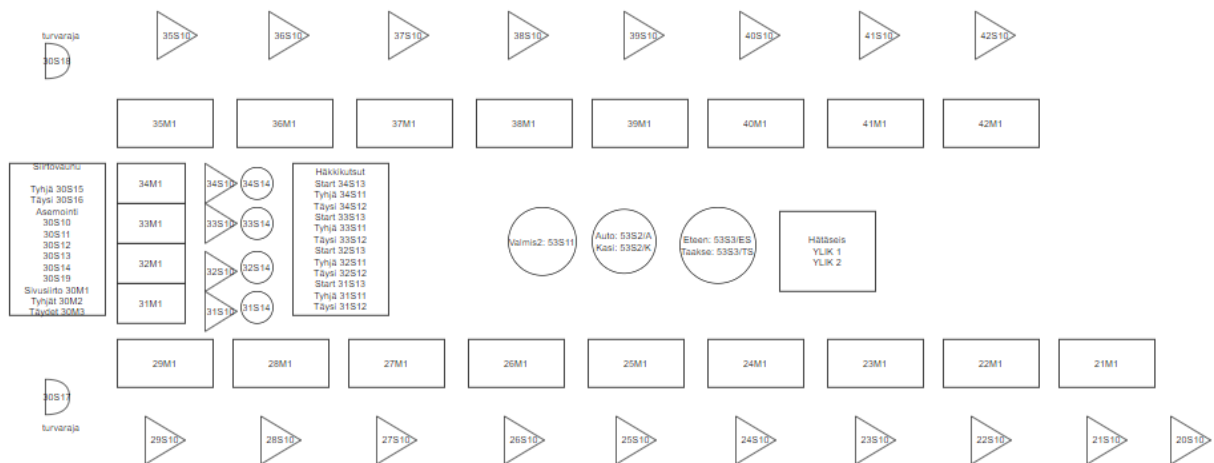
KUVA 2. Sisäradan rakenne.

Siirtovaunussa on kolme moottoria. Vaunun tyhjiä häkkeitä vastaanottava kuljetin on positioltaan 8M2, täysiä häkkeitä täyttöpaikalta hakevan positiio on 8M3 ja vaunun sivusiirrosta vastaavan moottorin positiio on 8M1. Siirtovaunu syöttää ja purkaa neljää täyttöpaikkaa 9–12. Kullakin täyttöpaikalla on oma kuljetinmoottori, joka on vastaavasti positiioitu 9M1-12M1.

Siirtovaunu vie täydet häkit täyttöpaikalta purkuradalle. Purkurata on peilikuva syöttöradasta, eli muuten samanlainen mutta häkkien siirto tapahtuu vastakkaiseen suuntaan. Purkuradalla on kuusi kuljetinmoduulia, joista kullekin on positiioitu moottorit 13M1-18M1 ja vastaavasti valokennot 13S10-18S10. Trukki purkaa täydet häkit purkuradan loppupäästä eteenpäin.

## 2.2 Linja 2 (ulkorata)

Kuvassa 3 on toimintakuvausta avaava piirros linjasta 2. Linja 2 käynnistyy kun syöttöradan lastauspäähän tuodaan trukilla häkki, jonka valokenno 20S10 tunnistaa ja logiikkaan asetetut ehdot täyttyvät. Kyseisen linjan syöttöradan kuljetinmoottorit, joita on yhdeksän kappaletta, on nimetty lastauspäästä lähtien 21M1-29M1-posiioilla. Moottorit sijaitsevat omissa moduuleissaan, joissa on vastaavasti nimetyt valokennot 21S10-29S10, jotka tunnistavat häkin sijainnin linjalla.



KUVA 3. Ulkoradan rakenne.

Siirtovaunu sisältää kolme moottoria. Vaunun tyhjiä häkkeitä vastaanottava kuljetin on positioltaan 30M2, täysiä häkkeitä täyttöpaikalta hakevan positiio on 30M3 ja vaunun sivusiirrosta vastaavan moottorin positiio on 30M1. Siirtovaunu syöttää ja purkaa neljää täyttöpaikkaa 31–34. Kullakin täyttöpaikalla on oma kuljetinmoottori, joka on vastaavasti positiioitu 31M1-34M1.

Siirtovaunu vie täydet häkit täyttöpaikalta purkuradalle. Purkurata on lyhyempi kuin syöttörata mutta muuten toiminnaltaan peilikuva syöttöradasta. Purkuradalla on kahdeksan kuljetinmoduulia, joista kullekin on positiioitu moottorit 35M1-42M1 ja vastaavasti valokennot 35S10-42S10. Trukki purkaa täydet häkit purkuradan loppupäästä eteenpäin.

## 2.3 Syöttörata

Linjan käynnistävä valokenno sijaitsee syöttöradan alkupäässä, joka voidaan nähdä kuvasta 4. Valokenno tunnistaa trukin, mikäli trukilla on ajettu vähintään 15 cm:n päähän kuljettimesta. Tunnistuksen jälkeen ensimmäinen kuljetinmoduuli käynnistyy. Häkin siirtyessä moduulin loppupäässä olevan valokennon alueelle käynnistyy seuraavan moduulin kuljetin. Häkki siirtyy vastaavasti syöttöradan loppuun tai seuraavalle vapaalle kuljetinmoduulille. Syöttörata voidaan ladata täyteen tyhjiä häkkeitä yhdellä kertaa, josta niitä syötetään siirtovaunulle.



KUVA 4. Yhden linjan syöttörata.

Syöttöradan siirtäessä tyhjän häkin siirtovaunulle siirtyvät kaikki häkit eteenpäin automaattisesti, niin että syöttöradan lopussa on aina häkki valmiina siirtovaunulle. Häkki ei siirry automaattisesti siirtovaunulle, mikäli "Valmis"-painiketta, ei ole painettu uuden häkin siirtyessä radan viimeiselle kuljetinmoduulille. Häkki tulee aina kuitata painikkeella.

## 2.4 Siirtovaunu

Siirtovaunu, joka on esitetty kuvassa 5, sijaitsee kiskoilla syöttöradan loppupäässä. Vaunulla on aktivoituessa 10 sekunnin lähtöviive, jotta mahdollisesti kutsuttu tyhjä häkki syöttöradalta ehtii siirtyä vaunuun. Vaunun aloittaessa sivusiirron kohti täyttöaseman täyttöpisteitä lähtee se ensin täydellä nopeudella liikkeelle ja vaihtaa hitaalle nopeudelle lähestyessään määrättyä täyttöpistettä. Kaksinopeusmoottorilla vaihdetaan käämityksiä eri nopeuksille virran pysyessä lähes samana tehon vaihtuessa. Periaatteessa vaunun hitaammalla puolella saavutetaan suurempi vääntömomentti.



KUVA 5. Yhden linjan siirtovaunu. Kuvan siirtovaunu on juuri purkanut täyden häkin kyydissään tyhjä häkki.

Vaunu paikoittaa tyhjän häkin siirtokuljettimensa täyttöpisteen kuljettimen kanssa linjaan tuodesaan tyhjää häkkiä täyttöpisteelle. Siirtovaunun paikoitus on toteutettu induktiivisilla antureilla, jotka nähdään kuvassa 6. Paikoitus toimii siten, että jokaisella täyttöpisteellä on oma yhdistelmä säädetäviä vastinraudoituksia, jonka induktiiviset anturit tunnistavat. Kuvassa 6 on esitetty fyysinen rakenne vasemmalla ja logiikkaan toteutettu rakenne oikealla. Paikoituksen jälkeen vaunun ja täyttöpisteen kuljetinmoottorit käynnistyvät siirtäen häkin täyttöpaikan nostolaitteelle. Nostolaite tunnistaa siirtyneen häkin, joka pysäyttää kuljetinmoottorit. Vaunun hakiessa täyttä häkkiä pois täyttöpisteeltä, tapahtuu toiminnallisuus vastaavasti. Erotuksena on, että vaunu paikoittaa täysien häkkien siirtokuljettimensa nostolaitteen kuljettimen kanssa samaan linjaan.



KUVA 6. Siirtovaunun paikoitusinkkarit ja täyttöaseman vastinraudoitus vasemmalla. Logiikkaohjelmaan tuotu anturitieta oikealla.

Vaunu saa käskyjä täyttöaseman pisteiltä ja niiden perusteella tuo tyhjän häkin tai hakee täyden häkin tai tekee molemmat. Ohjelmallisesti vaunu muistaa vain ensimmäisen kutsupisteen sijainnin. Usean eri täyttöpisteen kutsun tapauksessa se palvelee näitä sijainti järjestyksessä suhteessa omaan sijaintiinsa, eli siirtyy lähimmälle kutsun suorittaneelle pisteelle. Toiminnallisuus on perua ohjelman rakenteesta, joka koostuu funktioista. Käytössä ei ollut tietokantablokkia tai muunlaista rekisteriä kutsujärjestyksen tallentamista varten.

## 2.5 Täyttöasema

Täyttöpisteillä, joita on neljä kappaletta linjaa kohden, on kullakin omat painikkeet siirtovaunun kutsua varten. Pisteillä on oma nostolaite, joka siirtää häkkiä vertikaalisesti lattiatasosta täyttöpisteelle ja päinvastoin. Kuvassa 7 näkyvää nostolaitetta ohjataan paikallisesti kahdella napilla, joita ei ole kytketty ohjelman suoritukseen.



KUVA 7. Täyttöpisteen nostolaite.

Jokaisella kuvan 7 täyttöpisteellä on kuvassa 8 esitetty ohjain. ”Tyhjä”-painikkeella kutsutaan siirtovaunua tuomaan tyhjä häkki. Nostolaitteen alatasolla sijaitseva valokenno ei saa havaita esteitä, muuten kutsu ei toteudu. Tarkoitus on varmistaa, että alas lasketulla nostolaitteella ei ole häkkiä. Lukuun ottamatta tilannetta, jossa on ensin painettu täyden haku ja tyhjän tuonti, tässä järjestyksessä kutsut tallentuvat suoritettavaksi. ”Täysi”-painikkeella kutsutaan siirtovaunua viemään täysi häkki. Kutsua varten on nostolaitteen lattiatason lähellä sijaitsevan häkin tunnistavan rajan oltava aktiivinen, eli häkki on laskettu alas valmiiksi siirtovaunulle. Tämän lisäksi nostolaitteen tunnistavan rajan tulee olla aktiivinen kuten tyhjän häkin tuonnissakin. ”Start”-painikkeella kuitataan edelliset käskyt ja annetaan siirtovaunulle lupa suorittaa.



*KUVA 8. Yhden täyttöpisteen ohjauskapula.*

## **2.6 Purkurata**

Siirtovaunun tullessa täyden häkin kanssa purkuradan, joka näkyy kuvassa 9, alkupäähän käynnistyvät purkuradan ensimmäinen ja siirtovaunun kuljetinmoottori. Siirtovaunun kuljetinmoottori pysähtyy täyden häkin saapuessa purkuradan ensimmäiselle ketjukuljetinmoduulin valokennolle. Purkuradan seuraava kuljetinmoduuli käynnistyy samanaikaisesti. Häkki siirtyy vastaavalla logiikalla kohti purkuradan ensimmäistä vapaata paikkaa. Valokennot tunnistavat häkin sijainnin radalla. Niiden syötteen perusteella käynnistetään seuraava kuljetin ja vastaavasti pysäytetään edeltävä kuljetin.



*KUVA 9. Yhden linjan purkurata siirtovaunun päästä katsottuna.*

Trukki purkaa häkkeitä radan loppupäästä, jossa sijaitseva valokenno tunnistaa häkin poistuneen. Tämän seurauksena radan kuljettimet, joilla vielä sijaitsee täysiä häkkeitä, käynnistyvät siirtäen häkkeitä loppupäähän trukkia varten. Rata voidaan lastata vastaavasti häkeillä kuin syöttörata.



## 2.7 Ajotavat

Kuljetinjärjestelmä on suunniteltu käytettäväksi automaattiajotavalla. Käännettäessä kytkin automaattiajotilaan hälytyssummeri ja majakkavilkkuvalo toimivat antaen varoitussignaalin linjalla työskenteleville kuljetinjärjestelmän käynnistymisestä. Tämän jälkeen automaattiajo on valmis toimintaan edellä kuvatulla tavalla.

Häiriötilanteita varten logiikkaohjelmassa on mahdollisuus käsiajolle, joka tarkoittaa manuaalista ketjukuljetinmoduulien ajoa operaattorin toimesta. Ajotavat valitaan kolmiasentoisella nokkakytkimellä, joka sijaitsee kuvassa 10 näkyvässä käyttöliittymässä. Linjoilla on oma ajotavan valintakytkin. Asennot kytkimellä ovat seuraavat: ”Käsi – 0 – Autom”. Ajotavan valinnan lisäksi kuvassa 10 näkyvät käsiajoon liittyvät moottorin valinta- ja ohjauskytkimet. Viisiasentoisella nokkakytkimellä ”Start – Eteen – 0 – Taakse – Start” valitaan suunta, johon valittua moottoria halutaan ajaa. Ensimmäinen valitaan suunta, jonka jälkeen käännetään kytkin ”Start”-asentoon. Käsiajosta huolimatta ohjelmassa on lukituksia, jotka helpottavat koneen käyttöä ja estävät koneen väärinkäyttöä.



KUVA 10. Ohjauspulpetti.

Käsiajo valitaan kuvan 10 kolmiasentoisella nokkakytkimellä. Ajotavalla voidaan jokaista järjestelmän moottoria ajaa erikseen käsikäyttöisesti. Käsiajon tarkoitus on saada järjestelmä sellaiseen tilaan häiriön jälkeen, että automaattiajoa voidaan jatkaa. Käsiajoa varten on kuvassa näkyvät kolme nokkakytkintä ohjauspulpetin alaosassa. Vain yhtä linjaa voidaan ajaa kerrallaan käsiajolla. Kymmenenasentoisilla nokkakytkimillä, joita on kaksi kappaletta, valitaan käsin ajettava moottori.



Käsiäjoa varten moottorin positio valitaan seuraavasti taulukon 1 mukaan: Ensimmäinen kiertokytkin valitsee position kymmenyksen väliltä 0–9 ja toinen kiertokytkin valitsee position viimeisen lukuarvon väliltä 0–9. Esimerkiksi, jos halutaan valita kakkoslinjan siirtovaunun moottori 30M3, joka siirtää täysiä häkkeitä täyttöpisteeltä siirtovaunuun ja edelleen purkuradalle, käännetään ensimmäinen kiertokytkin 9-asentoon ja toinen kiertokytkin 3-asentoon. Siirtovaunua lukuun ottamatta muut moottoripositiot valitaan loogisesti position perusteella. Esim. moottorilla 2M1 on kytkimien asento 0 ja 2.

TAULUKKO 1. Moottorin valinta käsiäjossa.

Linja 1 (sisärata)			Linja 2 (ulkorata)		
Kiertokytkimien asennot		Moottorin positio	Kiertokytkimien asennot		Moottorin positio
Vasen (kymmenet)	Oikea (ykköset)		Vasen (kymmenet)	Oikea (ykköset)	
0	2	2M1	2	1	21M1
0	3	3M1	2	2	22M1
0	4	4M1	2	3	23M1
0	5	5M1	2	4	24M1
0	6	6M1	2	5	25M1
0	7	7M1	2	6	26M1
8	1	8M1	2	7	27M1
8	2	8M2	2	8	28M1
8	3	8M3	2	9	29M1
0	9	9M1	9	1	30M1
1	0	10M1	9	2	30M2
1	1	11M1	9	3	30M3
1	2	12M1	3	1	31M1
1	3	13M1	3	2	32M1
1	4	14M1	3	3	33M1
1	5	15M1	3	4	34M1
1	6	16M1	3	5	35M1
1	7	17M1	3	6	36M1
1	8	18M1	3	7	37M1
HUOM			3	8	38M1
Keltaisella merkitty siirtovaunun moottorit			3	9	39M1
M1 Sivusiirto / M2 Tyhjät häkit / M3 täydet häkit			4	0	40M1
			4	1	41M1
			4	2	42M1

## 2.8 Häiriötilanteiden käsittely

Molemmat linjat pysähtyvät, jos yhtä tai useampaa hätäpysäytyspainiketta on painettu. Sama pätee, mikäli yksi, tai molemmat kahdesta turvaovesta avautuvat. Turvalaitteiden toimielimiä ei ole sidottu alueisiin, vaan yhden toimielimen aktivointi vaikuttaa molempiin linjoihin. Ohjelmallisesti toiminnot nollautuvat, mikä tarkoittaa sitä, että mahdolliset täyttöaseman kutsut pyyhkiytyvät muistista. Mikäli hätäpysäytystilanteessa häkin sijainti on sellainen, että automaattiajotila ei osaa jatkaa eteenpäin tilanteen mentyä ohi, tulee käyttää käsiäjoa.

Moottoreilla on ylikuormitussuojat. Suojan toimiessa linja, jolla moottori sijaitsee, pysähtyy. Ohjelmallisesti toiminnot nollautuvat kuten hätäpysäytyksessä. Ylikuormasta ilmoitetaan keskuksen kanssa sijaitsevalla merkkivalolla.

Sähkökatkon vuoksi ohjelman toiminnot nollautuvat vastaavasti kuin edellisissä kohdissa. Huomioitavaa alkuperäisessä ohjelmassa on, että mikäli kytkin on sähköjen palautuessa edelleen automaattitilassa, jatkaa kuljetin automaattitilan toimintaa. Järjestelmä antaa aiemmin mainitun merkin summerilla ja valolla ennen automaattiajon käynnistymistä. Sama toiminnallisuus esiintyy myös tilanteessa, jossa hätäpysäytyspainike on vapautettu tai ylikuormitussuoja on kuitattu ja valintakytkin on edelleen automaattilla.

Kuljettimelle on päässyt vääränlainen häkki tai muu jumitilanne. Järjestelmä tunnistaa häkit valokennojen avulla, jolloin on mahdollista, että kuljettimille pääsee sinne kuulumattomia tai rikkinäisiä häkkeitä. Mikäli operaattori ei asiaa havaitse ja kytke linjaa 0-tilaan, voi moottorinsuoja toimia riippuen jumitilanteesta. Ohjelmallisesti ei ole olemassa varsinaisia hälytysviiveitä häkin siirrolle ketju-kuljetinmoduulilta toiselle.

### 3 OHJELMOITAVAT LOGIIKAT

Luvussa esitellään työssä käytetyt ohjelmoitavat logiikat, sekä niihin liitetyt IO-kortit. Työssä vaihdetaan Siemens Simatic S5 -tuoteperheen laitteet Siemens Simatic S7 -laitteisiin. Laittevalintaan liittyviä asioita käsitellään yleisesti sekä projektin kannalta.

#### 3.1 Siemens Simatic historia

Simatic-tuoteperheen ensimmäinen julkaisu tapahtui vuonna 1958 ja sitä seurasi tuoteperheen ensimmäinen suuri harppaus vuonna 1959, jolloin julkaistiin transistoripohjainen Simatic G -sarja. Tämä oli aikanaan mullistava uutuus relepohjaiseen ohjaukseen. G-sarjaa seurasivat N-sarja, S3-sarja ja saksalaisella logiikalla viimein S5-sarja vuonna 1979. Siemens Simatic S5 oli julkaisuikanaan yksi edelläkävijöistä ohjelmoitavissa logiikoissa, mm. koska se hyödynsi ensimmäisinä järjestelminä tietokonepohjaista ohjelmistosuunnittelua. Ohjelmointi tapahtui STEP 5 -ohjelmistolla, joka tuki MS-DOS-, CP/M- ja myöhemmin Windows-käyttöjärjestelmää. (1.)

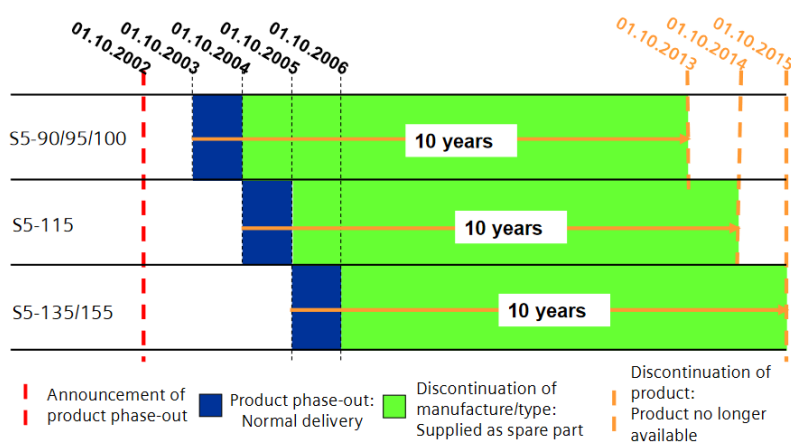
Siemens Simatic S7 oli seuraaja S5:lle, joka julkaistiin vuonna 1994. Tuoteperhe sisälsi tuolloin S7-200-, S7-300- ja S7-400-sarjat, joista tässäkin työssä käytettävästä S7-300-sarjasta tuli ylivoimaisesti suosituin. Uusi tuoteperhe toi mukanaan merkittäviä uutuuksia, kuten tuen aikanaan suhteellisen uudelle Profibus-kenttäväylälle, joka mahdollisti kehittyneen tiedonsiirron. Uutuutena tuli niin ikään helppokäyttöisempi ja visuaalisemman käyttöliittymän omaava STEP 7 -ohjelmointiympäristö. Myöhemmin Siemens tuli vielä kehittämään S7-tuoteperheelle TIA-portaalin (1996) sekä suosittut S7-sarjat S7-1200 (2009) ja S7-1500 (2012). (1.)

#### 3.2 Elinkaari

Alkuperäinen Siemens S5-tuoteperheen laitteisto oli aikanaan asennettaessa 1990-luvun puolivälissä jo elinkaarensa loppupuolella. Keskusyksikön valmistaminen ilmoitettiin lopetettavaksi elokuussa 1996 (2). Seuraava takaraja keskusyksikölle asetettiin lokakuulle 2005, josta kertoo alla oleva kuva 11. Kuvassa on esitetty vuoden 2015 migraatio-oppaassa oleva S5-tuoteperheen vaiheittainen lopettaminen. Kuva ei pidä varsinaisesti paikkaansa, sillä Siemens ilmoitti helmikuussa

2020 aikovansa lopettaa S5-tuoteperheen tukemisen lopullisesti lokakuussa 2020, ihan oikeasti tällä kertaa. (5.)

SIMATIC S5 product phase-out schedule



KUVA 11. Siemens simatic S5 asteittainen lopetus aikataulu (4, s. 15)

Näyttää siltä, että legendaarisen S5-sarjan tarina on todellakin loppumassa. Syy, miksi Siemens jatkoi useampaan otteeseen tukea, voi olla yksinkertaisesti laitteiden valtava määrä ja paine asiakailta tuen jatkamiselle. Voidaan pitää kuitenkin melkoisena saavutuksena, että S5 eri muodois- saan oli tuen piirissä vuosina 1979–2020.

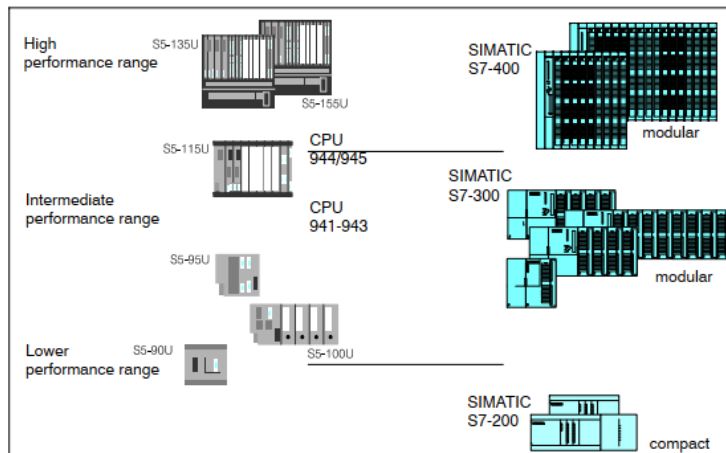
Alla olevassa kuvassa 12 on esitetty työssä asennetun uuden S7-300-sarjan keskusyksikön, eli CPU:n elinkaari. Uusien valmistus lopetetaan lokakuussa 2025 mutta tuen loppumispäivää ei ole vielä päätetty, vähintään varaosien saatavuus on taattu lokakuulle 2033. Samat päivämäärät päte- vät kaikkiin S-300-sarjan laitteisiin sisältäen IO-kortit. (6.) Voidaan huomata, että uuden logiikan asennuksessa oltiin osittain vastaavassa tilanteessa kuin alun perin. Valittu logiikkaohjain on elin- kaarensa loppupuolella, mutta tukea varaosien muodossa on saatavilla vielä pitkään, eikä tuen lopetus päivämäärää ole asetettu.

Phase out planning + Migration from S7-300 / ET 200M					
MLFB	Description	Beschreibung	Announcement of product phase-out (PM410) available as new part until PM410	Product cancellation (PM410) available only as spare part, delivery may be restricted	Product discontinuation (PM400) spare parts not available any more, only in case of warranty
6ES7314-1AG14-0AB0	SIMATIC S7-300, CPU 314 Central processing unit with MPI, integr power supply 24 V DC, work memory 128 KB, Micro Memory Card required	SIMATIC S7-300, CPU 314 Zentralbaugruppe mit MPI, integr Stromversorgung DC 24V, Arbeitsspeicher 128 KByte, Micro Memory Card erforderlich	1.10.2023	1.10.2025	not planned, but not before 01.10.2033

KUVA 12. Siemens simatic S7 asteittainen lopetus aikataulu (6.)

### 3.3 Laitevalinta

Alla oleva kuva 13 on eräästä järjestelmien migraatio-oppaasta. Se havainnollistaa eri vaihtoehtoja verrattaessa alkuperäistä keskusyksikköä korvaavaan malliin. Tässä vuoden 2010 oppaassa ei ole esitetty vastaavuuksia S7-1200- tai S7-1500-CPU:lle. Uudemmasta vuoden 2015 oppaasta ne kuitenkin löytyvät. Kuvan perusteella S5-115U osuu keskivaiheille, eli sille korvaava tuote löytyy tämän oppaan mukaan S7-300-sarjasta. Valintaa tukevat kohteen tyyppi, jossa ei ole käytössä vaativaa laskentaa, liikkeenohjausta, tai muuta keskusyksikköä kuormittavaa toimintaa, joka vaatisi enemmän prosessoritehoa. Väylää ei ole myöskään käytössä, joten välitöntä tarvetta kehittyneemmille ja paremmat tietoliikenneominaisuudet sisältäville S7-sarjoille kuten 1200- tai 1500-sarjat ei esiintynyt.



KUVA 13. Siemens simatic S7 CPU valinta (7, s. 14)

### 3.4 Siemens Simatic S5-115U CPU 941B

S5-115U-mallisarja sisältää keskusyksiköt 941, 942, 943 ja 944. Keskusyksiköissä suurempi numero tarkoittaa parempaa suorituskykyä, joten tästä voidaan päätellä, että alun perin valittu otsikon keskusyksikkö oli kyseisen keskitason mallisarjan alkupään laite. Kuvassa 14 on esitetty alkuperäisen logiikkaohjaimen, CPU 941:n, tekniset tiedot. Laskentateho on ilmoitettu siten, että montako millisekuntia kuluu tuhannen käskyn suorittamiseen. Käskyjen kompleksisuuden mukaan aika voi olla pienempi tai suurempi kuin kuvassa ilmoitettu arvio. Kompleksinen käsky tarkoittaa monimutkaista, useaa kellojaksoa prosessorilta vaativaa suoritusta, kuten 270 mikrosekuntia vaativa data-

blokin luonti suorituksen aikana. Alkuperäinen ohjelma koostui hyvin pitkälle AND- ja OR-operaatioista, sekä SR-kiikuista, jotka käyttävät vähiten, 1,6 mikrosekuntia laskentatehoa. (8, s. 25, 606, 611.)

	CPU 941	CPU 942	CPU 943	CPU 944
Execution time per - 1000 statements (see Appendix A for specific information)	Approx. 10 msec.	Approx. 10 msec.	Approx. 5 msec.	Approx. 1.5 msec.
Internal program memory (RAM)	2 Kbytes	10 Kbytes	48 Kbytes	96 Kbytes
Total program memory, maximum	18 Kbytes*	42 Kbytes*	48 Kbytes	96 Kbytes
Cycle monitoring time	Default approx. 500 ms, programmable			
Program scanning	Cyclic, interrupt-driven, time-controlled			
Address range, maximum (digital inputs)	1024 I 0.0 to I 127.7			
Address range, maximum (digital outputs)	1024 Q 0.0 to Q 127.7			
Address range, maximum (analog inputs)	64 PW 128 to PW 254			
Address range, maximum (analog outputs)	64 PW 128 to PW 254			
Flags	1024, optionally	<ul style="list-style-type: none"> <li>• all retentive</li> <li>• half retentive</li> <li>• all non-retentive</li> </ul>		
Timers	128, optionally	<ul style="list-style-type: none"> <li>• all retentive</li> <li>• half retentive</li> <li>• all non-retentive</li> </ul>		
Counters	128, optionally	<ul style="list-style-type: none"> <li>• all retentive</li> <li>• half retentive</li> <li>• all non-retentive</li> </ul>		
Time range	0.01 to 9990 s			
Counting range	0 to 999			
Operation set	Approx. 170 operations			

\* Sum from the internal program memory and submodule

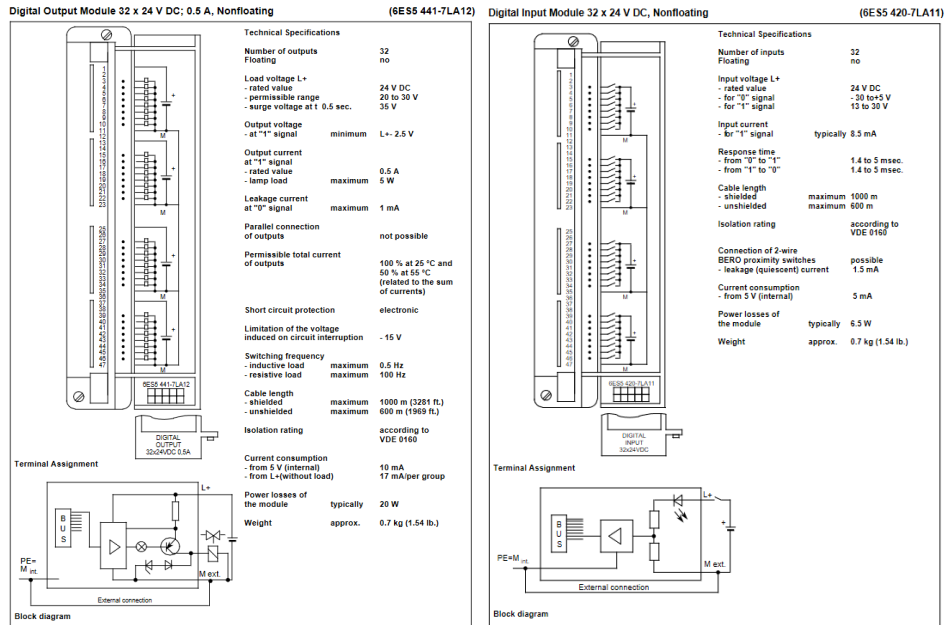
#### KUVA 14. S5-115U CPU 941B tekniset tiedot (8, s. 37)

Logiikan julkaisuhetkellä prosessoritehot, keskusmuistin ja massamuistin määrät olivat valmistuskustannusten vuoksi pieniä nykypäivästä katsottuna. Tästä syystä ohjelmoijan kannatti tehdä mahdollisimman vähän resursseja kuluttavaa koodia, mikä usein tarkoitti yksinkertaistettua ohjelmaloogiikkaa, jossa tarkoituksella vältettiin erikoiskäskyjä, jotka kuluttivat enemmän tehoa ja muistia. Tämän työn logiikkaohjelmasta huomataan vastaava resurssien säästö. Esim. reunantunnistuksen yhteydessä ei ole hyödynnetty datablokkia tai CPU:n flag-bittejä, vaan se on toteutettu yksinkertaisilla loogisilla operaatioilla. Haittapuolena on ohjelman luettavuuden heikentyminen sekä se on ollut aikaa vievämpää toteuttaa. Nykypäivän suuntaus on vastakkainen, ohjelmointityö on suhteessa kalliimpaa kuin laitteisto.

### 3.5 S5-sarjan digitaaliset lähtö- ja tulokortit

Keskusyksikköön on liitetty kaksi alla olevan kuvan 15 vasemmalla puolella olevaa lähtökorttia ohjaamaan pääasiassa moottoreiden kontaktoreita. Lähtökortin tekniset tiedot on esitetty kuvassa vasemmalla, joista esittelen muutamia tärkeitä poimintoja valittaessa uusia vastaavia kortteja. Kortissa on 32 digitaalista lähtöä, lähtöjen käyttöjännite on 24 VDC, maksimivirta lähtöä kohden on 0.5

A ja lähdöt eivät ole kelluvia. Keskusyksikköön on liitetty neljä kuvan 15 oikealla esitettyä tulokorttia, jotka saavat syötteen pääasiassa valokennoilta ja induktiivisilta antureilta. Huomioitavia teknisiä tietoja ovat seuraavat: kortissa on 32 digitaalista tuloa, tulojen käyttöjännite on 24 VDC ja ne eivät ole kelluvia.



KUVA 15. 6ES5 441-7LA12 ja 6ES5 420-7LA11 tekniset tiedot (8, s. 559, 548)

### 3.6 Siemens Simatic S7-300 CPU 314

Alla olevassa kuvassa 16 on esitetty korvaavan logiikan teknisiä tietoja. Alkuperäiseen logiikkaan verrattaessa voidaan huomata keskusmuistin määrän kasvaneen 64-kertaiseksi sekä muistikorttia käytettäessä massamuistin koko on 62-kertainen verrattaessa aiempaan S5 CPU:hun. Laskentatehon vertailussa voidaan arvioida tehon kasvaneen vajaat 27-kertaiseksi yksinkertaisilla loogisilla operaatioilla. Laitteiden kehitystahti on nopeaa ja voidaan pohtia sen vaikutusta ohjelmointifilosofiaan. Kuvassa esitettyjen teknisten tietojen lisäksi logiikalla on huomattavasti enemmän ominaisuuksia ja tukea monipuolisille tietoliikenneyhteyksille verrattaessa S5:seen. Niitä ei käydlä lävitse, koska projektissa kyseisiä ominaisuuksia ei hyödynnetä. Voidaan todeta, että teknisten arvojen perusteella uusi logiikka on vähintäänkin riittävä.

Technical specifications	
<b>CPU and version</b>	
• MLFB	6ES7314-1AG14-0AB0
• Hardware version	01
• Firmware version	V3.3
• Associated programming package	STEP 7 as of V5.5 + SP1 or STEP 7 as of V5.2 + SP1 with HSP 218
<b>Memory</b>	
Main memory	
• Integrated	128 KB
• Expandable	No
• Maximum size of non-volatile memory for retentive data blocks	64 KB
Load memory	
• Pluggable (MMC)	Yes
• Pluggable (MMC), max.	8 MB
• Data retention on the Micro Memory Card (after the last programming action), min.	10 years
Backup	
• Available	Yes (ensured with Micro Memory Card - maintenance-free)
• Without battery	Yes (program and data)
<b>Execution times</b>	
• For bit operation, min.	0.06 µs
• For word operations, min.	0.12 µs
• For fixed-point arithmetic, min.	0.16 µs
• Minimum for floating-point arithmetic	0.59 µs

KUVA 16. S7-300 CPU 314 tekniset tiedot (9, s.311)

### 3.7 S7-sarjan digitaaliset lähtö- ja tulokortit

Korvaavien lähtö- ja tulokorttien tekniset tiedot on esitetty alla olevassa kuvassa 17. Lähtökortin tiedot ovat vasemmalla ja tulokortin tiedot oikealla. Molemmat korttityypit vastaavat ominaisuuksiltaan korvattavia korttityyppejä. Tärkeimpiä vastaavuuksia ovat lähtöjen ja tulojen lukumäärä sekä käyttöjännite. Tulokorteilla maksimivirta lähtöä kohden vastaa myös korvattavia kortteja.

SM 322; DO 32 x DC 24 V/0.5 A - Technical specifications

Technical specifications	
<b>Dimensions and weight</b>	
Dimensions W x H x D (mm)	40 x 125 x 117
Weight	ca. 260 g
<b>Module-specific data</b>	
Supports isochronous mode	no
Number of outputs	32
Cable length	max. 600 m max. 1000 m
• unshielded	
• shielded	
<b>Voltages, currents, electrical potentials</b>	
Rated load voltage U <sub>L</sub>	24 V DC
Total current of outputs (per group)	
• horizontal mounting position to 40 °C to 60 °C	max. 4 A max. 3 A
• vertical mounting position to 40 °C	max. 2 A
<b>Electrical isolation</b>	
• between channels and the backplane bus	yes
• between channels in groups of	yes 8
Isolation test voltage	500 V DC
Current consumption	
• from the backplane bus	max. 110 mA max. 160 mA
• from load voltage U <sub>L</sub> (no-load)	
Power loss of the module	Typ. 6.6 W
<b>Status, interrupts, diagnostics</b>	
Status display	green LED per channel
Interrupts	none
Diagnostic functions	none
<b>Actuator selection data</b>	
Output voltage	
• "1" signal	min. U <sub>L</sub> + (-0.8 V)
Output current	
• "1" signal	
Rated value	0.5 A
Permitted range	0 mA to 0.6 A
• "0" signal (residual current)	max. 0.5 mA
Output delay (resistive load)	
• "0" to "1" transition	max. 100 µs
• "1" to "0" transition	max. 500 µs

Technical specifications of SM 321; DI 32 x DC 24 V

Technical specifications	
<b>Dimensions and weight</b>	
Dimensions W x H x D (mm)	40 x 125 x 120
Weight	ca. 260 g
<b>Module-specific data</b>	
Supports isochronous mode	No
Number of inputs	32
Cable length	Max. 600 m Max. 1000 m
• Unshielded	
• Shielded	
Front connector	40-pin
<b>Voltages, currents, potentials</b>	
Number of simultaneously controlled inputs	
• Horizontal mounting position to 40 °C to 60 °C	32 16 32
• Vertical arrangement to 40 °C	
<b>Electrical isolation</b>	
• between channels and the backplane bus	yes
• Between channels in groups of	Yes 16
Isolation test voltage	500 V DC
Current consumption	
• From the backplane bus	Max. 15 mA
Power loss of the module	Typ. 6.5 W
<b>Status, interrupts, diagnostics</b>	
Status display	Green LED per channel
Interrupts	None
Diagnostic functions	None
<b>Encoder selection data</b>	
Input voltage	
• Rated value	24 V DC 13 to 30 V
• "1" signal	-30 to +5 V
• "0" signal	
Input current	
• "1" signal	Typ. 7 mA
Input delay	
• "0" to "1" transition	1.2 ms to 4.8 ms
• "1" to "0" transition	1.2 ms to 4.8 ms

KUVA 17. 6ES7322-1BL00-0AA0 ja 6ES7321-1BL00-0AA0 tekniset tiedot (10, s. 121, 65)



### 3.8 Yhteenveto laitevalinnasta.

Laitevalinnassa huomioon otettavia seikkoja käsiteltiin edellä projektin näkökulmasta. Ensin harkittiin laitevalmistajaa, jonka tuotteisiin kannattaa päivittää. Tässä tapauksessa Siemensillä on hyvät työkalut migraatioon S5-ympäristöstä S7-ympäristöön. Ohjelmointityö ei ole merkittävä, jos verrat siihen, että valittaisiin jokin muu laitevalmistaja kuin Siemens. Järkevää on myös valita samanlaisia laitteita tai saman valmistajan laitteita kuin kohteessa on jo käytössä. Varaosien varastointi on yksinkertaisempaa, eikä myöskään haittaa, että laitteet ovat tuttuja asentajille ja käyttöhenkilöstölle.

Valmistajalta tulisi valita vastaavia korvaavia keskusyksiköjä ja IO-kortteja, jolla vähennetään muutostöiden työläyttä. Vastaavien kytkentöjen teko on vähemmän aikaa vievää vastaaviin laitteisiin. Huomioidaan valittujen laitteiden elinkaari. Ei ole järkevää laittaa uutena asennuksena liian vanhaa tekniikkaa, jolta pahimmassa tapauksessa tuki on jo loppunut tai juuri loppumassa.

Projektissa valittu korvaava logiikka ei ole kehityksen kärkeä. Tukea on kuitenkin luvassa jatkosakin valmistajalta sillä tuen lopettamispäivämäärää ei ollut asetettu. S-300-sarja on ollut myös suosituin S7-tuoteperheestä, eli laitteita on käytössä erittäin paljon, joka luultavasti tulee vaikuttamaan valmistajan tuen kestoan. Todennäköisempää on, että koneen muut osat rapistuvat ympäriltä ennen kuin valitut logiikkaosat tulevat elinkaarensa loppuun. Valittu logiikka sisältää kaiken tarvittavan toiminnallisuuden ja on teknisten tietojen perusteella vähintäänkin riittävä. Kohteessa ei esiintynyt tarvetta kehittyneemmän S-1200- tai S-1500-sarjan kattavammille ominaisuuksille. Kytkentöjen osalta valitut laitteet ovat vastaavia.

Esiteltyjen laitteiden lisäksi logiikan migraatioon tarvitaan mm. virtalähde, takalevy, backplane adapterit yms. tavaraa. Nekin ovat vastaavia S7- ja S5-tuoteperheiden välillä.

## 4 KONETURVALLISUUS

Koneturvallisuuslainsäädäntöön ottaa kantaa konedirektiivi 2006/42/EY, jota Suomessa sovelletaan kansallisella valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008. Asetus määrittää koneiden osalta valmistajan velvollisuuksia, suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä terveys- ja turvallisuusvaatimuksia sekä vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle ja markkinoille saattamiselle asetettuja määräyksiä. Koneasetusta sovelletaan kaikkiin EU-alueella markkinoille saatettavaan ja omaan käyttöön tuotavaan, tai valmistettavaa konetta varten. Asetusta sovelletaan myös EU:n ulkopuolelta tuotaviin käytettyihin koneisiin. (11.)

Kuljetinjärjestelmä on valmistunut arviolta vuonna 1994. Suomi liittyi EU:hun vuonna 1995, joten on hyvin oletettavaa, että sen aikainen konedirektiivi ei ollut edes voimassa koneen käyttöönottohetkellä, eli kuljettimelta puuttuu kokonaan CE-merkintä. Tämän vuoksi tuleekin selvittää mitä vaatimuksia koneturvallisuuteen liittyen esiintyy vanhan koneen muutoksissa. Tuleeko vanhan koneen täyttää muutostyön jälkeen voimassa olevia koneturvallisuuden direktiivejä, asetuksia ja standardeja, vai riittääkö edelleen se koneturvallisuustaso, jonka se on saavuttanut alkuperäisellä käyttöönottohetkellään?

### 4.1 Koneen muutostyöt ja koneturvallisuus

Konedirektiivi 2006/42/EY ei ota kantaa koneiden muutostöihin, vaan muutostöiden arviointia käsitellään erilaisilla kansallisilla kriteereillä ja soveltamisohjeilla. Mikäli muutostyö katsotaan em. perusteella merkittäväksi, tulee sitä tarkastella konedirektiivin alla, eli vanhan koneen merkittävät muutostyöt tarkoittavat sitä, että lainsäädännön silmissä kyseessä on uusi kone, johon sovelletaan voimassa olevia direktiivejä ja asetuksia. (12.)

Koneasetuksen 400/2008 4. §:n 1a:ssa on avattu koneen määritelmä, jonka alle kuljetinjärjestelmä kuuluu (27). Muutostyöhön ottaa kantaa laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta 1016/2004, jota eduskunta on päivittänyt viimeksi loppuvuodesta 2021. Lain 10. §:ssä todetaan seuraavaa:

*Jos tekniseen laitteeseen tehdään käyttötarkoituksen vastaisia tai muita olennaisia turvallisuuteen vaikuttavia muutoksia, sitä käsitellään uutena laitteena ja siihen sovelletaan, mitä 4 ja 5 §:ssä säädetään (28).*

Laki jättää tulkinnanvaraa siihen, mikä on olennainen muutos.

Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry on suomalaisen teknologiateollisuuden, johon koneellisuuskin kuuluu, standardisoinnin etujärjestö, joka vaikuttaa kansainväliseen ISO- ja eurooppalaiseen CEN-standardisointityöhön. Se laatii toimialansa suomalaiset SFS-standardit, eli toisin sanoen suurin osa voimassa olevista koneturvallisuuteen liittyvistä SFS-standardeista ovat ko. yhdistyksen laatimia yhteistyössä standardisoimisliitto SFS ry:n kanssa. (13.) Yhdistys on julkaissut artikkelisarjan, jossa tulkitaan koneturvallisuudesta annettuja lakeja ja asetuksia sekä sovelletaan niitä käytännön esimerkein. Artikkelisarjassa otetaan kantaa myös koneiden muutostöihin.

Muutostöitä koskevassa artikkelissa jaotellaan koneeseen tehtävät muutokset kolmella luokalla, jotka ovat kunnossapito, muutostyöt ja modernisaatio. Kunnossapito tarkoittaa vanhojen osien korvaamista uusilla sekä tavallisia huolto- ja korjaustoimenpiteitä. Muutostyöt ovat yleensä osa kunnossapitoa, kun on tarvetta korjata tai parantaa koneen toimintaa sekä varmistaa turvallinen käyttö. Oleellista on, että koneen perusrakenne, toiminta- ja käyttötavat pysyvät ennallaan. Muutostyötä laajempi kokonaisuus on modernisointi, jossa tehdään useita muutoksia koneen eri osiin ja järjestelmiin sekä muutetaan osittain koneen rakennetta tai toimintatapaa. Modernisaatio voi johtaa siihen, että kyseessä onkin uusi kone, jolta edellytetään mm. voimassa olevien koneturvallisuusasetusten ja direktiivien ilmoittamien vaatimusten täyttämistä ennen käyttöönottoa. (14, s. 37.)

Kuljetinjärjestelmän tapauksessa on kyseessä kunnossapitoon kuuluva muutostyö. Koneen rakenne, toiminta ja käyttötapa säilyvät ennallaan. Tämä tarkoittaa sitä, että kuljetinjärjestelmän ei tarvitse täyttää voimassa olevaa konedirektiiviä tai siitä säädettyä asetusta. Kyseessä on artikkelissäkin mainittu modernisaatioon liittyvä koneen osien vaihto, toimintakyvyn parantaminen sekä uusien turvalaitteiden asentaminen. Tällöin kyseessä on käytössä olevan koneen uudistaminen. Suomessa käytössä olevien koneiden turvallisuudesta säädetään työturvallisuuslaissa 738/2002 ja siitä annetussa käyttöasetuksessa Vna 403/2008. Kuljetinjärjestelmän on täytettävä ne myös muutostyön jälkeen. Muutostyö tai modernisaatio ei saa myöskään alentaa sitä turvallisuustasoa, jonka se on täyttänyt silloin kun sen vaatimustenmukaisuus on osoitettu. (14, s. 38.)

Käyttöasetuksen Vna 403/2008 viidennessä pykälässä todetaan myös seuraavaa: ”Työväline on pidettävä säännöllisellä huollolla ja kunnossapidolla turvallisena sen käyttöänsä ajan.” (29). Koneen turvallisuustaso ei saa alentua koko elinkaaren aikana laillisesti käyttöön otetulla, eli direktiivien

vaatimukset täyttävällä koneella. Vastuu koneesta on haltijalla, joka käytännössä tarkoittaa työnantajaa, jonka käytössä kone on. Haltija huolehtii koneen turvallisuudesta koko sen käytön ajan kunnossapidon, muutostöiden ja modernisoinnin avulla, joilla yllä pidetään tai parannetaan turvallisuutta. Koneen turvallisuuden on pysyttävä riittävänä, eli vähintäänkin konedirektiivin mukaisella alkuperäistasolla. (14, s. 36–37.) Kuljetinjärjestelmän tapauksessa koneen turvallisuustasoa ylläpidettiin vaihtamalla ikääntynyt logiikka uuteen sekä turvallisuustasoa parannettiin hätäpysäytyspiirin muutostöillä, jotka esitetään seuraavissa kappaleissa.

## 4.2 Kuljetinjärjestelmän koneturvallisuus

Kuljetinjärjestelmän perussuunnittelu on ottanut huomioon turvallisuuskäsitteitä. Lähes koko vaara-alueen, johon kuuluu kuljettimien liikkuvat osat, rajaa teräsrakenteinen aita. Sen sisäpuolelle on vaikea päästä tahattomasti. Poikkeuksina ovat ulkoradan aitaamattomat osuudet, jotka tulisi rajata valoverhoin tai aidalla. Aidan sisäpuolelle pääsee kahdesta turvaovesta, joiden avaaminen aktivoi hätäpysäytyspiirin. Hätäpysäytyspiiriin kuuluu myös hätäpainikkeita, joista yksi esimerkki näkyy kuvassa 20. Ne on sijoiteltu vaara-alueen ulkopuolelle eri osiin molempia linjoja.



KUVA 18. Yksi hätäpysäytyspainikkeista.

Muutamia asioita liittyen käynnistykseen ja hätäpysäytykseen päädyttiin muokkaamaan. Tavoitteena oli kuljetinjärjestelmän turvallisuustason parantaminen niin, että se vastaa voimassa olevaa lakia ja asetusta myös käytössä esiintyvissä reunatapauksissa. Turvallisuustason kohentamiseen liittyen esitellään muutamia standardeja, joiden perusteella esitetyt ratkaisut on tehty.

#### 4.2.1 Käynnistyksen arviointi

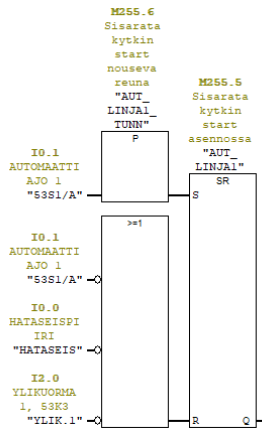
Valtioneuvoston asetuksessa 403/2008, eli ns. käyttöasetuksessa mainitaan yhdeksännessä pykälässä seuraavaa: ”Työvälineen käynnistäminen ei saa olla mahdollista muuten kuin käyttämällä tietoisesti siihen tarkoitukseen varattua hallintalaitetta.” (29.)

Kuljetinjärjestelmä on siinä mielessä harmaalla alueella, että normaalissa käyttötilanteessa se täyttää lain kirjaimen myös muiden samassa momentissa annettujen määräyksien osalta. Ne koskevat ohjauspaikan näkymää vaara-alueelle sekä ennen käynnistymistä annettavaa varoitussignaalia. Harmaa alue tulee kyseeseen häiriötilanteessa, jossa tehonsyöttö on katkennut esimerkiksi sähkökatkon vuoksi. Mikäli kuljetinjärjestelmän nokkakytkin on jäänyt automaattiasentoon, eivätkä turvaovet tai hätäpainikkeet ole aktivoituna, se käynnistyy ilman operaattorin tietoista toimintaa sähköjen palautuessa. Sama toiminnallisuus esiintyi hätäpysäytyksen yhteydessä, eli kuljetinjärjestelmä käynnistyi, kun hätäpysäytyspainike vapautettiin tai turvaovi suljettiin.

#### 4.2.2 Käynnistyksen päivitys

Toiminnallisuus voitaisiin muuttaa yksinkertaisesti vaihtamalla ohjauspulpetin käynnistykseen liittyvät nokkakytkimet painonapeiksi. Tämä vaatisi muutoksia verrattain pieneen kuvassa 10 näkyvään ohjauspulpettiin sekä uutta johdotusta napeille. Lopputulos käyttäjän kannalta ei olisi välttämättä kovin selkeä ahtaan tilan vuoksi. Ideaali ratkaisu olisi muuttaa vanhanaikainen ohjauspulpetti kosketusnäytölliseksi, mutta se lisää kustannuksia.

Projektissa päädyttiin muuttamaan logiikkaohjelmaa toimimaan niin, että koneen käynnistys vaatii aina operaattorilta tietoisesta käynnistyskytkimen kääntämisen. Se ei voi uudelleen käynnistyä itseltään häiriötilanteiden jälkeen huolimatta kytkimen asennosta. Yksi tällainen muutos on esitetty kuvassa 19. Ratkaisun hyvät puolet ovat, että se on alkuperäistä turvallisempi ja samalla täyttää käyttöasetuksen vaatimuksen käynnistyksestä myös häiriötapauksissa. Uusista laitteista tai niiden asennuksesta syntyviä kuluja ei ole. Käyttöhenkilöstö on jo tottunut vanhan koneen ohjauspulpetin toiminnallisuuteen, eli uuden käyttöliittymän tuomaa ohjeistusta ja opastusta ei tarvita.



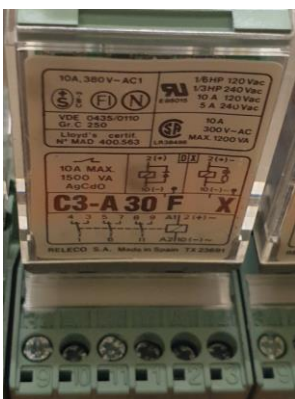
KUVA 19. Muutos erään funktion networkissa.

### 4.2.3 Hätäpysäytyksen arviointi

Aiemmin käsitellyssä käyttöasetuksessa esitetään kymmenennessä pykälässä vaatimuksia hätäpysäytykselle mm. seuraavasti:

*Jokaisessa työpisteessä on oltava pysäytyslaite, jolla työväline tai kaikki työvälineet voidaan pysäyttää turvalliseen tilaan. Pysäytyslaitteella tulee olla ensisijainen asema käynnistyslaitteisiin nähden. Kun työväline tai sen vaaralliset osat ovat pysähtyneet, energiansyötön kyseisiin laitteisiin on lakattava. (29.)*

Kuljetinjärjestelmä täytti yo. asetuksen kohdan lukuun ottamatta viimeistä lausetta, jossa liikuttiin jälleen harmaalla alueella. Hätäpysäytyspiiriin aktivoituessa jonkin siihen liittyvän toimielimen seurauksena logiikkaohjelma pysäytti kuljettimen moottorit. Ongelma oli, että tehonsyöttöä ei katkaistu moottoreilta luotettavasti. Logiikka sai tiedon hätäpysäytyksestä kuvan 20 releen apukoskettimelta. Releen kelalle oli ketjutettu koko hätäpysäytyspiiri. Tämän jälkeen turvaluokittelematon CPU ja läh-tökortti ohjasivat niin ikään turvaluokittelemattoman kontaktorin lopettamaan tehonsyötön.



KUVA 20. Alkuperäisellä 1990-lukulaisella releellä ei ole turvaluokitusta.

Hätäpysäytyspiiri ei ole turvallinen näin toteutettuna. On olemassa lukuisia tilanteita, joissa tekninen vika ketjun eri kohdissa voi johtaa siihen, että hätäpysäytys ei toimikaan tarvittaessa. Esim. jos hätäpysäytyspiirin releen vaihtoapukoskettimen kärjet olisivat jumittuneet kiinni tai moottorin kontaktorin kärjet olisivat hitsautuneet kiinni, vikaa ei välttämättä huomattaisi kuin vasta siinä tapauksessa, jossa hätäpysäytys ei toimikaan vaateen esiintyessä. Se voi johtaa vakaviin henkilövahinkoihin.

#### **4.2.4 Hätäpysäytyksen päivitys**

Hätäpysäytyksen päivitykseen liittyen avaan muutamia standardien termejä ja kokonaisuuksia. Ne ovat oleellista ymmärtää ennen päivityksen suunnittelua. Tämän jälkeen esitän käytännön toteutuksen piirikaavioineen ja komponentteineen. Projektissa päädyttiin käyttämään koneturvallisuusstandardin pysäytysluokkaa nolla, joka edellyttää tehonsyötön katkaisua toimilaitteisiin välittömästi hätäpysäytyspiirin aktivoituessa (18, s. 10).

Koneturvallisuudessa turvatoiminnolla tarkoitetaan toimintoa, jonka vikaantuminen voi aiheuttaa välittömän riskin tai riskien kasvamisen. Turvatoiminto koostuu osista, joiden kykyä suorittaa turvatoiminto ennakoitavissa olevissa olosuhteissa määritetään suoritustasolla PL. PL<sub>r</sub> tarkoittaa vaadittavaa suoritustasoa turvatoiminnolle, jolla on tarkoitus saavuttaa vaadittu riskin pienentäminen. Jokaiselle turvatoiminnolle, joka on tarkoitus toteuttaa ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvillä osilla, on määritettävä vaadittava suoritustaso PL<sub>r</sub> riskinarvion perusteella. (19, s. 14, 24.)

Hätäpysäytystoiminnon tarkoituksena on pienentää ja torjua henkilöihin kohdistuvia vaaroja sekä koneisiin tai meneillään olevaan työprosessiin kohdistuvia vahinkoja. Sen tulee käynnistyä yhdellä ihmisen suorittamalla toimenpiteellä. Hätäpysäytys ei ole määritelmältään turvatoiminto vaan täydentävä suojaustoimenpide. Sitä ei saa käyttää suojausteknisten toimenpiteiden, muiden toimenpiteiden tai turvatoimintojen korvaajana. Hätäpysäytystoiminnon suoritustason vähimmäisvaatimus tulee olla koneturvallisuusstandardin mukaan PL<sub>r</sub> C tai SIL 1. (37, s. 13, 49; 18, s. 8, 13.) Kuljetinjärjestelmä ei täyttänyt vaatimusta, koska hätäpysäytyspiirissä oli turvaluokittelemattomia komponentteja.

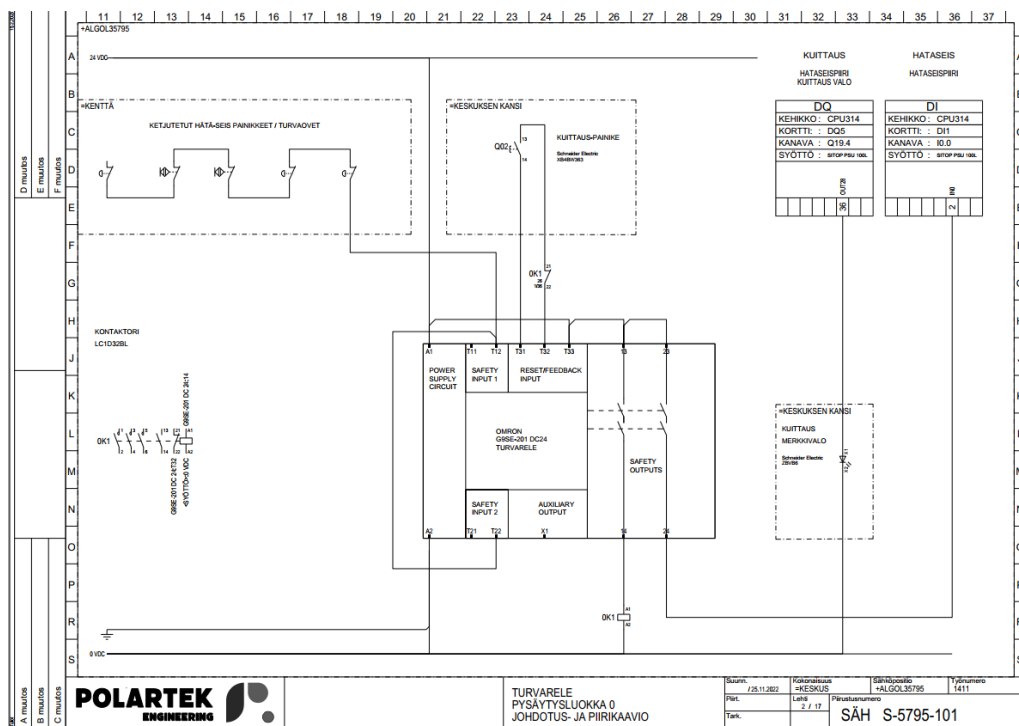
Hätäpysäytyspiirin muutostyössä se varustettiin käsikäyttöisellä kuittauksella, joka lisää koneen turvallista käyttöä. Standardin vaatimusten mukaan suojalaitteen käynnistämisen pysäytyskäskyn

tulee olla voimassa niin kauan, että turvalliset olosuhteet on saavutettu koneen uudelleen käynnistystä varten. Turvatoiminto palautetaan alkutilaan kuittaamalla suojauslaite, joka peruuttaa pysäytyskäskyn. Riskinarvion perusteella voidaan edellyttää, että pysäytyskäskyn peruutus tulee vahvistaa erillisellä ja tarkoituksellisella toimenpiteellä, eli käsikäyttöisellä kuittauksella. Käsikäyttöiselle kuittaustoiminnolle asetetaan seuraavia vaatimuksia. Se tulee toteuttaa turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osiin kuuluvalla erillisellä käsikäyttöisellä laitteella. Kuittaus on oltava mahdollinen vain, jos kaikki turvatoiminnot ja suojaustekniset laitteet ovat toimintavalmiita. Kuittaus itsessään ei saa käynnistää vaarallista liikettä tai aikaansaada vaaratilannetta. Sen on tehtävä ohjausjärjestelmälle mahdolliseksi sallia erillinen käynnistyskäsky, joka tulee olla mahdollista vasta sitten kun kuittausohjain vapautetaan PÄÄLLÄ-asennosta. Käsikäyttöisen kuittauksen on toimittava ihmisen tarkoituksellisella toimenpiteellä. Kuittaustoiminto ei saa heikentää turvatoiminnon aikaansaamaa vaadittavaa turvallisuutta, eli sen komponenttien suoritustaso tulee olla riittävä huomioon ottaen kuitattavan turvatoiminnon. Kuittausohjaimen tulee sijaita vaara-alueen ulkopuolella turvallisessa paikassa, josta on hyvä näkyvyys vaara-alueelle. Mikäli näkyvyys vaara-alueelle ei ole täydellinen, tarvitaan erityistä kuittauksen menettelytapaa. (18, s. 40, 41.)

Käytännössä kuljetinjärjestelmälle suunniteltiin seuraavanlainen hätäpysäytystoiminto. Kentän ketjutettu hätäpainikkeista ja turvaovista koostuva piiri jätettiin ennalleen. Nykyään vastaavat piirit suunnitellaan niin, että turvallisuuteen liittyvän toimielimen aktivointi vaikuttaa vain tiettyyn linjan osaan, eli toimielimillä kone on jaettu vyöhykkeisiin. Kuljetinjärjestelmän hätäpysäytystoiminto pysäyttää koko koneen, eli molemmat linjat huolimatta siitä millä linjalla tai linjan osalla se on aktivoitu. Kuljetinjärjestelmää ei muokattu vastaavanlaiseksi vyöhykkeisiin jaetuksi turvapiiriksi, koska se olisi lisännyt asennustyötä ja kustannuksia tuomatta merkittävää lisähyötyä. Standardit tai asetukset eivät tällaista edellytä, vaikka se onkin käytön kannalta erittäin hyvä toteutusmalli. Päinvastoin koneturvallisuusstandardi esittää vaatimuksia, mikäli koneeseen sovelletaan hätäpysäytysvyöhykkeitä. Ensisijaisesti jokaisen hätäpysäytyslaitteen aikaansaaman toiminnon tulee vaikuttaa koko koneeseen (18, s. 9). Kentältä tuleva signaali hätäpysäytyspiiriltä tuotiin moottorikeskuksella alun perin kuvan 20 releen kelalle. Vetäessään se antoi vaihtoapukoskettimella tilatiedon logiikalle, että hätäpysäytyspiiri ei ole aktivoitu. Mikäli jokin tai jotkin hätäpysäytyspiirin toimielimistä aktivoituisivat katkeaisi kelalta pito, jolloin vaihtoapukoskettimen tila muuttuisi ilmoittaen logiikalle, että hätäpysäytyskäsky on annettu. Kytkeä suunniteltiin muutettavaksi niin, että hätäpysäytyspiirin signaali toimilaitteilta tuodaan turvareleelle, joka ohjaa turvaluokiteltua kontaktoria samalla antaen logiikalle tilatiedon hätäpysäytyspiirin aktivoitumisesta. Kontaktori katkaisee välittömästi tehonsyötön kaikille moottoreille ja pysyy tässä tilassa niin kauan, että turvallinen tila on saavutettu. Turvarele



saa kuittauskäskyn käsikäyttöiseltä kuittaustoiminnolta, jonka jälkeen kontaktori vetää, jolloin käynnistäminen on mahdollista. Samalla logiikka saa tilatiedon turvareleeltä hätäpysäytyksen kuittauksesta ja sallii käynnistämisen. Kuvassa 21 on esitetty piirikaavio asennetusta turvareleestä, jonka toiminnallisuus esitettiin edellä. Kuvan piirikaaviossa viitataan toiseen piirikaavioon, joka esittää kontaktorin ja moottorien kolmivaiheiset kytkennät. Huomioitavaa sähkösuunnittelun kannalta on, että esimerkiksi kuittausnapin värin tulee noudattaa koneturvallisuusstandardia. Standardi kertoo, että värin tulee olla sininen, valkoinen, harmaa tai musta (36, s. 62.) Projektissa kuittausnapin väriksi tuli sininen.



KUVA 21. Lopullinen piirikaavio turvareleestä.

Turvareleeksi valikoitui alun perin Siemensin 3SK11111AB30-turvarele, joka on Siemensin Sirius-tuoteperheen perusmalleja. Rele operoi 24 VDC-käyttöjännitteellä ja sisältää yhden NC- ja kolme NO-kosketinta. Releellä voidaan valita joko automaatti- tai käsikuittaus. (20, s. 1–5.) Kontaktoriksi valittiin alun perin Siemens 3RT2027-1FB40 -tehotkontaktori. Kontaktori on kolmenapainen, AC-3 luokalla ja 400 VAC -jännitteellä jatkuva teho on mitoitettu 15 kW:si. Apukoskettimia löytyy NO- ja NC-tyyppisiä. Laite tulee suojata esim. gG 125 A -kahvasulakkeilla, joissa katkaisukykyä täytyy olla vähintään 80 kA. (21, s. 1–6.) Poiketen alkuperäisestä suunnitelmasta komponentit vaihtuivat saatavuusongelmien vuoksi, mutta piirin rakenne säilyi entisellään.

### 4.3 Standardit turvatoiminnon arviointiin

Kuvassa 22 on esitetty koneturvallisuusstandardien hierarkia. Kuvaa voidaan lukea ylhäältä alaspäin siten, että ylhäällä ovat yleisperiaatteet ja alhaalla tietyt, juuri ko. koneelle tehdyt koneturvallisuusstandardit. A-tyyppin standardit ovat turvallisuuden perustandardeja, joita voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin. Niiden perusteella laaditaan B- ja C-tyyppin standardeja. B-tyyppin standardit on edelleen jaettu kahteen osaan, joista B1-standardit koskevat yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia, kuten ergonomiaa, turvaetäisyyksiä, melua jne. B2-standardit koskevat suojausteknisiä laitteita, kuten hätäpysäytyspainikkeet, valoverhot, kosketuksen tunnistavat laitteet yms. C-tyyppin standardit, jotka on johdettu B- ja, tai A-tyyppin standardeista käsittelevät tietyn koneen tai koneryhmän yksityiskohdaisia turvallisuusvaatimuksia kuten hissit tai puristimet. (23, s. 15; 19, s. 8.)

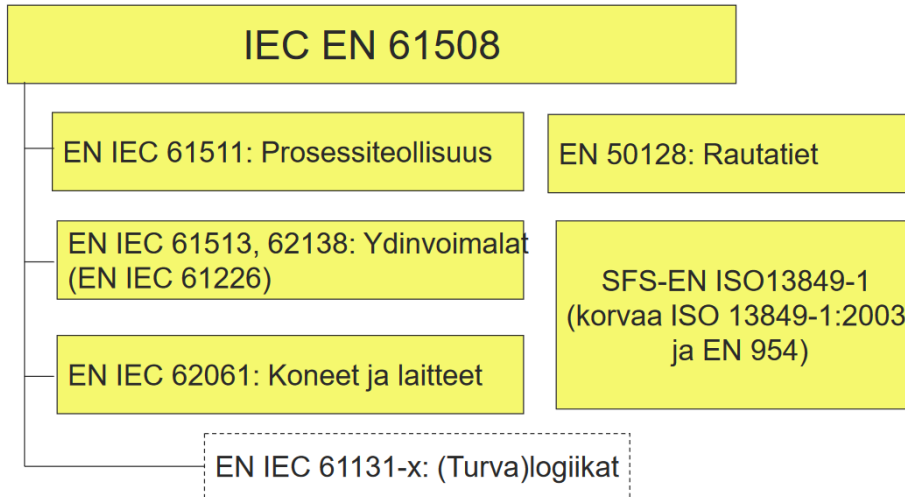
<b>Safety basic standards</b>	<b>Type-A standards</b> Basic stipulations for all machines	EN ISO 12100 Safety of machines - basic terminology, general design guidelines - guidelines for risk assessment				
<b>Safety group standards</b>	<b>Type-B1 standards</b> Higher-level safety aspects	Minimum clearance to avoid crushing of parts of the human body	Safety-related parts of controllers	Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs	Electrical equipment of machines	Safety of machinery - Interlocking devices associated with guards
	<b>Type-B2 standards</b> Requirements for safety equipment (reference to specific protective equipment)	EN 349 Two-hand control EN 574	EN 62061 EN ISO 13849-1 EMERGENCY STOP function, functional aspects - principles for design - EN ISO 13850	DIN EN ISO 13857	EN 60204-1	EN ISO 14119 Light barriers, light curtains EN 61496-1
<b>Technical standards</b>	<b>Type-C standards</b> Technical standards, specific requirements placed on certain types of machinery	Elevators EN 81-3	Injection molding machines EN 201	Presses and shearing machines EN 692 EN 693	Numerically controlled turning machines EN ISO 23125	

KUVA 22. Koneturvallisuusstandardien hierarkia (23, s. 15)

Koneen turvatoiminnon tasoa voidaan arvioida alla olevan kuvan 23 standardeilla IEC EN 61508, EN IEC 62061 tai SFS-EN ISO 13849-1. IEC EN 61508 on eräänlainen kattostandardi, joka koskee kaikkia turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä TLJ, joissa on käytössä sähköisiä tai elektronisia ja ohjelmoitavia elektronisia ohjausjärjestelmiä. Sitä voidaan soveltaa yksinään kattavasti turvatoimintojen määrittelyyn, tai määrittelyjen täyttämiseen riippuen ollaanko TLJ-järjestelmän suunnittelijoita, integraattoreita, käyttäjiä, sertifiojia jne. Kuljetinjärjestelmän tapauksessa huomioitavaa on, että standardin asema ei ole perustava turvallisuusjulkaisu matalan tason TLJ-järjestelmille, jollainen

on esim. rajakytkin, joka ohjaa kontaktoria moottorin tehonsyötön katkaisimeksi releen avulla. (26, s. 22; 24, s. 5.)

## IEC 61508 – Turvallisuuden kattostandardi



KUVA 23. Turvatoiminnon arviointiin liittyvät standardit (24, s. 6)

EN IEC 62061 on kattostandardin konepuolen sovellusstandardi, kuten kuvasta 23 huomataan. Standardin tarkoitus on auttaa mm. suunnittelijoita, laitetoimittajia ja vaatimustenmukaisuuden arviointilaitoksia arvioimaan TLJ-järjestelmiä. Standardi tarjoaa riskin arviointimenetelmän ja sen perusteella saatavan turvallisuuden eheystason, eli SIL:n, turvatoiminnoille. Standardi yhdistää SFS-EN ISO 13849-1 standardin mukaisesti suunniteltuja ohjausjärjestelmän osia yhdeksi kokonaisuudeksi. Standardi käyttää konesovelluksissa käytettyä PFH<sub>D</sub>:n arviointia, eli vaarallisen vikaantumisen keskimääräistä taajuutta tunnissa, joka standardissa vastaa myös aiempaa PFH-termiä. Molemmat termit tarkoittavat keskimääräistä taajuutta sille, että TLJ-järjestelmä epäonnistuu määritellyn turvatoiminnon suorittamisessa tietyn ajan kuluessa. Kyseessä on vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys tuntia kohden. Lisäksi standardi kattaa prosessiteollisuudessa 95 %:sti käytettyä PFD:n arviointia, eli vaarallisen vikaantumisen todennäköisyyttä vaadittaessa turvatoiminnon suoritusta. Termi tarkoittaa TLJ-järjestelmän todennäköisyyttä tilalle, jossa se ei kykene suorittamaan määritellyä turvatoimintoa, kun vaade ilmaantuu koneessa tai koneen ohjausjärjestelmässä. Termejä PFH<sub>D</sub> ja PFD voidaan sisäistää turvatoiminnon vaadetaajuuksien näkökulmasta. PFH<sub>D</sub> tarkoittaa jatkuvien tai tiheiden vaateiden toimintatapaa. PFD tarkoittaa harvojen vaateiden toimintatapaa. Rajana näille toimintatavoille on vaade kerran vuodessa, eli kerran 10<sup>4</sup>-tunnissa. Koneet

kuuluvat pääsääntöisesti tiheiden tai jatkuvien vaateiden toimintatapaan, eli turvatoimintoa käytetään vähintään kerran vuodessa. Seuraukset koneiden jatkuvien vaateiden toimintatavassa voivat olla työtaturmia ja kuolemaan johtavia onnettomuuksia. Prosessiteollisuudessa käytettävän harvojen vaateiden toimintatavan seuraukset voivat olla suuronnettomuuksia, kuten kemikaalipäästöjä, joissa voi olla lukuisia altistuneita. (22, s. 19; 24, s. 22–27; 27, s. 7.)

SFS-EN ISO 13849-1 on yksinkertaistettu menetelmä, jonka perustana on valmiiksi lasketut tyyppiliset arkkitehtuurimallit ja parametrien likiarvot. Standardi ei sovellu puhtaasti elektronisten ohjausjärjestelmien suunnitteluun. EN IEC 62061-standardin vikatarkastelun perustana on turvatoiminnon vikaantumisen todennäköisyyden laskennallinen arviointi ja se soveltuu kompleksisten ohjausjärjestelmien suunnitteluun. SFS-EN ISO 13849-1-standardia voidaan kuitenkin soveltaa elektronisia osia sisältävissä ohjausjärjestelmissä, jos vaadittu riskin vähentäminen on pieni tai ohjausjärjestelmän osuus riskin vähentämisessä on pieni. Muita vaatimuksia ovat mm. turvatoiminnan kiinteästi langoitettu varmistus, pitkälle viety kanavien erillisuus ja käytetään vain sertifioituja osia. (27, s. 12.) Lopputiivistelmänä standardien eroista voidaan tehdä seuraavia yksinkertaistuksia. IEC EN 61508-standardi soveltuu kaikille TLJ-järjestelmille suunnittelusta sertifiointiin. Se on kuitenkin laaja ja monimutkaisia matemaattisia malleja sisältävä standardi. EN IEC 62061-standardi on edellistä helpotajuisempi ja sillä voidaan arvioida niin tiheiden kuin harvojen vaateiden turvatoimintoja. SFS-EN ISO 13849-1 on yksinkertaisin ja helpoimmin lähestyttävä näistä kolmesta standardista, mutta se soveltuu vain tiheiden vaateiden suorituskykytason arviointiin. Käytännössä sitä käytetään yleisemmin koneteollisuudessa kuin prosessiteollisuudessa. PL, eli suorituskykytaso ja SIL, eli turvallisuuden eheystaso ovat osittain vertailukelpoisia tiheiden vaateiden turvatoiminnoissa. EN IEC 62061-standardissa keskitytään SIL-tason arviointiin ja SFS-EN ISO 13849-1-standardissa PL-tason arviointiin.

#### **4.4 Hätäpysäytystoiminnon arviointi standardien avulla**

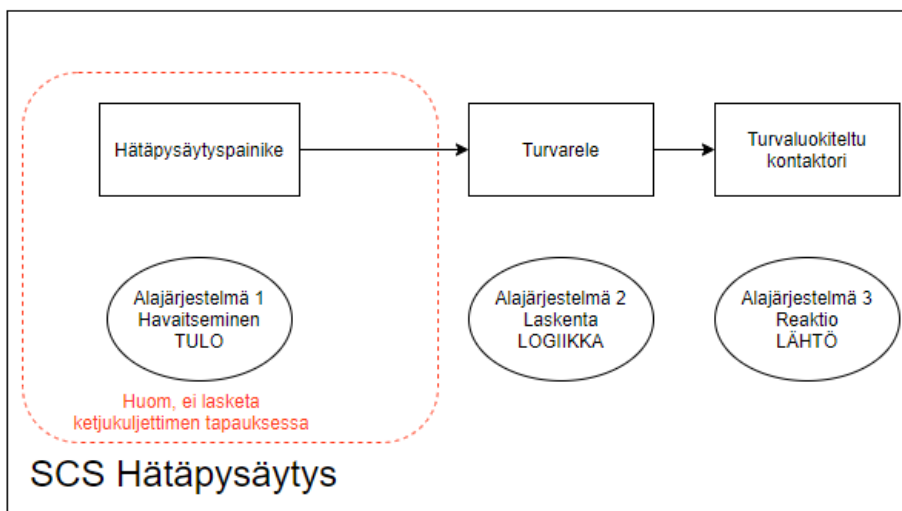
Seuraavaksi arvioidaan valittujen komponenttien turvallisuudentasoa valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella. Hätäpysäytyspiiri koostuu sarjaan kytketyistä toimielimistä, turvareleestä ja kontaktorista. Kyseessä on yksikanavainen rakenne, jossa yhdenkin komponentin vikaantuminen voi aiheuttaa hätäpysäytystoiminnon menetyksen. Rakenteena tämä ei ole paras mahdollinen. Hyvä vaihtoehto olisi esim. kytkä toimielimet erikseen kaksikanavaisina turvalogiikalle, joka ohjaisi turvakontaktoria. Siemensilläkin on valikoimissaan turvakontaktoreita, jotka eroavat turvaluokitelluista

siten, että ne sisältävät itsediagnostiikkaa, joka parantaa koko turvatoiminnon diagnostiikan kattavuutta DC. Tiedossa ei ole alkuperäisten turvaovien ja hätäpainikkeiden teknisiä tietoja, asennusaikaa tai määräaikaistestausraportteja. Sen vuoksi ne jätetään poikkeuksellisesti arvioinnista pois ja tarkastellaan vain uusia asennettavia komponentteja. Seuraavissa kappaleissa esitetty turvatoiminnon laskenta ei tämän vuoksi ole validi, koska kaikkia TLJ-järjestelmän komponentteja ei ole huomioitu. Tarkoitus on ainoastaan selvittää uusien komponenttien muodostaman järjestelmän PL-luokka.

Arvioinnissa valitaan se standardi ja turvatoiminnon taso, jolla vaatimus turvatoiminnolle on annettu riskinarvion perusteella. Hätäpysäytystoiminnolle käytetään standardin mukaista vaadetta, joko PL<sub>r</sub>C- tai SIL 1 -luokitusta. Konepuolella arviointi kannattaa yleensä tehdä PL-luokitukselle käyttäen SFS-EN ISO 13849-1-standardia. Vertailun vuoksi teen turvatoiminnon arvioinnin kuitenkin kahdella eri standardilla ja lopuksi koneiteollisuudessa yleisesti käytetyllä SISTEMA-työkalulla.

#### 4.4.1 Hätäpysäytystoiminnon turvallisuuden eheyden taso, SIL (EN IEC 62061)

Alla olevassa kuvassa 24 on esitetty lohkokaavio hätäpysäytystoiminnosta standardin termistöä käyttämällä. Punaisella katkoviivalla ympyröityä osuutta ei nyt oteta huomioon, koska halutaan määrittää vain uusien asennettavien komponenttien turvallisuuden eheyden taso. Jokaiselle hätäpysäytyspainikkeelle ja turvaovelle määritetään vastaava lohkokaavio arvioitaessa koneen kaikki hätäpysäytystoiminnot alajärjestelmineen.



KUVA 24. Hätäpysäytystoiminnon lohkokaavio.

Kuvassa 24 tarkasteltavalla turvallisuuteen liittyvällä ohjausjärjestelmällä SCS on kaksi alajärjestelmää 2 ja 3. SCS:n saavuttamaa korkeinta SIL-tasoa rajoittavat vikasietoisuus HFT sekä alajärjestelmien turvallisten vikaantumisten osuudet SFF. Molemmissa alajärjestelmissä on vain yksi elementti, jonka vuoksi kummankin alajärjestelmän komponentin tulee saavuttaa määritetty PFH- tai SIL-taso. Kyseessä on standardin määritelmän mukaan perusrakenne A. Se tarkoittaa yksikannavaista, ilman diagnostiikkatoimintoa olevaa järjestelmää, jossa minkä tahansa elementin vaarallinen vikaantuminen johtaa turvatoiminnon vikaantumiseen. Näin ollen järjestelmän HFT on nolla. Rakenteessa A PFH-arvot lasketaan yhteen, jonka avulla määritetään alajärjestelmien muodostaman kokonaisuuden saavuttama SIL-taso. (22, s. 58, 63, 133.)

Tarkastellaan ensiksi kontaktoria, joka oletettavasti on ketjun heikoin lenkki. Häätäpysäytyspainikkeilla, turvaovilla ja turvareleellä on yleensä korkea turvallisuuden eheyden taso tai kääntäen alhainen vaarallinen vikaantumistaajuus. Valmistajan teknisissä tiedoissa, kuvassa 25, on esitetty relevantit tiedot koskien turvatoiminnon analysointia. Teknisten tietojen peilattu kosketin tarkoittaa mekaanisesti kontaktorin pääkoskettimiin yhdistettyä apukosketinta, jota yleensä käytetään kontaktorin takaisinkytkentätiedolle. Kyseessä on koneturvallisuuteen liittyvän standardin edellytys turvaluokitellulle kontaktorille. Projektin tapauksessa peilattua kosketinta hyödynnettiin käsikäyttöisen kuittauksen yhteydessä, joka voidaan huomata kuvan 21 piirikaaviosta. Piirikaaviossa esitetyn kytkenän mukaan turvapiiriä ei voida kuitata ennen kuin on varmistettu, että kontaktorin pääkoskettimet ovat täysin auki. Tällä tavoin varmistetaan ennen käynnistykseen sallimista, että yksikään pääkosketin ei ole hitsautunut kiinni.

Safety related data	
product function	
• mirror contact according to IEC 60947-4-1	Yes
B10 value with high demand rate according to SN 31920	450 000
proportion of dangerous failures	
<hr/>	
3RT20271FB40	3/21/2023
Page 5/8	Subject to change without notice © Copyright Siemens
<hr/>	
• with low demand rate according to SN 31920	40 %
• with high demand rate according to SN 31920	73 %
failure rate [FIT] with low demand rate according to SN 31920	100 FIT
T1 value for proof test interval or service life according to IEC 61508	20 a
protection class IP on the front according to IEC 60529	IP20
touch protection on the front according to IEC 60529	finger-safe, for vertical contact from the front
suitability for use	
• safety-related switching OFF	Yes

KUVA 25. Kontaktorin tekniset tiedot (21, s. 5–6)

Teknisten tietojen B10-arvo tarkoittaa sitä toimintakertojen määrää, jossa kontakteista 10 % on vikaantunut. Kontaktorin 450 000 kytkentäkerran jälkeen 10 % valmistetuista laitteista vikaantuu turvallisesti tai vaarallisesti. Vaarallinen vikaantuminen tästä 10 %:sta ilmoitetaan tiedoissa harvojen tai tiheiden vaateiden toimintatavalla. Kyseessä ovat valmistajan testeihin perustuvat tilastolliset todennäköisyydet, ei siis absoluuttisesta totuudesta. Uusi kontaktori voi vikaantua ensimmäisellä tai miljoonannella kytkentäkerralla. Kuljetinjärjestelmän tapauksessa käytetään tiheiden vaateiden arvoa vaaralliselle vikaantumiselle, joka on ilmoitettu olevan 73 %. Ensiksi lasketaan B10D-arvo, jonka kaava on kuvassa 26. Se tarkoittaa toimintajaksojen lukumäärä siihen asti kunnes 10 % komponenteista on vikaantunut vaarallisesti. Arvoa käytetään mm. sähkömekaanisille komponenteille, johon luokkaan kontaktori kuuluu. (22, s. 57.)

Arvojen  $B_{10D}$ ,  $B_{10}$  ja vaarallisten vikaantumisten osuuden (RDF) suhde on

$$B_{10D} = \frac{B_{10}}{\text{vaarallisten vikaantumisten osuus}} \quad (10)$$

KUVA 26.  $B_{10D}$ -kaava (22, s. 58)

Yllä olevaan kuvan kaavaan sijoitettuna, saadaan seuraava tulos alla.

$$B_{10} = 450\,000$$

$$B_{10D} = \frac{B_{10}}{0.73} = 6.164 \cdot 10^5$$

Määritetään  $n_{op}$ -arvo, eli toimintajaksojen määrä, jonka avulla voidaan määrittää alla olevan kaavan  $MTTF_D$ -arvo. Kuvan 27 kaavassa  $d_{op}$  tarkoittaa kontaktorin käyttöpäiviä,  $h_{op}$  tarkoittaa käyttötunteja ja  $t_{cycle}$  tarkoittaa aikaa sekunneissa kahden kytkentäkerran välillä.

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 n_{op}} \quad (7)$$

$$\text{missä } n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \frac{s}{h}}{t_{cycle}} \quad (8)$$

KUVA 27.  $MTTF_D$  ja  $n_{op}$ -kaavat (22, s. 60)

Alla on sijoitettu kaavaan mainitut muuttujat. Käyttöpäivissä on otettu huomioon arkipäivät mutta ei vuosilomia tai seisakkipäiviä. Käyttötunnit ovat arvioitu kaksivuorosysteemin perusteella. Toimintajaksojen arvioinnissa on oletettu, että hätäpysäytys aktivoituu kerran neljän tunnin välein. Oletuksissa on ylimitoitusta, joka tapahtuu turvallisempaan suuntaan.

$$d_{op} = 52 \times 5 = 260$$

$$h_{op} = 16$$

$$t_{cycle} = 60 \cdot 60 \cdot 4$$

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600}{t_{cycle}} = 1,04 \times 10^3$$

Käyttämällä alla olevaa kaavaa voidaan määrittää vaarallinen vikaantumistaajuus  $\lambda_D$ . Sijoitetaan aiemmin lasketut  $B_{10D}$ - ja  $n_{op}$ -arvot.

Vikaantumistaajuuden  $\lambda$  osalta voidaan ilmaista seuraava riippuvuussuhde:

$$\lambda_D = \frac{0,1 C}{B_{10D}} = \frac{0,1 n_{op}}{B_{10D} \times 8760 \frac{h}{a}} \quad (9)$$

missä  $C$  ( $C = n_{op} / 8760$ ) on käytösuhde tai keskimääräinen toiminta-aika tunnissa.

KUVA 28.  $\lambda_D$ -kaava (22, s. 60)

Alla kuvan 28 kaavaan sijoitettuna saatu kontaktorin vaarallinen vikaantumistaajuus.

$$\lambda_{D\_kontaktori} = \frac{0,1 \times n_{op}}{B_{10D} \times 8760} = 1,926 \times 10^{-8}$$

Samaan tulokseen päästään, jos lasketaan ensin  $MTTF_D$  ja johdetaan siitä  $\lambda_D$ . Tällöin käytetään ensin kuvan 27 kaavaa 7, sijoitettuna alla. Sekä alla olevaa kuvan 29 kaavaa 6.

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \times n_{op}} = 5,927 \times 10^3$$

Yksi vuosi on noin 8760 tuntia. Näin ollen  $MTTF$ -arvo voidaan muuttaa  $\lambda$ -arvoksi.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF \times 8760 \frac{h}{a}} \quad (6)$$

KUVA 29.  $\lambda_D$ -ja  $MTTF_D$ -korrelaatio (22, s. 59)

Sijoitettuna arvot yllä olevaan kaavaan saadaan alla oleva tulos.



$$\lambda_{D\_kontaktori} = \frac{1}{MTTF_D \times 8760} = 1,926 \times 10^{-8}$$

Sama  $\lambda_D$ :n arvo saavutetaan molemmilla lähestymistavoilla. Valmistaja voi ilmoittaa  $MTTF_D$ -arvon suoraan, jolloin sitä kannattaa hyödyntää. Kontaktorin  $\lambda_D$ -arvoa verrataan kuvan 30 taulukkoon. Taulukossa on esitetty millainen  $\lambda_D$ , eli PFH tulisi vähintään olla suunnitellulle alajärjestelmälle, että saavutetaan SCS:lle määritetty SIL-taso.

**Taulukko 4 Etukäteen suunnitellulta alajärjestelmältä vaadittava SIL ja PFH**

IEC 62061 (IEC 61508)	IEC 62061	IEC 61508 <sup>a</sup>	ISO 13849 <sup>b</sup>	IEC 61496
<b>PFH</b>	<b>SIL</b>	<b>vähintään</b>	<b>vähintään</b>	<b>vähintään</b>
$< 10^{-5}$	SIL 1	SIL 1	PL b, c	Tyyppi 2
$< 10^{-6}$	SIL 2	SIL 2	PL d	Tyyppi 3
$< 10^{-7}$	SIL 3	SIL 3	PL e	Tyyppi 4

HUOM. Tästä taulukosta ei voida tehdä oletusta standardien IEC 62061 ja IEC 61511 (kaikki osat) tai ISO 26262 vastaavuudesta.

<sup>a</sup> Tässä sarakkeessa on SIL-pohjaisia standardeja, jotka täyttävät standardin IEC 61508 rakenteelliset rajoitukset, kuten IEC 61800-5-2 ja IEC 60947-5-3.

<sup>b</sup> Ei sovelleta alajärjestelmiin, joissa käytetään monimutkaisia komponentteja, elleivät ne täytä standardin IEC 61508 vaatimuksia tai soveltuvia toiminnallisen turvallisuuden tuotestandardeja. Suorituskykytaso b ei vastaa SIL1-tasoa, luokan B (ISO 13849-1) rakenteen tapauksessa.

KUVA 30.  $\lambda_D$ :n ja SIL-luokan korrelaatio (22, s. 44)

Taulukossa on myös esitetty korrelaatio PFH-arvolle suhteessa eri standardeihin ja niissä käytettyihin luokittelutasoihin. Tässä tapauksessa SIL 1 -taso vastaa PL C-tasoa standardissa SFS-EN ISO 13849-1. Huomioitavaa kuitenkin on, että em. standardin luokalle PL A ei löydy vastaavuutta SIL-luokituksesta. SIL 4 -tason luokalle ei löydy vastaavuutta PL-luokista. Tässä käytetty IEC EN 61508:n soveltava standardi ei käsittele SIL 4 -luokkaa ollenkaan, joten sitä ei taulukossa ole mainittu. Edellistä kattostandardia käyttämällä voidaan arvioida myös SIL 4 -tason järjestelmiä. (25, s. 66; 22, s. 44.) Kuvan 30 taulukosta todetaan, että kontaktori täyttää PFH-arvonsa puolesta SCS:lle vaaditun SIL 1 -tason. Äkinäisesti voitaisiin kuvitella, että kontaktori ylittää lasketun  $\lambda_D$ -arvon puolesta jopa SIL 3 -tasolle. Sillä  $\lambda_{D\_kontaktori}$  on  $1,926 \times 10^{-8}$  ja taulukon mukaan SIL 3:n edellyttämä taso saavutetaan PFH-arvon perusteella, koska  $\lambda_{D\_kontaktori} < 1 \times 10^{-7}$ .

Tämä ei pidä paikkaansa, jota avaa alla olevan kuvan 31 taulukko alajärjestelmien rakenteellisista rajoituksista.

**Taulukko 6 Alajärjestelmän rakenteelliset rajoitukset: suurin SIL, joka voidaan esittää turvallisuuteen liittyvälle ohjauksjärjestelmälle (SCS), joka käyttää kyseistä alajärjestelmää**

Turvallisten vikaantumisten osuus (SFF)	Laitteiston vikasietoisuus (HFT) (katso HUOM 1)		
	0	1	2
< 60 %	Ei sallittu (katso poikkeukset HUOM 3:ssa)	SIL 1	SIL 2
60 % to < 90 %	SIL 1	SIL 2	SIL 3
90 % to < 99 %	SIL 2	SIL 3	SIL 3 (katso HUOM 2)
≥ 99 %	SIL 3	SIL 3 (katso HUOM 2)	SIL 3 (katso HUOM 2)

HUOM 1 Laitteiston vikasietoisuus  $N$  tarkoittaa, että  $N+1$  vikaa voisi aiheuttaa turvatoiminnon menettämisen.

HUOM 2 SIL 4 -taso ei käsitellä tässä asiakirjassa. Katso SIL 4 standardista IEC 61508-1.

HUOM 3 Katso [7.4.3.2](#), jossa alajärjestelmien, joiden turvallisten vikaantumisten osuus on pienempi kuin 60 % ja laitteiston vikasietoisuus on nolla ja jotka käyttävät hyvin koeteltuja komponentteja, voidaan katsoa saavuttavan SIL 1 -tason; tai alajärjestelmien, joissa vikojen poissulkemisia on käytetty vikoihin, jotka voisivat johtaa vaaralliseen vikaantumiseen.

HUOM 4 Standardissa IEC 62061:2015 suurin SIL, joka voitaisiin esittää, oli nimetty SILCL:ksi.

HUOM 5 Katso SIL:n rajoitukset [kohdasta 7.3.3.3](#), jos käytetään vikojen poissulkemisia.

HUOM 6 Jos  $HFT = 0$  ja  $SFF \geq 99\%$ , tämä on mahdollista ainoastaan silloin, kun elementin oikeaa toimintaa valvotaan jatkuvasti. Tyypillisesti tämän saavuttamiseen tarvitaan elektroniikkaa.

*KUVA 31. Alajärjestelmän rakenteelliset rajoitukset (22, s. 62)*

Verrattaessa kontaktorin tiedoissa, kuvassa 25, annettua tiheiden vaateiden vaarallisen vikaantumisen osuutta kaikkiin vikaantumisiin, joka tarkoittaa kääntäen, että kontaktori vikaantuu turvallisesti vain 27 %:sti kaikista vikaantumisista. Kontaktorin SFF on 27 %. Ottaen huomioon aiemmin esitetyn kontaktorin alajärjestelmän rakenteen on HFT 0. Taulukkoa luetaan SFF- ja HFT 0-sarakkeen ensimmäiseltä riviltä. Kohdassa on mainittu lisätietoja tekstissä millä edellytyksillä kyseinen alajärjestelmä saavuttaa SIL 1 -tason. Kontaktorilla ja sen muodostamalla alajärjestelmällä ei voida saavuttaa mitään muita SIL-luokkia kuin 1 huolimatta verrattain pienestä PFH-arvosta. Tässä tapauksessa saavutetaan kontaktorille SIL 1 -taso, koska käytetään standardinmukaista hyvin koeteltua komponenttia. Suunnittelussa tulee soveltaa myös alla olevan kuvan 32 taulukkoa. Taulukko antaa edellytykset minkälaisia perusvaatimuksia turvatoiminnolta vaaditaan suunnittelun ja toteutuksen kannalta. Perusrakenteella A ei tarvitse ottaa huomioon yhteisvikaantumisia CCF, koska kyseessä on yksikanavainen rakenne ilman alajärjestelmien diagnostiikkaa, joten on mahdotonta edes esiintyä CCF:ää. Kaikki muut vaateet ovat pakollisia. Kontaktorien ollessa osana turvatoimintoa tulee ottaa huomioon niiden kuormitus käyttötilanteessa. Yleisesti ottaen standardin taulukkojen perusteella saavutetaan kontaktorille merkittävästi parempi  $B10_D$ -arvo, kun se mitoitetaan pienelle kuormalle, eli n. 20 % nimelliskuormituksesta. (22, s. 63, 67, 112.) Esimerkiksi asennukseen lopulta päätyneelle Schneiderin kontaktorille valmistaja ilmoittaa Sistema-kirjastossaan arvot nimellis- ja pienen kuorman  $B10_D$ -arvoille.

**Taulukko 7 Yleiskuva perusvaatimuksista ja niiden suhteesta alajärjestelmän perusrakentei**

Perus- vaatimukset	Laitteiston vikasietoisuus (HFT)				Kommentteja / Esimerkkejä
	0		1		
	SFF		SFF		
	< 60 %	≥ 60 %	< 60 %	≥ 60 %	
Perus- turvallisuus- periaatteet	M	M	M	M	Sopivien materiaalien käyttö ISO 13849-2:2012, liitteet A:sta D:hen
Hyvin koetellut turvallisuus- periaatteet	M	M	M	M	Mekaanisesti toisiinsa kytke- tyt kontaktit ja kontaktit, joissa on suoraan avautuva toiminto ISO 13849-2:2012, liitteet A:sta D:hen
Hyvin koetellut komponentit	M	=	=	=	Kontaktori (IEC 60947-4-1) ISO 13849-2:2012, liitteet A:sta D:hen
CCF	ei asiaan- kuuluva	M	M	M	
<b>Alajärjestelmän perusrakenteen tyyppi</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>D</b>	
M = pakollinen (mandatory); - = ei vaatimusta					
HUOM <a href="#">Taulukon 6</a> rakenteellisia rajoituksia sovelletaan edelleen.					

KUVA 32. Alajärjestelmän perusvaatimukset suhteessa sen rakenteeseen (22, s. 67)

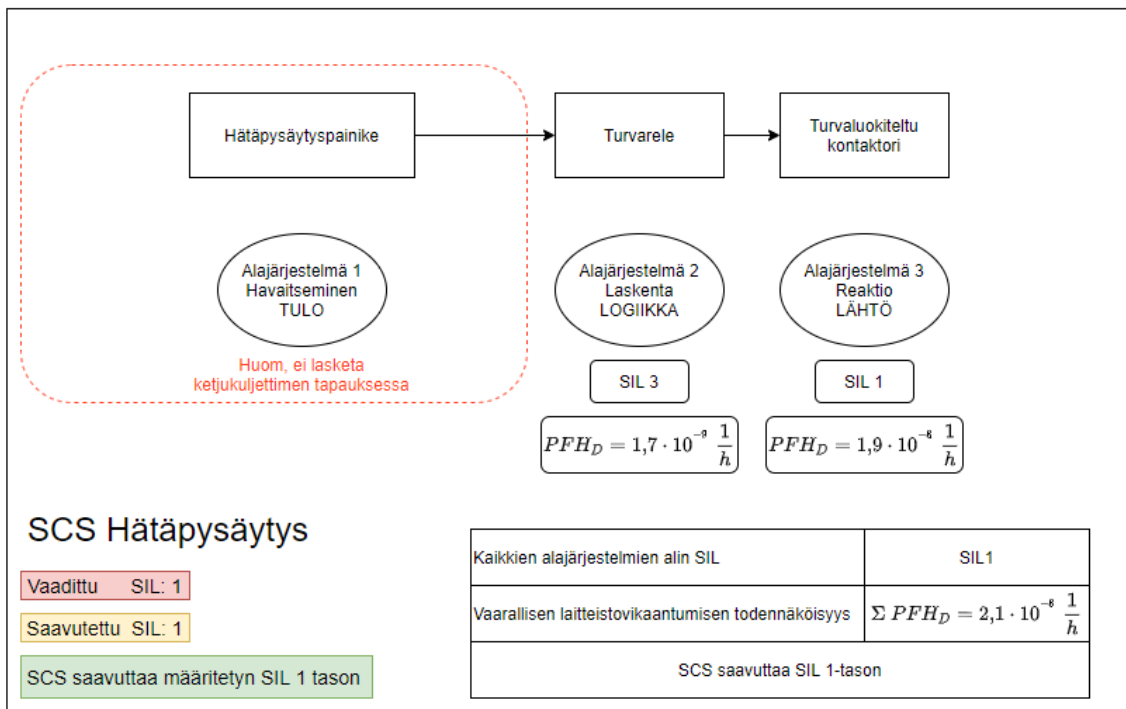
Kontaktorin muodostaman alajärjestelmän arvioinnin jälkeen siirrytään turvareleeseen. Turvareleeseen teknisistä tiedoista ovat esitetty oleelliset kohdat alla olevassa kuvassa 33. Turvareleelle on ilmoitettu suoraan tiheiden vaateiden  $\lambda_D$ -arvo, SIL-taso 3, sekä suorituskykyluokka PL e.

Safety Integrity Level (SIL)	
• according to IEC 62061	3
• according to IEC 61508	3
performance level (PL)	
• according to ISO 13849-1	e
category according to EN ISO 13849-1	4
Safe failure fraction (SFF)	99 %
PFHD with high demand rate according to EN 62061	1.7E-9 1/h
PFDavg with low demand rate according to IEC 61508	1E-6
T1 value for proof test interval or service life according to IEC 61508	20 a

KUVA 33. Turvareleen tekniset tiedot (20, s. 1)

Lopuksi alajärjestelmien muodostaman SCS:n tasoa arvioidaan alimman SIL-luokan ja, tai yhteenlasketun PFH-arvon perusteella. Tämän perusteella on tehty alla oleva kuva 34. Se esittää turvatoiminnon eheystason määrittämisen tarkasteltaville uusille komponenteille. SCS täyttää aiemman

standardin esittämän vaatimuksen SIL 1 -luokasta hätäpysäytyspiirille. Alajärjestelmää 1, eli ole-massa olevaa asennusta ei ole otettu huomioon. Hyvä ratkaisu olisi vähintään vaihtaa mahdollisesti alkuperäiset vajaat 30 vuotta vanhat toimielimet uusiin ja suorittaa tämän jälkeen uusi laskenta SCS:lle. Uusilla toimielimillä ei ole käytännössä mitään ongelmia saavuttaa SIL 1 -tasoa, vaikka kanavan arkkitehtuuri onkin vanhanaikainen.



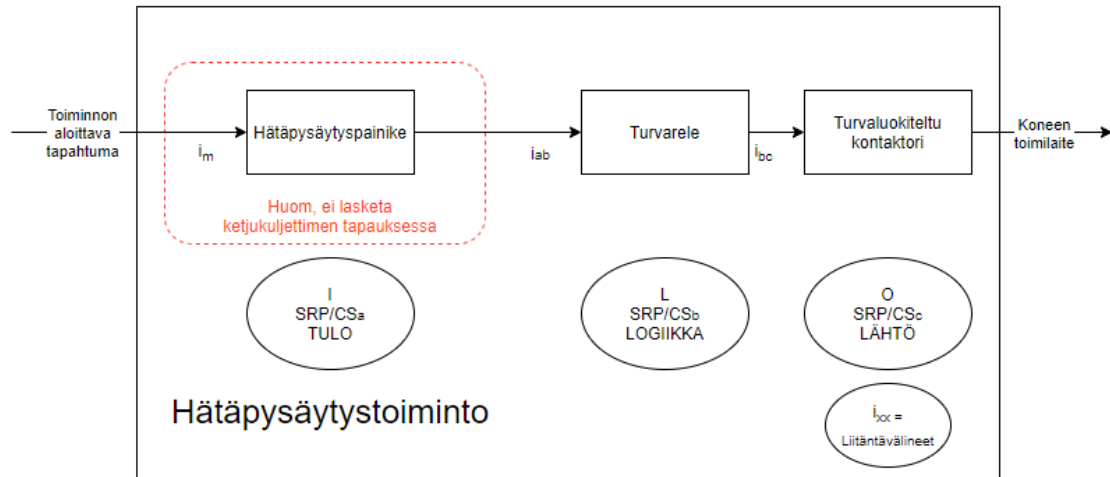
KUVA 34. Hätäpysäytystoiminnon turvallisuuden eheystaso.

Projektiin lopulta asennetut komponentit poikkesivat edellä lasketuista kuten aiemmin todettiin. Asennettujen komponenttien turvallisuutta analysoidaan kappaleessa 4.4.3, jossa laskenta suoritetaan SISTEMA-työkalulla. Tarkoitus on samalla esittää työkalun etuja suhteessa käsin laskentaan.

#### 4.4.2 Hätäpysäytystoiminnon suoritustaso, PL (SFS-EN ISO 13849-1)

Alla olevassa kuvassa 35 on esitetty lohkokaavio hätäpysäytystoiminnosta otsikon standardin termistöä käyttämällä. Punaisella katkoviivalla ympyröityä osuutta ei oteta huomioon kuten aiemmassakin kappaleessa tehtiin. Määritetään vain uusien asennettavien komponenttien turvallisuuden suoritustaso. Standardin mukaan kuvattava turvatoiminto vastaa peruseriaatteiltaan aiemmin esitettyä EN IEC 62061 perusteella tehtyä lohkokaaviota. Tässäkin on kuvattu turvallisuuteen liittyvät

ohjausjärjestelmän osat SRP/CS, eli tulot, logiikka ja lähtö. Poikkeuksena ovat TLJ-järjestelmien välillä huomioidut liitännävälaineet, jotka kuuluvat turvallisuuteen liittyviin osiin, tosin näihin ei juuri oteta standardissa kantaa laskennan näkökulmasta. (19, s. 25.)



KUVA 35. Hätäpysäytystoiminnon lohkoakaavio.

Lohkoakaavion esittämä rakenne kuuluu luokkaan 1. Luokassa sovelletaan alimman luokan B:n vaatimusten lisäksi mm. seuraavia vaateita. Luokan 1 SRP/CS:n liittyvät osat on suunniteltava ja rakennettava käyttäen hyvin koeteltuja komponentteja sekä turvallisuusperiaatteita. Tämän luokan yksikanavaisella järjestelmällä DC on nolla eikä yhteisvikaantumisia voi esiintyä. Vian esiintyminen voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen. Ero alimpaan B-luokkaan tulee kanavan pienemmästä vaarallisesta keskimääräisestä vikaantumistaajuudesta PFH<sub>D</sub>, jonka vuoksi turvatoiminnon menetyks on vähemmän todennäköistä luokassa 1. Luokan 1 korkein saavutettavissa oleva suoritustaso on PL C. (19, s. 45.)

Turvatoiminnon suoritustasoa voidaan standardin puitteissa arvioida esim. MTTF<sub>D</sub>:n avulla, taulukojen tai aiemmin käytetyllä vastaavalla PFH<sub>D</sub>:n laskennalla. MTTF<sub>D</sub>-arvoa hyödynnettäessä käytetään alla olevan kuvan 36 kaavaa kontaktorille.

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \times n_{op}} \quad (C.1)$$

jossa

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \text{ s/h}}{t_{toimintajakso}} \quad (C.2)$$

kun seuraavat oletukset tehdään komponentin sovellukselle:

$h_{op}$  keskimääräinen toiminta-aika, tuntia päivässä

$d_{op}$  keskimääräinen toiminta-aika, päivää vuodessa

$t_{cycle}$  komponentin kahden peräkkäisen toimintajakson alkamisajankohdan välinen keskimääräinen aikaväli sekuntia per toimintajakso (esim. venttiilin avaaminen).

*KUVA 36.  $MTTF_D$ -kaava (19, s. 64)*

Kaavasta voidaan huomata sen olevan täysin vastaava kuin edellisen standardin esittämä kaava kuvassa 27. Tästä syystä en laske arvoa kontaktorille samalla kaavalla uudestaan, vaan käytetään jo aiemmin saatuja tuloksia. Seuraavaksi lasketaan  $MTTF_D$ -arvo turvareleelle seuraavalla standardin oletuksella, joka on esitetty alla olevassa kuvassa 37.

**$MTTF_D = 1/\lambda_D$  eksponentiaalisille jakautumille,**

*KUVA 37.  $MTTF_D$  suhde  $\lambda_D:n$  (19, s. 65)*

Kuvan 37 kaavaan sijoittamalla saadaan seuraava tulos alla.

$$MTTF_{D\_turvarele} = \frac{1}{\lambda_{D\_turvarele}} = 5,882 \times 10^8$$

Koko kanavan  $MTTF_D$  voidaan määrittää yksinkertaistetulla osien laskentaan perustuvalla menetelmällä, jonka kaavasta on kuva 38 alla. Kuvan 38 kaavasta voidaan laskemattakin päätellä kyseessä olevan aiemmin käytetyn  $PFH_D$ -laskennan käänteisarvot, eli käytännössä sama asia eri tavalla esitettynä.

$$\frac{1}{MTTF_D} = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \frac{1}{MTTF_{Di}} = \sum_{j=1}^{\tilde{N}} \frac{n_j}{MTTF_{Dj}} \quad (D.1)$$

jossa

$MTTF_D$  koskee koko kanavaa

$MTTF_{Di}$ ,  
 $MTTF_{Dj}$  on jokaisen turvatoimintoon vaikuttavan komponentin  $MTTF_D$  -arvo.

*KUVA 38.  $MTTF_D$  osien laskentaan perustuva menetelmä (19, s. 65)*

Sijoitettuna arvot kuvan 38 kaavaan päästään alla näkyvään tulokseen.

$$MTTF_{D\_kanava\_osat} = \frac{1}{MTTF_{D\_turvarele}} + \frac{1}{MTTF_{D\_kontaktori}} = 1,687 \times 10^{-4}$$

$$MTTF_{D\_kanava} = \frac{1}{MTTF_{D\_kanava\_osat}} = 5,927 \times 10^3$$

Saatu  $MTTF_D$ -tulos voidaan tarkistaa alla olevasta kuvan 39 taulukosta. Voidaan huomata kanavan tuloksesta, että kontaktori on määräävä tekijä. Aiemmin lasketun kontaktorin  $MTTF_D$ -arvo, joka laskettiin kuvan 27 kaavalla 7 edellisen standardin puitteissa, vastaa arvoltaan koko kanavan  $MTTF_D$ -arvoa. Tämä tarkoittaa, että turvareleen vikaantumisen todennäköisyys tuntia kohden on eksponentiaalisesti pienempi, joka huomattiin jo valmistajan tiedoista. Verrattaessa laskettua  $MTTF_D$  tulosta kuvan 39 taulukkoon, huomataan, että kanavan  $MTTF_D$  on suuri. Kuvassa 39 esitetään myös perustelut sille, miksi arvo rajoitetaan sataan vuoteen. TLJ:n osat eivät saa riippua pelkästään komponenttien luotettavuudesta. (19, s. 27.)

**Taulukko 4 Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika ( $MTTF_D$ )**

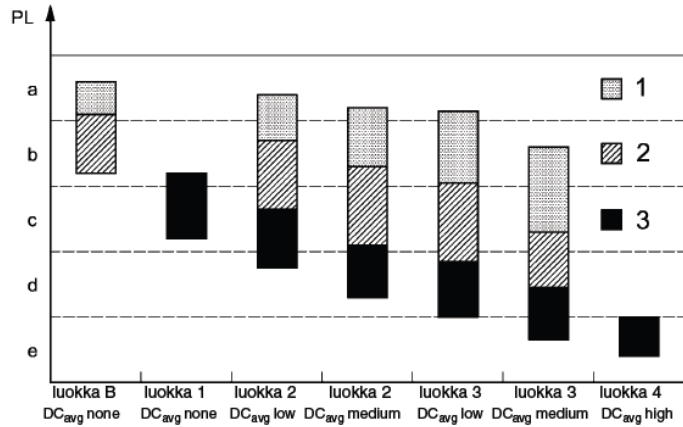
$MTTF_D$	
Kunkin kanavan merkintä	Kunkin kanavan vaihteluväli
Pieni	3 vuotta $\leq$ $MTTF_D$ < 10 vuotta
Keskitaso	10 vuotta $\leq$ $MTTF_D$ < 30 vuotta
Suuri	30 vuotta $\leq$ $MTTF_D$ < 100 vuotta

HUOM. 1 Kunkin kanavan  $MTTF_D$ -arvojen vaihteluvälien valinta perustuu nykytekniikan mukaisista kenttähavainnoista saatuihin vikataajuuksiin ja ne muodostavat tietäntyyppisen logaritmisin asteikon, joka sopii logaritmiseen suoritustason asteikkoon. Todellisten turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien jokaisen kanavan  $MTTF_D$ -arvoja, jotka ovat alle kolme vuotta, ei oleteta esiintyvän, koska tämä tarkoittaisi, että yhden vuoden kuluttua noin 30 % markkinoilla olevista järjestelmistä vikaantuisivat ja ne pitäisi korvata. Minkään kanavan  $MTTF_D$ -arvoa yli 100 vuotta ei hyväksytä, koska suuria riskejä varten olevat turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat eivät saisi riippua yksistään komponenttien luotettavuudesta. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien vahvistamiseksi olisi vaadittava systemaattisia ja satunnaisia vikaantumisia vastaan täydentäviä keinoja kuten redundanssia ja testausta. Käytännön syistä vaihteluvälit rajoitetaan kolmeen. Jokaisen kanavan  $MTTF_D$ -arvon rajoittaminen enintään 100 vuoteen koskee ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvien osien yhtä kanavaa, jotka toteuttavat turvatoiminnon. Korkeampia  $MTTF_D$ -arvoja voidaan käyttää yksittäisille komponenteille (ks. taulukko D.1).

HUOM. 2 Tässä taulukossa esitettävien rajojen tarkkuuden oletetaan olevan 5 %.

KUVA 39.  $MTTF_D$ -arviointi taulukko (19, s. 27)

Taulukosta katsottua kanavan merkintää ”Suuri” voidaan soveltaa alla olevaan kuvan 40 kuvaajaan. Kuva 40 esittää yhden tavan määrittää saavutettu turvatoiminnon suorituskykytaso. Ensin laskettiin  $MTTF_D$ -arvo, joka kuvan 39 taulukon avulla määritettiin olevan tasoa suuri. Sitten kyseinen tulos sijoitetaan kuvan 40 luokan 1 kuvaajalle, jolloin voidaan lukea y-akselista PL, että saavutettu taso vastaa PL C-tasoa.



**Selite**

PL Suoritustaso

- 1 Kunkin kanavan MTTF<sub>D</sub> = matala (low)
- 2 Kunkin kanavan MTTF<sub>D</sub> = keskitaso (medium)
- 3 Kunkin kanavan MTTF<sub>D</sub> = korkea (high)

**Kuva 5 Luokkien, MTTF<sub>D</sub> - ja DC<sub>avg</sub> -arvojen keskinäinen suhde ja suoritustaso (PL)**

**KUVA 40. PL-arviointi kuvaaja (19, s. 30)**

Tai voidaan käyttää kanavan määrittämiseen tarkempaa alla olevan kuvan 41 taulukkoa. Taulukosta huomataan, että saadulla MTTF<sub>D</sub>-arvolla ja luokalla saavutetaan taso PL C.

Kunkin kanavan MTTF <sub>D</sub> vuotta	Vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen todennäköisyys tunnissa PFH <sub>D</sub> (1/h) ja vastaava suoritustaso (PL)													
	Luokka B	PL	Luokka 1	PL	Luokka 2	PL	Luokka 2	PL	Luokka 3	PL	Luokka 3	PL	Luokka 4	PL
	DC <sub>avg</sub> = nolla		DC <sub>avg</sub> = nolla		DC <sub>avg</sub> = matala		DC <sub>avg</sub> = keskitaso		DC <sub>avg</sub> = matala		DC <sub>avg</sub> = keskitaso		DC <sub>avg</sub> = Korkea	
27	4,23 × 10 <sup>-6</sup>	b			2,32 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,39 × 10 <sup>-6</sup>	c	8,04 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,10 × 10 <sup>-7</sup>	d		
30			3,80 × 10 <sup>-6</sup>	b	2,06 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,21 × 10 <sup>-6</sup>	c	6,94 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,65 × 10 <sup>-7</sup>	d	9,54 × 10 <sup>-8</sup>	e
33			3,46 × 10 <sup>-6</sup>	b	1,85 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,06 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,94 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,30 × 10 <sup>-7</sup>	d	8,57 × 10 <sup>-8</sup>	e
36			3,17 × 10 <sup>-6</sup>	b	1,67 × 10 <sup>-6</sup>	c	9,39 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,16 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,01 × 10 <sup>-7</sup>	d	7,77 × 10 <sup>-8</sup>	e
39			2,93 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,53 × 10 <sup>-6</sup>	c	8,40 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,53 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,78 × 10 <sup>-7</sup>	d	7,11 × 10 <sup>-8</sup>	e
43			2,65 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,37 × 10 <sup>-6</sup>	c	7,34 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,87 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,54 × 10 <sup>-7</sup>	d	6,37 × 10 <sup>-8</sup>	e
47			2,43 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,24 × 10 <sup>-6</sup>	c	6,49 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,35 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,34 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,76 × 10 <sup>-8</sup>	e
51			2,24 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,13 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,80 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,93 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,19 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,26 × 10 <sup>-8</sup>	e
56			2,04 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,02 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,10 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,52 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,03 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,73 × 10 <sup>-8</sup>	e
62			1,84 × 10 <sup>-6</sup>	c	9,06 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,43 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,13 × 10 <sup>-7</sup>	d	8,84 × 10 <sup>-8</sup>	e	4,22 × 10 <sup>-8</sup>	e
68			1,68 × 10 <sup>-6</sup>	c	8,17 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,90 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,84 × 10 <sup>-7</sup>	d	7,68 × 10 <sup>-8</sup>	e	3,80 × 10 <sup>-8</sup>	e
75			1,52 × 10 <sup>-6</sup>	c	7,31 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,40 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,57 × 10 <sup>-7</sup>	d	6,62 × 10 <sup>-8</sup>	e	3,41 × 10 <sup>-8</sup>	e
82			1,39 × 10 <sup>-6</sup>	c	6,61 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,01 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,35 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,79 × 10 <sup>-8</sup>	e	3,08 × 10 <sup>-8</sup>	e
91			1,25 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,88 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,61 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,14 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,94 × 10 <sup>-8</sup>	e	2,74 × 10 <sup>-8</sup>	e
100			1,14 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,28 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,29 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,01 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,29 × 10 <sup>-8</sup>	e	2,47 × 10 <sup>-8</sup>	e
110													2,23 × 10 <sup>-8</sup>	e
120													2,03 × 10 <sup>-8</sup>	e
130													1,87 × 10 <sup>-8</sup>	e
150													1,61 × 10 <sup>-8</sup>	e
160													1,50 × 10 <sup>-8</sup>	e
180													1,33 × 10 <sup>-8</sup>	e
200													1,19 × 10 <sup>-8</sup>	e
220													1,08 × 10 <sup>-8</sup>	e

HUOM. 1 Jos luokan 2 vaadetaajuus on pienempi tai yhtä suuri kuin 1/25 testaustaajuus (ks. 4.5.4), taulukossa K.1 luokassa 2 lueteltavia PFH<sub>D</sub>-arvoja kerrottuna tekijällä 1,1 voidaan käyttää pahimman tapauksen arviointiin.

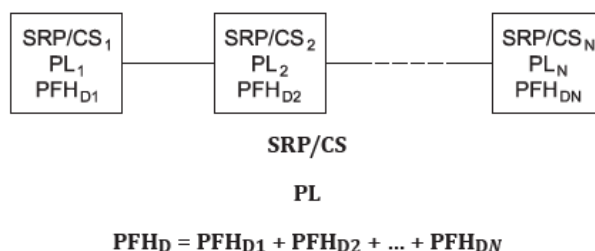
HUOM. 2 PFH<sub>D</sub>-arvojen laskenta perustui seuraaviin DC<sub>avg</sub>-arvoihin:

- DC<sub>avg</sub> = matala (low), laskettu arvolla 60 %
- DC<sub>avg</sub> = keskitaso (medium), laskettu arvolla 90 %
- DC<sub>avg</sub> = korkea (high), laskettu arvolla 99 %.

**KUVA 41. PL-arviointi taulukko MTTF<sub>D</sub>:n tai PFH<sub>D</sub>:n avulla (19, s. 96)**



Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää aiemmin tehtyä  $PFH_D$ -arvojen yhteenlaskua, joka on esitetty standardissa seuraavan alla olevan kuvan mukaan.



**Kuva 13 Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien yhdistelmän kokonaissuoritusastason (PL) saavuttaminen**

*KUVA 42. Kanavan PL-arviointi  $PFH_D$ :n avulla (19, s. 51)*

Sijoitettuna arvot kuvan 42 kaavan saadaan ao. tulos. Komponenttien arvothan ovat laskettu edeltävissä kappaleissa.

$$PFH_D = \lambda_{D\_turvarele} + \lambda_{D\_kontaktori} = 2,1 \cdot 10^{-8}$$

Tuloksena saadaan sama tulos kuin aiemmassa standardissa laskettuna kuvassa 34. Tulos vastaa suorituskkykytasoa C, koska luokka 1 rajoittaa saavutettavan suorituskkykytason. Tämä voidaan todeta, joko kuvan 41 taulukosta tai alla olevan kuvan 43 taulukosta.

**Taulukko 2 Suoritustasot (PL)**

PL	Vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan todennäköisyys tuntia kohden (PFHD) 1/h
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ to $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$

*KUVA 43. Kanavan PL-arviointi taulukko  $PFH_D$ :n avulla (19, s. 21)*

Yhteenvedona voidaan mainita, että standardin erilaisten taulukkojen ja metodien avulla päästään samaan lopputulokseen. Hätäpysäytystoiminto täyttää vaateen PL<sub>r</sub>C uusien komponenttien osalta. Alla olevan kuvan 44 taulukosta huomataan, että PL C-luokka vastaa SIL-tasoa 1. Samaan tulokseen päästään kahdella eri koneturvallisuusstandardilla ja hyödyntäen kummankin standardien erilaisia lähestymistapoja.

**Taulukko 3 Suoritustason (PL) ja turvallisuuden eheyden tason (SIL) vastaavuus**

PL	SIL (IEC 61508-1, tiedoksi) tiheiden vaateiden tai jatkuvan toiminnan tapa
a	Ei vastaavuutta
b	1
c	1
d	2
e	3

*KUVA 44. PL-suorituskykytason korrelaatio turvallisuuden eheystasoon SIL (19, s. 26)*

Projektiin lopulta asennetut komponentit poikkesivat edellä lasketuista kuten aiemmin todettiin. Asennettuja komponentteja käsitellään seuraavassa kappaleessa 4.4.3, jossa laskenta suoritetaan SISTEMA-työkalulla. Tarkoitus on samalla esittää työkalun etuja suhteessa käsin laskentaan.

#### **4.4.3 Hätäpysäytystoiminnon suoritustason arviointi SISTEMA:lla**

SISTEMA-ohjelmisto on tarkoitettu koneiden ohjausjärjestelmien turvallisuuden arviointiin, sen antamien tulosten laskenta perustuu ISO 13849-1-standardiin. Ohjelmisto käyttää standardin nimettyjä rakenteita mallintaessaan TLJ-järjestelmiä. Sen avulla voidaan määrittää PL<sub>r</sub> ja laskea automaattisesti saavutettu PL-luokka. Ohjelmiston käyttämä termistö vastaa standardia, eli sen avulla voidaan määrittää turvatoiminnon CCF, MTTF<sub>D</sub>, DC yms. standardissa käytetyt määritelmät. Ohjelman etuna on, että minkä tahansa turvatoimintoon liittyvän muuttujan muutos voidaan laskea heti eikä aikaa vievää selvitystä taulukoista ja laskukaavoista tarvitse suorittaa. Tällaisia ovat mm. MTTF<sub>D</sub>-arvon laskeminen osien laskenta menetelmällä, PFH:n ja PL:n laskenta jne. Lopulliset tulokset saadaan raportin muodossa. (38.)

SISTEMA:n käyttöliittymä helpottaa usean eri turvatoiminnon käsittelyä, koska ne näytetään visuaalisesti yksinkertaisella tavalla. Alla oleva kuva 45 esittää päänäkymää SISTEMA-ohjelmasta. Vasemmalla olevasta projektipuusta nähdään helposti kaikki projektiin kuuluvat turvatoiminnot SF. Yksi SF sisältää alajärjestelmät SB, josta kyseinen turvatoiminto koostuu. SB:n alla ovat komponentit, josta se rakentuu. Jokaiselle SF:lle määritetään riskinarvion perusteella vaadittava riskin pienennys, eli suorituskykyluokka vaade. Tämän jälkeen ohjelma laskee alajärjestelmiin valittujen komponenttien muodostaman lopullisen suorituskykyluokan SF:lle sekä vertaa tulosta SF:n vaateeseen.

Kuvassa 45 on laskettu vastaavat komponentit ja niiden arvot kuin edeltävissä kappaleissa 4.4.1 ja 4.4.2. Käyttöliittymä kuvasta nähdään syötetty  $PL_c$ -arvo C, joka perustui aiemmin esiintyneeseen standardin SFS-EN ISO 13850 linjaamaan vähimmäisluokkaan hätäpysäytystoiminnolle. Ohjelma sisältää myös erillisen riskinarvio välilehden, jonka avulla mikä tahansa turvatoiminto voidaan määrittää ja myöhemmin verifioida laskentatoimintojen avulla. Kuvasta huomataan, että ko. hätäpysäytystoiminto saavuttaa PL C-suorituskykyluokan, joka todettiin aiemmissa kappaleissa laskemalla ja erilaisia metodeja hyödyntäen. Rakenteesta puuttuu ensimmäinen alajärjestelmä kuten aiemminkin. Kuvasta voidaan myös päätellä, että ohjelma on laskenut vastaavan  $MTTF_D$ -arvon, joka aiemmin laskettiin käsin.  $\lambda_D$ -arvo poikkeaa aiemmin kuvassa 34 lasketusta sekä kuvan 42 kaavaan perustuvasta laskennasta. Tämä johtuu siitä, että ohjelma rajoittaa kyseisen arkkitehtuurin, eli luokan saavuttaman  $PFH_D$ -arvon automaattisesti käyttämänsä standardin taulukon perusteella, joka esiintyi kuvassa 41. Tästä ilmoitetaan epäsuorasti myös viestit laatikossa. Vertailtaessa tuloksia aiempiin kappaleisiin voidaan päätellä, että samaan tulokseen päästiin kaikilla kolmella eri tavalla määrittää hätäpysäytystoiminnon suorituskykyluokka.

The screenshot shows the SISTEMA software interface for safety analysis. The main window displays a table of safety parameters for a component. The table has columns for Ref. des., PL, PL-Ohjelmo, PFHD [1/h], CCF-pisteet, DCavg [%], MTTFD [v], Luokka, Luokan vaatimukset, and Käyttötapaus. The data row shows a component with Ref. des. 0K1, PL c, PL-Ohjelmo n.a., PFHD [1/h] 1,1E-6, CCF-pisteet ei asiaankuul..., DCavg [%] ei asiaankuul..., MTTFD [v] 100 (Korkea), Luokka 4, Luokan vaatimukset täytetty, and Käyttötapaus [Standardi Käyttötapaus].

Dokumenttaatio	PLr	PL	Alajärjestelmät	Ref. des.	PL	PL-Ohjelmo	PFHD [1/h]	CCF-pisteet	DCavg [%]	MTTFD [v]	Luokka	Luokan vaatimukset	Käyttötapaus
Kirjasto													
VDMA-kirjasto													
Uusi													
Muokkaa													
Poista													
				0K1	c	n.a.	1,1E-6	ei asiaankuul...	ei asiaankuul...	100 (Korkea)	4	täytetty	[Standardi Käyttötapaus]

Message box content: Kanavien MTTFD-arvot on pienennetty alkuperäisestä arvosta 5 527,3 arvoon 100 vuotta. Kanavale 100 vuotta on suuri hyväksyttävä keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika.

KUVA 45.  $PL$ -suorituskykytason arviointi SISTEMA:lla. Alkuperäisen suunnittelun komponentit.

SISTEMA:n erittäin hyvä ominaisuus on, että kaikilla isoilla valmistajilla on olemassa valmiit SISTEMA-kirjastot tuotteistaan. Suunnittelijan ei tarvitse kahlata valmistajan nettisivuja ja laitteiden manuaaleja löytääkseen niiden turvallisuuteen liittyvät spesifikaatiot. Kirjasto ladataan valmistajan sivuilta ja tuodaan SISTEMA:n käytössä oleviin kirjastoihin.

Projektiin alun perin suunnitellut hätäpysäytystoimintoon liittyvät komponentit vaihtuivat eri valmistajien tuotteisiin, jonka vuoksi suorituskyvyn arviointi tuli suorittaa uudestaan. Käytettäessä ohjelmaa suorituskykyluokan arviointiin ei tarvitse laskea ja metsästää valmistajan manuaaleista arvoja uudestaan. Kontaktorin osalta hyödynsin Schneiderilta ladattua reipasta puoli gigaista kirjastoa, joka sisältää heidän kaikkien laitteiden turvallisuuteen liittyvän informaation. Tästä kirjastosta vaihdoin Siemensin kontaktorin Schneideriksi ja ohjelma laski uudet arvot automaattisesti. Vastaavan toimenpiteen tein Siemensin turvareleelle, joka vaihtui Omronin tuotteeseen. Alla olevassa kuvassa on vastaava laskenta tehty asennetuilla komponenteille. Vaihdetut komponentit täyttävät hätäpysäytystoiminnon suorituskyky vaateen.

The screenshot shows the SISTEMA software interface for safety component evaluation. The main window displays a table of components with their safety parameters. The table has the following columns: Tila, Nimi, Ref. des., PL, PL-Ohjelma, PFHD (1/h), CCF-pisteet, DCavg [%], MTTFD [v], Luokka, Luokan vaatimukset, and Käyttötapa. The table contains two rows of data for contactors.

Tila	Nimi	Ref. des.	PL	PL-Ohjelma	PFHD (1/h)	CCF-pisteet	DCavg [%]	MTTFD [v]	Luokka	Luokan vaatimukset	Käyttötapa
SB	G9SE-201 Omron (Safety...		e	n.a.	2,8E-8	ei asiaankuul...	ei asiaankuul...	ei asiaankuul...	4	täytetty	
SB	Kontaktori	OK1	c	n.a.	1,1E-6	ei asiaankuul...	ei asiaankuul...	100 (Korkea)	1	täytetty	

A yellow warning banner at the bottom of the interface reads: "Kanavien MTTFD-arvot on penennetty alkuperäisestä arvosta 13 171,8 arvoon 100 vuotta. Kanavalle 100 vuotta on suurin hyväksyttävä keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika." (The MTTFD values of the channels have been reduced from the original value of 13 171.8 to 100 years. 100 years is the maximum acceptable average dangerous failure rate for the channel.)

KUVA 46. PL-suorituskykytason arviointi SISTEMA:lla. Toteutuneen asennuksen komponentit.

## 5 LOGIikkASOVELLUS

Alkuperäisestä logiikkasovellusprojektista kommentteineen oli aikanaan otettu yksi varmuuskopio 1,44"-disketille, joka oli korruptoitunut. Tässäkin tapauksessa olisi ollut hyötyä varmuuskopioiden hallinnasta, mielellään useassa eri paikassa ja eri tavoilla toteutettuna. Esimerkkeinä varmuuskopiointista voidaan mainita pilvipalvelut, sisäinen varmistettu verkkolevy ja siirrettävät tietovälineet.

Sovelluksesta oli kuitenkin olemassa kopio käytössä olevan logiikan EPROM-piirillä sekä arkistosta löytyi mappi, jossa koko sovellus oli tulostettuna paperille. Sovelluksen kääntäminen uudelle logiikalle tapahtui seuraavassa järjestyksessä: sovelluksesta otettiin ensin kopio suoraan logiikan muistista, konvertoitiin S7-logiikalle, tarkistettiin ja muokattiin sovellusta mapissa olleiden tulosteiden pohjalta, että voitiin varmistua sovelluksen vastaavuudesta alkuperäiseen.

### 5.1 Sovelluksen lataus EPROM-piiriltä

Siemens siirtyi vuonna 1993 käyttämään CMOS-tekniikkaa EPROM-muistimoduuleissaan, koska alun perin käytössä ollut NMOS-tyyppisen EPROM-muistipiirien valmistus lopetettiin (17). EPROM tulee sanoista Erasable Programmable Read Only Memory, josta voidaan päätellä, että muistia voidaan vain lukea mutta se voidaan ohjelmoida uudestaan tyhjentämisen jälkeen. Muistin hyvä ominaisuus on, että se ei menetä tietoa sähkönsyötön loppuessa. Tässäkin tapauksessa EPROM-piiri heräsi aiemmin henkiin kahdenkymmenen vuoden virrattomuuden jälkeen. S5-logiikassa oli kiinni kuvassa 47 oleva 6ES5 375-1LA21-muistimoduuli, joka on rakennettu hyvin todennäköisesti National Semiconductorin valmistaman NM27C256 CMOS EPROM -piirin ympärille. Piiri on paketoitu 28-pinniseksi DIP-koteloksi, joka piirin teknisten tietojen mukaan sisältää peräti 256 kilobittiä muistia (32 k x 8). Siemensin muistimoduulissa on ohjelmoijalle käytössä tästä kuitenkin vain 128 kilobittiä (16 k x 8), joten voi ihmetellä mihin puolet tilasta on hävinnyt. (15, 8. s. 58.) Kyseessä voi olla tarkoituksellinen muistin rajoitus, että samaa komponenttia voidaan myydä eri hinnoilla eri segmenteissä tai sitten puolet muistista on varattu logiikan konfiguraatio tiedolle.



KUVA 47. Käytössä ollut EPROM-piiri.

Logiikkaohjelman tallentaminen muistimoduuliin, eli polttaminen, tapahtui aikoinaan erillisellä ohjelmointiyksiköllä, joka löytyi mm. Siemensin sen aikaisista Field PG -kannettavista, josta on esimerkki kuvassa 48. EPROM-piiri tyhjenetään 253,7 nm UV-valolla, jonka välittämä energia tunkeutuu transistoreiden hilalla oleviin elektroneihin, joiden varaukseen koko piirin datan tallennus perustuu. UV-valo johdetaan piirin kannessa olevan kvartsi-ikkunan läpi, jonka seurauksena piirin bitit muuttuvat ykköstitaan. Ohjelmoitaessa piiriä muutetaan sähkövirran avulla osa ykkösistä nolliksi, jolloin ohjelmakoodi on logiikan keskusyksikölle ymmärrettävässä konekielessä. Toisin kuin yleisesti luullaan auringonvalo ei voi tyhjentää piiriä, koska aallonpituus ei riitä läpäisemään riittäväällä voimakkuudella piirin päällä olevaa kvartsi-ikkunaa. (15, 16.) Käytännössä moduulin pieni muistimäärä projektissa realisoitui siten, että yleisesti S5-logiikkaohjelmaa poltettaessa EPROM-piirille siirtyy ainoastaan itse ohjelmakoodi. Kaikki ylimääräinen tieto ohjelman suorituksen kannalta jää pois. Kommentit, muuttujien nimet, funktioiden nimet yms. ohjelman toimintaa havainnollistava informaatio jää kokonaan siirtämättä. Ladattaessa ohjelma suoraan EPROM:ilta on melko hankala tietää mitä ohjelman suorituksessa tapahtuu. Ainut tieto itse loogisten operaatioiden lisäksi ovat lähtöjen, tulojen ja muistipaikkojen suorat osoitteet.

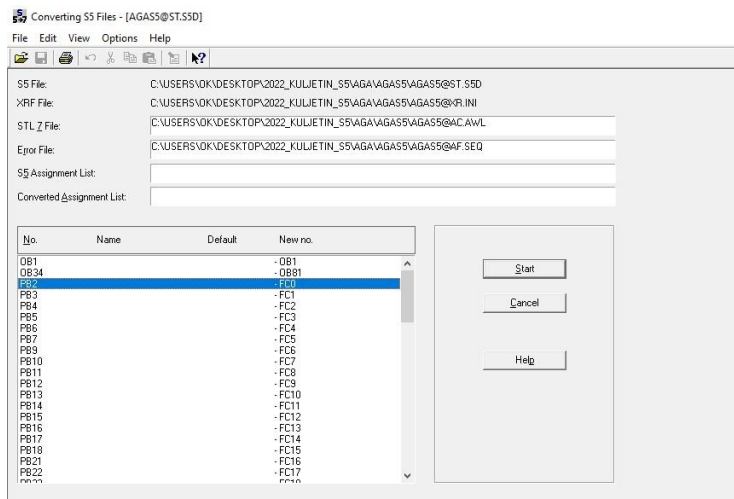
Sovellus ladattiin muistimoduulista uudemmallalla Siemensin Field PG:llä sarjaportin kautta. Tosi ohjelmamies olisi käyttänyt alla olevan kuvan 48 esittämää tehtaan omaa vuoden 1991 Field PG:tä, jossa oli erillinen paikka EPROM-piirin lukua ja kirjoitusta varten. Oli erittäin hyvä, että opinnäytetyön tilaajalla on käytössään vaadittavat työkalut, jotka tukevat myös S5 logiikkoja, sillä oppimiskäyrä alkuperäiseen Field PG:n oli hyvin logaritminen.



KUVA 48. Vuoden 1991 Field PG.

## 5.2 Sovelluksen konvertointi

Sovelluksen konvertointi oli suoraviivaista Siemensin valmiin työkalun ja havainnollistavien migraatio manuaalien avulla. Konvertointi tapahtuu kuvassa 49 näkyvällä Converting S5 files -ohjelmalla. Ohjelman aloitusnäkyvästä huomataan, että S5-maailma vastaa pienin eroavaisuuksin S7:aa. OB1-blokki löytyy molemmista, S5:n PB:t, eli program blokit kääntyvät S7:n funktioiksi jne. Tässä tapauksessa muokkasin kuvan näkymää siten, että alkuperäisen S5:n program blokin numero vastasi käännöksen funktion numeroa, joka helpotti myöhemmin ohjelman suorituksen tarkistusta mappiin tulostetusta aineistosta.



KUVA 49. Konvertoinnin aloitusnäkyvä.

Kuvan 50 taulukko esittää ohjelmarakenteen korrelaation Step 5:n ja Step 7:n välillä. Taulukosta huomataan, että kovinkaan suuria eroja perusrakenteessa ei ohjelman versioiden välillä ole kon-

vertoinnin kannalta. Toki konvertoinnin monimutkaisuus on suoraan verrannollinen itse konvertoitavan ohjelman monimutkaisuuteen. Konvertointi voi olla kertaluokkaa työläämpää, jos S5-ohjelmassa on käytetty runsaasti suoraa CPU:n rekisterien muokkausta, erilaisia sisäisiä funktioita kuten keskeytyksiä, useamman CPU:n välistä kommunikaatiota tai sovellus sisältää kattavasti analogi IO:ta.

Table 3-2 Comparison of Blocks: STEP 5 / STEP 7

STEP 5 Block	STEP 7 Block	Explanation
Organization block (OB)	Organization blocks (OB)	Interface to the operating system
Integrated special OBs	System functions (SFC) System function blocks (SFBs)	System functions in STEP 7 replace the special organization blocks (STEP 5) that can be called in the user program.
Function block (FB, FX)	Function (FC)	Functions (FCs) in STEP 7 have the same properties as function blocks in STEP 5.
Program block (PB)	Function block (FB)	Program blocks correspond to the function blocks in STEP 7. Function blocks in STEP 7 have completely new properties compared to blocks in STEP 5 having the same name, thus, they now provide new programming options. Note: During conversion, program blocks are transformed into functions (FCs).
Sequence block (SB)	-	There are no sequence blocks in STEP 7.
Data block (DB, DX)	Data block (DB)	In STEP 7 the data blocks are longer than in STEP 5 (in S7-300 up to 8 Kbytes, in S7-400 up to 64 Kbytes).
Data block DX0, DB1 in its special function	System data blocks (SDB) (CPU parameter assignment)	The new system data blocks contain all the hardware configuration data, including the CPU parameter assignments, which determine the program processing.
Comment blocks DK, DKX, FK, FKX, PK	-	In STEP 7 there are no longer any comment blocks. Comments are contained in the respective block in the offline database.

KUVA 50. Taulukko ohjelmablokeista S5:n ja S7:n välillä (7, s. 51)

Kuvan 51 taulukosta voidaan nähdä perusero S5:n ja S7:n välillä. S7 sisältää lähes saman toiminnallisuuden ja perusmuuttujatyypit kuin S5:n. Lisäksi se sisältää huomattavasti runsaamman työkalupakin ohjelman rakentamiseen ja kommentitkin ovat integroitua mallia. S7:ssä on siirrytty lähemmäs IEC-standardointia, joka voidaan huomata datatyypien nimissä.

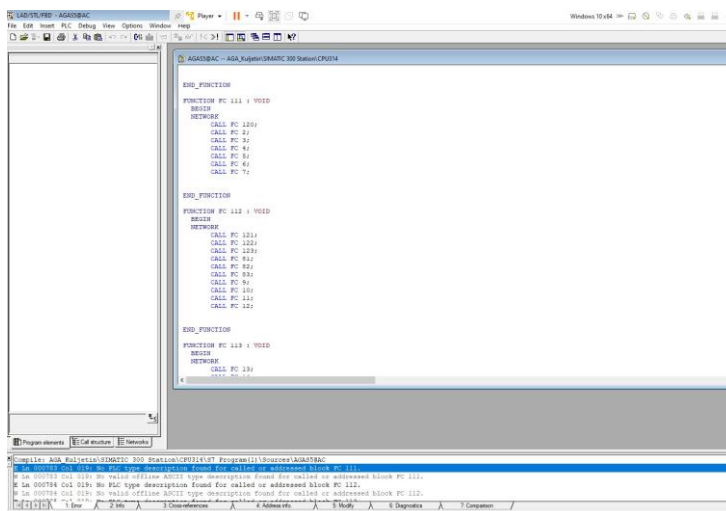
Table 3-9 Data Types in S5 and S7

Data Types in S5	Data Types in S7	Data Class
BOOL, BYTE, WORD, DWORD, Integer, Double integer, Floating point, Time value, - ASCII character	BOOL, BYTE, WORD, DWORD, INT, DINT, REAL, SSTIME, TIME, DATE, TIME_OF_DAY, CHAR	Elementary data types
-	DATE_AND_TIME, STRING, ARRAY, STRUCT	Complex data types
Timers, Counters, Blocks - -	TIMER, COUNTER, BLOCK_FC, BLOCK_FB, BLOCK_DB, BLOCK_SDB, POINTER, ANY	Parameter types

KUVA 51. Taulukko datatyypeistä S5:n ja S7:n välillä (7, s. 64)



Kuvassa 52 ohjelma kääntyy S7:lle ainoastaan funktioiden numerojärjestyksen perusteella pienimmästä suurimpaan. Suoritusjärjestystä joutui muuttamaan S7:n kääntäjässä, koska funktiokutsut menivät tässä tapauksessa väärään järjestykseen, ts. ohjelman suorituksen aikana ei voida kutsua funktiota, jota ei ole siihen mennessä esitelty. Helpoiten tämä tapahtuu muokkaamalla suoraan käännettyä STL-, eli käskylistamuotoista koodia. Kuva 52 havainnollistaa suoritusjärjestystä. Esimerkiksi funktioissa 111 ja 112 kutsutut funktiot siirretään ohjelmasuorituksessa ennen näiden funktioiden kutsuja.



KUVA 52. Suoritusjärjestys.

Käännös tuotti myös joitain S7:lle turhia osia, kuten alkuperäisen DB 1-blokin. Mahdolliset turhat osuudet piti kuitenkin varmistaa S5:n manuaalista, että niitä ei tarvita suorituksen aikana. Kuvassa 53 on esitetty kaappaus Step 5:n manuaalista, joka avaa DB 1-blokin tarkoituksen. Alkuperäinen järjestelmä koostui vain yhdestä CPU:sta, eikä ohjelman suorituksessa käytetty S5:n sisäisiä funktioita, joten DB 1 voitiin turvallisesti poistaa.

7-16

EWA 4NEB 811 6130-02b

S5-115U Manual

Introduction to STEP 5

#### Programming Data Blocks

Begin data block programming by specifying a block number between 2 and 255. DB0 is reserved (for the operating system) and DB1 is reserved (for initializing internal functions (see Chapter 11) and for defining interprocessor communication flags (see Chapter 12)). The data is deposited in this block in words. If the information is less than 16 bits in volume, the higher-order bits are filled with zeros. Entry of the data begins at data word zero and is continued in ascending order. The data block can accommodate up to 2042 data words. Accessing is possible up to DW 255 using the "L DW" and "T DW" operations. Data words 256 to 2042 can only be accessed using the "LIR", "TIR" and "TNB" operations.

Input	Values stored
0000 : KH = A13C	DW0 A13C
0001 : KT = 100.2	DW1 2100
0003 : KF = +21874	DW2 5572

Figure 7-7. Example of the Contents of a Data Block

KUVA 53. Step 5:n datablokit (8, s. 187)

Muutamia muitakin muokkauksia konvertoituun ohjelmaan tuli tehtyä. Prosessi eteni edellä kuvastusti siten, että ensin selvitin manuaalien perusteella mitä on alun perin mahdollisesti haettu, miten kyseinen toiminto linkittyy ohjelman suoritukseen ja tarvitaanko toiminnallisuutta jatkossa. Alla on kuva 54, joka esittää käynnöksen OB81-blokkia, jonka toiminnallisuuden jäljityksestä kerron esi-merkinomaisesti. Kuvassa on seuraavanlainen looginen operaatio STL-kielillä: jos muistibitti M0.0 on ykkönen tai nolla, niin asetetaan muistibitti M10.0 ykköseksi. Varsinaisesti operaatiossa ei ole mitään järkeä, koska M10.0 on asetettu aina päälle tässä blokissa. Kääntäjä antaa vinkin, että blokki on alun perin viitannut OB34-blokkiin alkuperäisessä S5-ohjelmassa.



KUVA 54. OB 81 blokki.

Alla olevasta kuvasta, joka on S5:n manuaalista, voidaan lukea, että kyseessä on varmistuspatterin heikkoon varaukseen tai puuttumiseen liittyvästä OB-blokista. S5:n CPU tarkistaa jokaisella suorituskerralla patterin tilan ja huomattessaan poikkeaman nousee CPU:n sisäisessä muistipinossa, eli stackissa, BAU-bitti ylös, joka on signaali patteriviasta. Ko. bitti CPU:n stackissa on nähtävissä kuvassa 56. Mikäli tähän vikabittiin halutaan reagoida, niin S5-ohjelmaan tulee lisätä OB34-blokki, joka toimii virheenkäsittelynä. (8, s. 194.)

OB2	Interrupt A: Digital input module -434 and IP generate interrupt						
OB3	Interrupt B: IP generates interrupt						
OB4	Interrupt C: IP generates interrupt						
OB5	Interrupt D: IP generates interrupt						
OB6	Interrupt generated by internal timers						
OB10	Time-controlled						
OB11	program scanning						
OB12							
OB13	(variable in each case: 10 msec. to 10 min.)						
<b>OBs for controlling restart characteristics</b>							
OB21	Manual switch on (STOP RUN)						
OB22	Automatic switch on when power is restored						
<b>OBs for handling programming errors and PLC faults</b>							
OB19	When a block is called which has not been loaded						
OB23	Time-out during individual access to the S5 bus (e.g. LPB, LIR, etc.)						
OB24	Time-out during update of the process image and the interprocessor communication flags						
OB27	Substitution error						
OB32	Transfer errors in DB or with GDB operation						
OB34	Battery failure						
<b>OBs which offer operating functions</b>							
OB31	Scan time triggering						
OB160	Programmable time loop						
OB251	PID algorithm						
OB254	Read in process I/O image						
OB255	Output process I/O image						

■ OB available

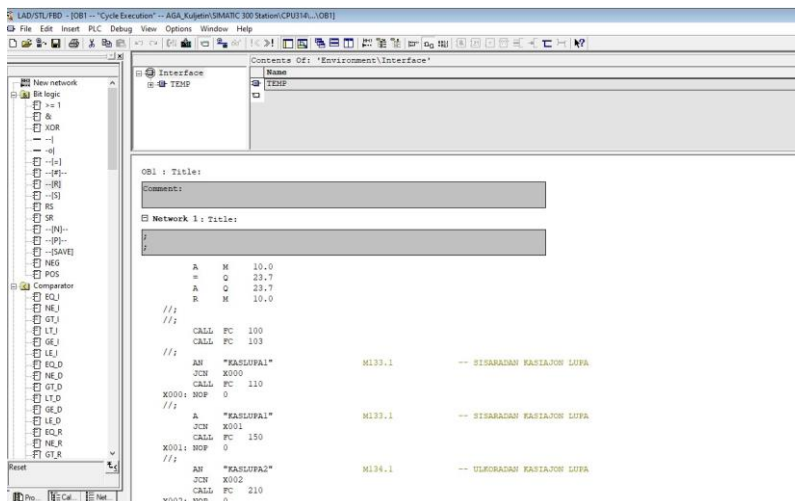
KUVA 55. OB 34 blokki S5:ssä (8, s. 179)

Jos blokkia 34 ei ole, ei ohjelmassa reagoida vikabittiin mitenkään. Se näkyy vain S5:n IDStack:ssa aktiivisena, jota kuva 56 esittää. Ohjelmaan oli siis lisätty virheenkäsittely varmenneparistolle, joka nostaa M10.0-bitin ylös. Sitä ajetaan niin kauan, että patterivika on korjattu, koska OB34 suoritetaan ainoastaan BAU-signaalin ollessa aktiivinen. (8, s. 194.)



KUVA 56. Korvatun S5:n IDStackki, jossa BAU-bitti ylhäällä.

Seuraavaksi selvitetään missä käytetään muistibittiä M10.0 ohjelman suorituksessa. Kyseinen bitti luetaan ainoastaan OB1-blokissa, joka on esitetty alla olevassa kuvassa 57. Ensimmäiset rivit OB1-blokissa tarkoittavat seuraavanlaista operaatiota: tarkistetaan M10.0-bitin tila, jos se on ykkönen, niin asetetaan lähtö Q23.7 aktiiviseksi ja nollataan muistibitti M10.0.



KUVA 57. OB 81:n toiminnan selvitys, muistibitti M10.0.

Sitten tarkistetaan missä käytetään lähtöä Q23.7, jota esittää kuva alla. Vastaavasti tulee tarkistaa myös muistibittien käyttö. Kuvasta huomataan, että sitä ei lueta tai kirjoiteta muualla ohjelman suorituksessa kuin OB1:ssä.

Ref - S7 Program(1)

Reference Data Edit View Window Help

Cross references to Q 23.7

S7 Program(1) (Cross-references: 1 -- AGA\_Kuljetin/SIMATIC 300 Station/CPU314)

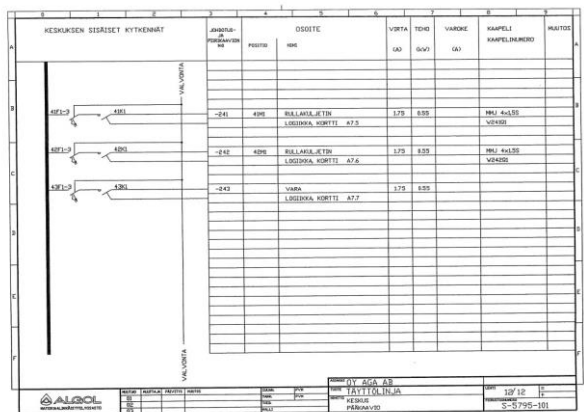
Address (symbol) /	Block (symbol)	Ty	Langu	Location	Location
Q 22.4 (33M1T)	FC33	W	FBD	NW 1	/=
Q 22.5 (34M1E)	FC34	W	FBD	NW 2	/=
Q 22.6 (34M1T)	FC34	W	FBD	NW 1	/=
Q 22.7 (35M1)	FC35	W	FBD	NW 1	/=
Q 23.0 (36M1)	FC35	R	FBD	NW 1	/AN
Q 23.1 (37M1)	FC36	R	FBD	NW 1	/AN
Q 23.2 (38M1)	FC37	R	FBD	NW 1	/AN
Q 23.3 (39M1)	FC38	R	FBD	NW 1	/AN
Q 23.4 (40M1)	FC39	R	FBD	NW 1	/AN
Q 23.5 (41M1)	FC40	R	FBD	NW 1	/AN
Q 23.6 (42M1)	FC41	R	FBD	NW 1	/AN
Q 23.7	OB1 (Cycle Execution)	R	STL	NW 1	Sta 3 /A

S7 Program(1) (Cross-references: 3 -- AGA\_Kuljetin/SIMATIC 300 Station/CPU314)

Address (symbol) /	Block (symbol)	Ty	Langu	Location	Location
Q 23.7	OB1 (Cycle Execution)	R	STL	NW 1	Sta 3 /A
		W	STL	NW 1	Sta 2 /=

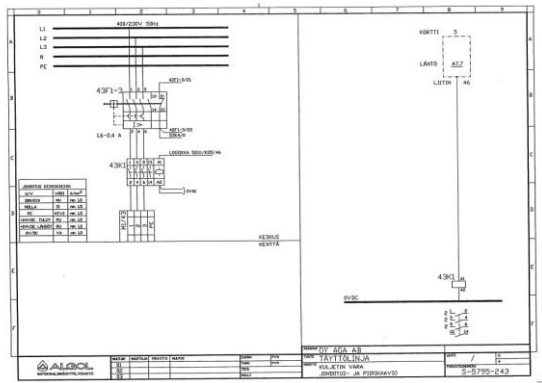
KUVA 58. OB 81:n toiminnan selvitys, ristiin vertailu lähdölle Q23.7.

Seuraavaksi tarkistetaan kyseisen lähdön fyysinen kytkentä piirustuksista, jotka näkyvät alla kuvissa 59 ja 60. Tarkoitus on selvittää mitä kyseinen lähtö ohjaa, josta voidaan päätellä kyseisen toiminnon tarpeellisuus konvertoidussa ohjelmassa. Alla olevan kuvan keskuskaaviosta selviää, että kyseinen lähtö ei vaikuta olevan kytketty mihinkään muuhun kuin varalla olevaan moottorin-suojajytkimeen ja kontaktoriin.



KUVA 59. OB 81:n toiminnan selvitys, lähtö Q23.7 keskuskaaviossa.

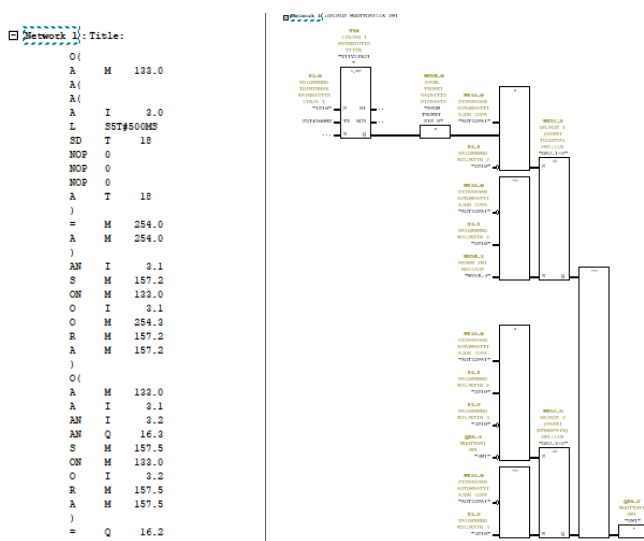
Alla olevasta kuvan piirikaaviosta voidaan todeta sama asia, eli lähdön johdotus loppuu riviliittimelle. Kuvista 59 ja 60 voidaan myös huomata seikka, joka selvisi konversion yhteydessä. Alkuperäisten sähköpiirustusten IO-osoitteet eivät vastaa ohjelman IO-osoitteita.



KUVA 60. OB 81:n toiminnan selvitys, lähtö Q23.7 piirikaaviossa.

Edellä selvitetyn ohjelmakoodin toiminnallisuus tarkoitti sitä, että patteriviassa toisen lähtökortin viimeinen lähtö meni päälle osoittaen tämän kortilla olevalla merkkivalolla. Voi olla, että alkuperäisellä suunnittelijalla on ollut tarkoitus lisätä jokin toiminnallisuus kuten merkkivalo ohjauspulpettiin tms. mutta se on jäänyt lopullisesta versiosta pois. Ominaisuus tällaisenaan on ollut turha jo alun perin, koska patterivialle löytyy CPU:sta valmiiksi oma merkkivalo. Tämän päädyin ohjelmasta poistamaan kokonaan, koska S7:ssa ei ole vastaava OB34-blokkia, eikä toiminnallisuus ollut tarpeellinen.

Käännöksen jälkeen ohjelmasuorituksen tarkastelu oli huomattavasti helpompaa FBD-muodossa, joka voidaan huomata kuvasta 61. Kuvan vasemmalla puolella on STL:llä esitetty vastaava looginen operaatio kuin oikealla esitettynä FBD:nä. Ohjelma kääntyi kokonaan STL-kielelle ja useita pieniä muokkauksia STL-koodiin oli pakko tehdä, koska ne eivät aina kääntyneet automaattisesti FBD-muotoon tarkasteltaviksi.



KUVA 61. STL- ja FBD-muoto samasta networkista.

Seuraavassa kuvassa 62 ovat esitettyinä pieni STL-rakenteen viilaus. Yleisesti hienosäätö tapahtui lisäämällä NOP 0-rivejä, sulkuja ja tiettyjä rivien vaihtoja päittää riippuen ohjelmakoodista. NOP-lyhenne tulee sanoista no operation, joka käytännössä tarkoittaa, että se ei vaikuta ohjelman suoritukseen. Kuvan 62 yläosassa on esimerkki konvertoinnin jäljiltä olevasta networkista, joka ei kääntynyt automaattisesti FBD-muotoon. Kuvan alaosassa on sama networkki pienien muokkausten jälkeen. Kuvasta huomataan rakenteen muutosten rajoittuvan sulkujen lisäykseen. Toki muokatussa käännöksessä on näkyvillä myös myöhemmin lisätyt kommentit. Syytä miksi pääasiassa koodi kääntyi automaattisesti kielestä toiseen, mutta ei aina, ei varsinaisesti selvinnyt.

Network 8: Title:

O	M	240.2
O	M	241.2
S	M	240.7
O	M	241.5
ON	E	0.0
R	M	240.7
A	M	240.7
L	S5T#5S	
SP	T	20
NOP	0	
NOP	0	
NOP	0	
A	T	20
=	M	240.4

Network 8: HALYTYKSEN KESTOAIKA

```

A(
A(
O "KAYPULS1" M240.2 -- KAYNNISTYSPULSSI KUN LINJA 1 PAALLE
O "KAYPULS2" M241.2 -- KAUNNISTYSPULSSI KUN LINJA 2PAALLE
)
S "S HALAIK" M240.7 -- ASETUS HALYTYS PAALLE
A(
O "HALLOPPU" M241.5 -- HALYTYKSEN PYSAYTYS

ON "HATASEIS" I0.0 -- HATASEISPIIRI
)
R "S HALAIK" M240.7 -- ASETUS HALYTYS PAALLE
A "S HALAIK" M240.7 -- ASETUS HALYTYS PAALLE
)
L S5T#5S
SP "HALKESTO" T20 -- HALYTYSVILKUN JA -SUMMERIN KYTK.AIKA
NOP 0
NOP 0
NOP 0
A "HALKESTO" T20 -- HALYTYSVILKUN JA -SUMMERIN KYTK.AIKA
= "HAL.OHJ." M240.4 -- OHJAUS HALYTYSVILKKU JA -SUMMERI

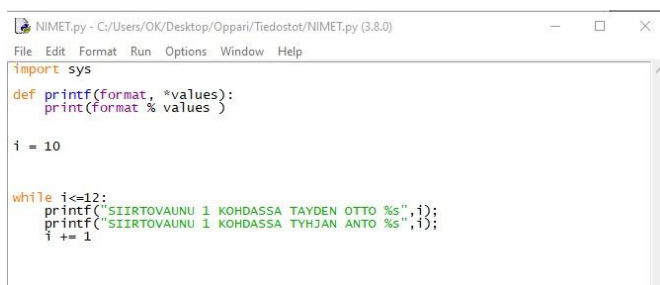
```

KUVA 62. Yksinkertaisen networkin muokkaukset. Alkuperäinen käännös ylhäällä ja muokattu alhaalla.

Loppusilauksena käännökseen tuli vaihdettua alkuperäiset saksalaiset IO-merkinnät vastaamaan IEC-standardoituja merkkejä, joka huomataan myös kuvasta 62. Tämä tarkoitti tulon eingang E muuttamista inputiksi I ja lähdön ausgang A muuttamista outputiksi Q. Tämä helpotti ainakin itseäni tarkasteltaessa ohjelmakoodia.

### 5.3 Konvertoidun sovelluksen tarkistelu

Tässä vaiheessa sovellus kääntyi ongelmitta sekä käännös oli siistitty ja muutettuna FBD-muotoon. Vertasin mappiin tulostettua alkuperäistä ohjelmaa käännökseen tarkoituksena varmistaa, että virheitä ei ole syntynyt käännöksen seurauksena. Samalla lisäsin muuttujille ja funktioille alkuperäiset nimet sekä niiden networkeille alkuperäiset kommentit, joista näkyikin esimerkki kuvassa 62. Tarkoitus oli myös ymmärtää ohjelman rakenne ja toimintalogiikka. Kommenttien sekä muuttujien nimien lisäys helpottaa ohjelman luettavuutta. Lisäksi ongelman ratkaisu niin käyttönotossa kuin vian selvityksessä on tehokkaampaa helpomman luettavuuden seurauksena. Aluksi muuttujien ja kommenttien lisäys osoittautui työlääksi ja puuduttavaksi operaatioksi. Symbolitaulukon käsityönä tehtävä muokkaaminen on virheherkkää ja aikaa vievää. Ensin käytin erilaisia Excelin taulukoint ominaisuuksia samankaltaisten nimien ja kommenttien luonnissa. Sitten siirryin yksinkertaisiin python skripteihin, joista on esimerkki kuvassa 63. Lopuksi käytin tekoälypohjaista OCR-tekniikkaa hyödyntävää ohjelmistoa, joka nopeutti työskentelyä. OCR-lyhenne tarkoittaa optista merkkien tunnistusta, joka tekoälyn ja algoritmien avulla poimii kuvasta kirjainmerkit. Alkuperäinen mappiin tulostettu ohjelma oli skannattu projektin alussa pdf-muotoon kuvina. Ajettaessa tämä pdf-tiedosto OCR-ohjelmalla sain lopputulokseksi lähes virheettömän tekstimuotoisen version. Tämän tekstin lisäsin Excel-tilin vastaaviin kohtiin, jonka myöhemmin vein STEP 7-ohjelmointiympäristöön. Lopputuloksena sain pienellä vaivalla lisättyä vajaasta 250 sivuisesta ohjelman kuvauksesta tarvittavat tiedot sekä virheiden todennäköisyys laski verrattuna käsin tietojen syöttämiseen.



```
import sys
def printf(format, *values):
    print(format % values)

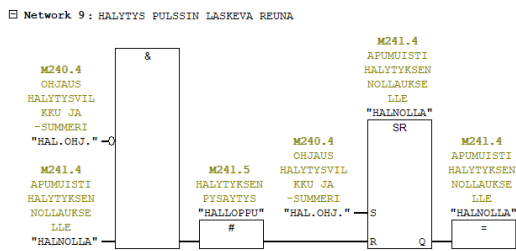
i = 10

while i<=12:
    printf("SIIRTOVAUNU 1 KOHDASSA TAYDEN OTTO %s",i);
    printf("SIIRTOVAUNU 1 KOHDASSA TYHJAN ANTO %s",i);
    i += 1
```

KUVA 63. Yksinkertaiset python skriptit.

Samassa yhteydessä perehdyin syvällisemmin ohjelman toimintaan, jonka perusteella muodostin toimintakuvausta sekä kuvan 66 piirroksen ohjelman rakenteesta. Ohjelman toiminnan ymmärtäminen on ensisijaista varsinkin ongelmanratkaisun kannalta. Ohjelman alkuperäinen kirjoittaja oli käyttänyt hyvin runsaasti erilaisia apumuistibittejä sekä mahdollisesti johtuen suorituskykyrajoituksesta oli kaikki nousevan tai laskevan reunan tunnistukset tehty käsin loogisilla operaatioilla. Tästä

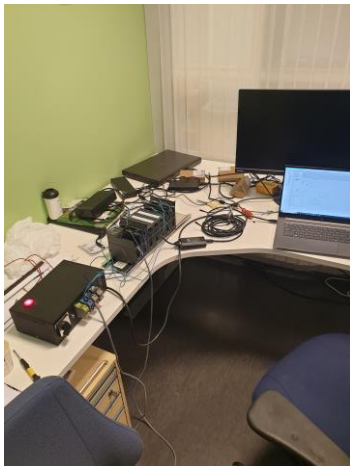
esimerkki alla olevassa kuvassa. Tämä seikka ei varsinaisesti helpottanut ohjelman suorituksen seuraamista.



KUVA 64. Apumuistibitit ja eräs laskevan reunan tunnistus esimerkki.

## 5.4 Valmiin sovelluksen simulointi

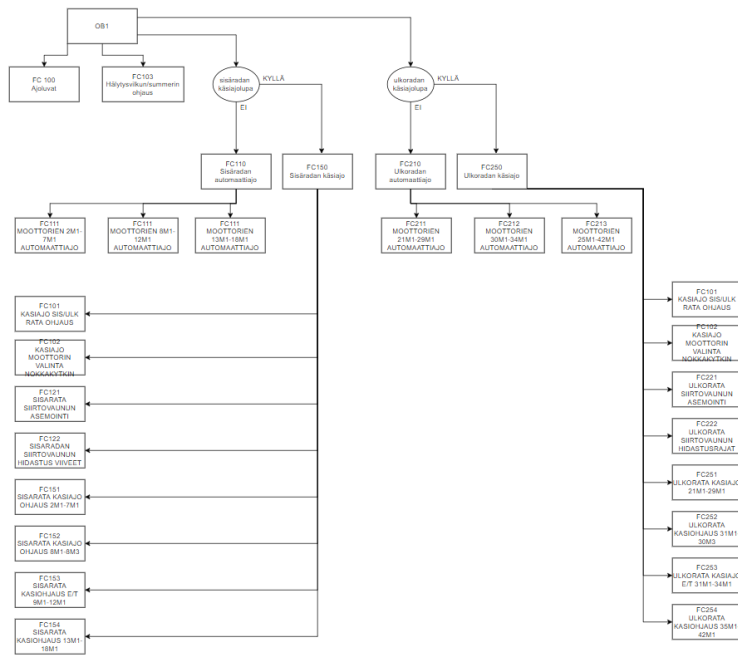
Valmista sovellusta simuloin virtuaalisesti Siemensin PLCSim-ohjelmistolla. Ohjelman suoritus vaikutti toimivan odotetusti. Seuraavassa simuloinnissa ohjelma pyöri fyysisesti CPU:lla, josta kuva alla. Kuvassa olen kasannut logiikan valmiiksi ja ohjelmasuorituksen simulointi tapahtuu rautapohjaisesti. Step 7:ssa käytetään VAT-taulukkoja ohjelmasuorituksen monitorointiin ja Force-taulukkoja fyysisen IO:n pakottamiseen. Simuloin koneen työkierron muutaman kerran, eikä tämän perusteella vaikuttanut esiintyvän ongelmia. Käännös oli siis onnistunut odotetusti.



KUVA 65. Simulointi.

Alla on piirros ohjelman rakenteesta. Piirroksesta voidaan huomata ohjelmarakenteen samankaltaisuutta linjojen välillä. Aivan täydellisiä kopioita ne eivät kuitenkaan ole mutta toimintalogiikka on kuitenkin vastaava molemmissa linjoissa.





KUVA 66. Ohjelman rakenne.

## 6 KESKUKSEN MUUTOSTYÖT

Lähtötilanteessa oli päätetty, että keskuksen ei tehdä suuria muutostöitä. Muutostöiden arvioinnissa keskityttiin välttämättömiin muutoksiin. Tähän liittyi oleellisesti olemassa olevan sähköjärjestelmän rakenteen selvitys niin piirustuksista kuin paikan päällä.

### 6.1 Suunnittelu ja toteutus

Suunnittelun pohjana oli olemassa olevan johdotuksen hyödyntäminen mahdollisimman suurella asteella, jolla voitiin vähentää asennustyön määrää ja siitä koituvia kustannuksia. Projektin päätarkeitus oli korvata ainoastaan logiikkakomponentit uusilla. Tämän lisäksi korvattavaksi päätyivät loogikan ja kentän tehonsyöttö sekä 24 VDC jännitteenjakoiskot. Turvapiiriin liittyvät komponentit olivat uusia lisäyksiä.

Sähköasennuksen käytännön toteutus tarkoitti sitä, että olemassa ollut IO-johdotus siirretään yksi kerrallaan vanhoista korteista uusiin. Vanhat komponentit kuten pistokantareleet, teholähteet, logiikkakomponentit jne. puretaan ja hyödynnetään niiden olemassa olevaa johdotusta mahdollisimman paljon uusille komponenteille. Uutta turvapiiriä varten asennetaan turvarele, kiittaussnappi ja kontaktori. 24 VDC kiskot korvataan uusilla komponenteilla, jotka parantavat oleellisesti kosketussuojausta.

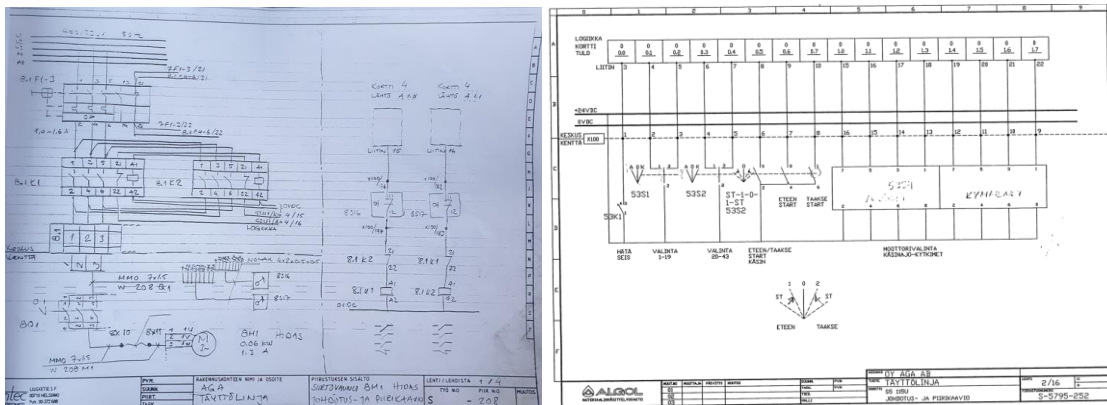
### 6.2 Hyödyt ja riskit

Muutostöiden valitulla toteutustavalla suurimpana hyötynä ovat alhaiset kustannukset asennustöissä ja komponenteissa sekä käyttöönotto on nopeaa.

Riskeinä suunnitelluissa muutostöissä ovat suurimpana johdotuksen meneminen ristiin IO-korteilla. Tämä inhimillinen virhe on mahdollinen, koska kaikki keskuksen johtimet olivat merkkeamattomia. Jos useampi johdin menisi ristiin, niin virheen korjaaminen olisi työlästä puutteellisten merkintöjen ja alkuperäisten sähköpiirustusten vuoksi.

### 6.3 Olemassa olleen sähköjärjestelmän kartoitus

Olemassa olleen asennuksen selvittelyssä oli ensiarvoisen tärkeää tutustua kohteeseen perinpohjaisesti tehtaalla. Sähköpiirustukset eivät olleet täysin kattavia ja kokonaiskuvan muodostaminen pelkästään niiden perusteella olisi ollut haastavaa. Sähköpiirustusten osalta hyödynsin alkuperäisiä loppupiirustuksia, joista yksi esimerkki oikealla kuvassa 67. Osa sivuista uupui sekä muutamia virheitä oli päässyt lipsahtamaan kuten väärät korttien osoitteet. Puuttuvia piirustuslehtiä korvasi kuvassa vasemmalla näkyvä esimerkki alkuperäisen projektin aikaisista käsin piirretyistä piirikaavioista. Täytyy nostaa hattua sen ajan suunnittelijoille, koska sähkökuvien käsin piirtäminen on työlästä ja yksitoikkoista. Piirustuksiin tutustumalla asennuksesta sai hyvän yleiskuvan sekä myöhemmin hyödynsin vanhoja piirustuksia uusien teossa.



KUVA 67. Käytössä olleet piirustukset.

Piirustusten tutkimisen jälkeen projektin yhteydessä tehtiin kaksi kenttäkäyntiä tehtaalla. Tarkoituksena oli selvittää piirustusten vastaavuutta sekä puuttuvien tietoja. Seuraavassa esitetään sähköjärjestelmän kartoitusta, joka alkaa syötöstä eteenpäin. Kuvassa 68 on tehtaan pääkeskuksen kenno, joka toimii syöttönä moottorikeskukselle. Kennossa on koon NH-C00 35 A kahvasulakkeet käyrällä G1, joka vastaa Gg:tä. Katkaisukykyä sulakkeilta löytyy 125 kA. Verrattaessa tätä asennettavan kontaktorin teknisiin tietoihin, joita käsiteltiin kappaleessa 4.4.1. Voidaan todeta, että etukoje vastaa ilmoitettuja arvoja, eli kontaktorin suojaus tulee olemaan kunnossa. Kennolta lähtee AMCMK 3x35+16+16 nousukaapeli moottorikeskukselle.



*KUVA 68. Pääkeskuksen syöttävä kenno.*

Kuvassa 69 on vasemmalla alhaalla eräänlainen virranjakokisko, johon syöttöjohto tuodaan moottorikeskuksessa. Vaikuttaa, että myöhemmin keskuksen elinkaaren aikana on päädytty parantelemaan kosketussuojausta. Kolmivaihesyöttö viedään keskuksessa oikeasta alalaidasta vasemmalla ylhäällä sijaitsevalle pääkytkimelle, joka on sijoitettu mielikuvituksellisesti keskuksen sivuseinälle, joka näkyy kuvan oikealla puolella.



*KUVA 69. Moottorikeskuksen 3-vaihe tulo.*

Pääkytkimeltä kolmivaihesyöttö jatkuu kuvassa 70 oikealla näkyvään jakorasiaan. Rasiasta oli edelleen haaroitettu kolmivaihesyöttö molemmille kuljetin linjoille erikseen sekä yhdestä vaiheesta

oli ketjutus kuvassa näkyville johdonsuojakatkaisijoille. Johdonsuojakatkaisijat toimivat etukojeena mm. kentän tehonsyöttölähteille, logiikalle, keskuksen valolle ja pistorasialle.



KUVA 70. Moottorikeskuksen 3-vaihe reitit.

Kuvassa 71 on molempien linjojen moottorilähdöt. Kuvan 70 jakorasiasta tuleva kolmivaihesyöttö on ketjutettu lähtöjen kesken molemmilla linjoilla. Kuvassa linjan yksi lähdöt ovat ylempänä ja linjan kaksi alempana. Moottoreiden kontakteilla on apukoskettimet, joita ei ole hyödynnetty. Hyvä idea olisi kytkeä apukoskettimilta takaisinkytkentätieto logiikalle, jolloin voitaisiin varmistua kontaktorin kytketymsistä. Kuvassa näkyvien moottorinsuojakytkimien apukoskettimet ovat myös ketjutettu keskenään siten, että mikäli linjalla yksi ylikuormitussuoja toimii, niin virtapiiri sulkeutuu ja siihen johdotettu rele saa pidon. Releeltä viedään vaihtoapukoskettimilla tieto ylikuormitussuojan laukeamisesta logiikalle sekä keskuksen kannessa olevalle merkkivalolle. Tämän perusteella logiikkaohjelman suorittamiselta loppuu ajolupa, eli linja pysähtyy. Kumpikin linja on johdotettu vastaavasti. Jos moottorinsuojakytkimiltä olisi johdotettu erikseen takaisinkytkentätieto logiikalle, niin sitä voitaisiin hyödyntää vianhaussa tai toiminnallisuudessa, jossa vain osa linjaa pysäytetään jumitilanteessa. Ratkaisulla on mahdollisesti haettu IO-resurssien säästöä.



*KUVA 71. Moottorilähdöt.*

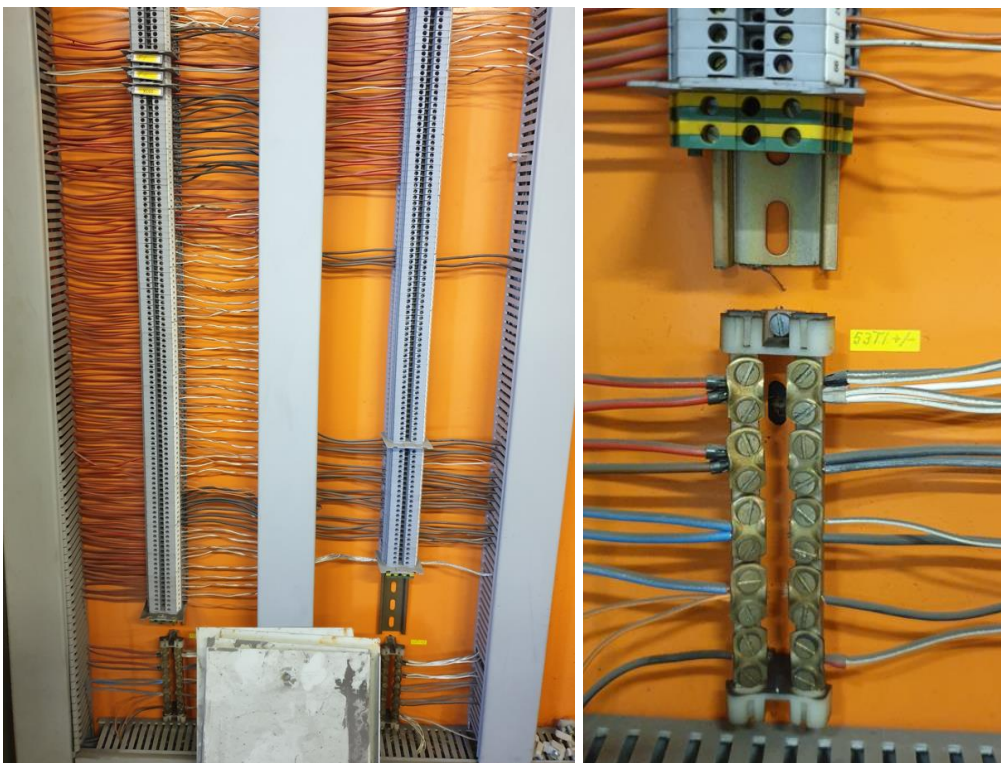
Alla olevassa kuvassa 72 näkyvät keskuksen 24 VDC teholähteet, joita oli yhteensä kolme kappaletta. Vasemmalla olevat Omronin teholähteet ovat nimellisvirraltaan 4,5 A. Ne ovat kytketty siten, että yksi teholähde syöttää yhtä lähtökorttia ja yhtä 24 VDC kiskoa. Voi olla, että alun perin linjat oli haluttu eriyttää mutta olemassa olleen asennuksen perusteella yhden teholähteen menetys olisi johtanut molempien linjojen alasajoon. Oikealla näkyvä Siemensin 3 A teholähde vastasi CPU:n syötöstä. Omronin teholähteillä huomattiin samassa yhteydessä reilun yhden voltin potentiaaliero, joka voi olla merkki ikääntyvän teholähteen tulevasta hajoamisesta.





KUVA 72. Teholähteet.

Kuvassa 73 on vasemmalla alhaalla näkyvät 24 VDC jännitteenjakokiskot, joita teholähteet syöttivät. Keskuksen sisällä oli kuvanottohetkellä edessä näkyvät metallilevyt, jotka aiheuttivat oikosulkuriskin, koska ne nojasivat suojaamattomien kiskojen välillä olevaa johtokourua vasten. Oikealla puolen kuvaa on lähikuva yhdestä 24 VDC kiskosta, josta huomaa paremmin kosketussuojan puutteen sekä johtimien kattavan väripaletin, jota oli aikanaan käytetty.



KUVA 73. 24 VDC jännitteenjako.

## 7 TIETOKANTAPOHJAINEN SÄHKÖSUUNNITTELU

Muutostyön yhteydessä koneen sähköjärjestelmän kytkennät eivät enää täysin vastanneet alkuperäisiä, joskin osin puutteellisia piirustuksia. Tämän vuoksi tein sähköpiirustukset kokonaan uudelleen käyttäen alkuperäisiä piirustuksia pohjana. Uusissakin piirustuksissa on lievää vanhanaikaisuutta mm. keskuskaavion osalta. Tarkoitus oli, että uudet piirustukset täydentävät vanhoja piirustuksia säilyttäen korrelaation esitysmuodossa. Standardit ovat hyvin yksiselitteisiä asian tiimoilta. Sähkölaitteistoista on oltava käytettävissä ajan tasalla olevat piirustukset ja asiakirjat. Jokaisen asennuksen muutoksen jälkeen tiedot päivitetään. (33, s. 18; 34, s. 9.)

### 7.1 Cadmatic ja tietokanta

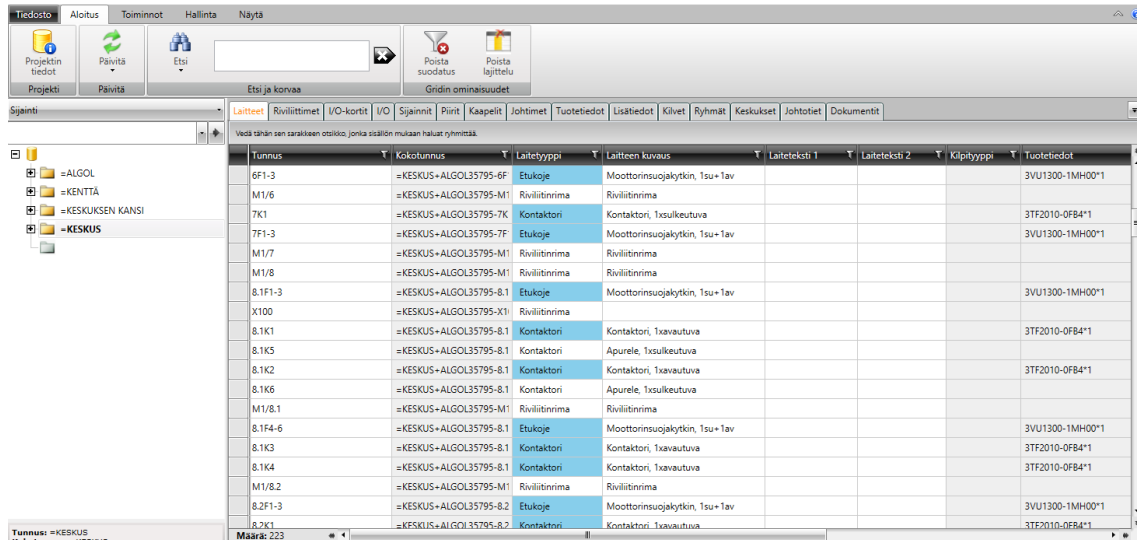
Tuotin projektin sähköpiirustukset Cadmatic Electrical Pro 2022 -versiolla. Cadmatic:lla on mahdollista, jopa suotavaa tehdä sähköpiirustukset hyödyntäen tietokantaa. Lyhyesti tietokantapohjainen sähkösuunnittelu tarkoittaa, että sähkökuvat eivät ole vain staattisia piirroksia vaan ne sisältävät kaiken projektissa tarvittavan tiedon. Tämä tieto on tallennettu taustalla pyörivään relaatiotietokantaan, joka Cadmaticilla voidaan valita Microsoft Access:n tai SQL:n välillä. Relaatiotietokanta tarkoittaa, että tieto on tallennettu erilaisiin taulukoihin, joihin suoritetaan kyselyjä kielellä, joka varsin usein on SQL.

Tietokanta mahdollistaa keskitetyn tiedonhallinnan. Sama tieto voi esiintyä piirikaavioissa, layouteissa, erilaisissa raporteissa ja luetteloissa. Muutos yhdessä tiedon esiintymispaikassa päivittyy kaikille esiintymille reaaliaikaisesti. Tietokanta mahdollistaa myös joustavan suunnitteluprosessin. Suunnittelu voidaan aloittaa projektin eri osista ja tietoja voidaan helposti lisätä tai muokata sovelluksissa, projektipuussa, tietokannassa jne. projektin eri vaiheissa. Projektitietokantaan voidaan luoda uusia tietokenttiä, joita on mahdollista hyödyntää monipuolisesti piirustuksissa attribuutteina tai raporteissa sekä tietomalleissa. (30.)

Alla oleva kuva havainnollistaa tietokannan toimintoja. Kuvan 74 projektipuussa vasemmalla on valittu hierarkiaksi sijainti, joka tarkoittaa, että oikealla näkyvän valikon välilehdistä voidaan muokata ja tarkastella valittuun sijaintiin liittyvää tietoa. Välilehdissä tieto on jaettu loogisiin kokonai-



suuksiin sekä niiden näkymissä voidaan tietoa seuloa erilaisten suodattimien avulla. Toiminnallisuus helpottaa tiedon etsimistä, sillä se poistaa tarpeettoman viitteiden kahlailun koko projektista. Käyttäjän on helppo siirtyä juuri haluttuun kokonaisuuteen.



KUVA 74. Cadmatic:n tietokantanäkymä.

Alla on kuva 75 esimerkkinä projektin IO:sta eri välilehdiltä tarkasteltuna. Kuvassa yläpuolinen osuus esittää valitun välilehden keskus sijainnissa olevia IO-kortteja. Yhdellä silmäyksellä on helpposti nähtävissä olennaiset tiedot kuten korttipaikka, kortin tiedot ja tyyppi. Tarkemmin IO:ta voidaan tarkastella I/O-välilehdeltä, joka on nähtävissä kuvan alapuolisessa osassa. Välilehti näyttää korttien IO-pisteiden kytkentätilan, eli ovatko ne johdotettu piirikaaviossa. Korttien IO-pisteiden tagit, kuvaukset ja osoitteet vastaavat logiikkaohjelman tietoja. Lisäksi kortin kytkentään liittyvä pinni numerointi on nähtävissä, jonka pinni järjestys on haettu tuotemallista. Tarkastelun lisäksi voidaan tietoa massa muokata helposti.

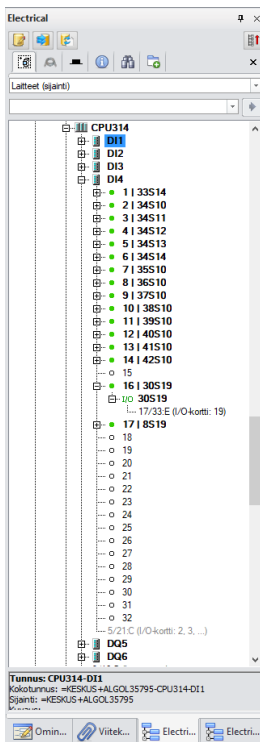
Tunnus	Isäntälaite	Korttipaikka	Valmistaja	Tuotemalli	Tuotemallin kuvaus	Kortin syöttölaite	Sarja	Kortin tyyppi
CPU314-DI1	=KESKUS+ALGOL35795-CPU314	DI1	SIEMENS	6ES7321-1BL00-0AA0	SM321, DIGITAL INPUT 32X24VDC	SITOP PSU 100L	S7-300	DI
CPU314-DI2	=KESKUS+ALGOL35795-CPU314	DI2	SIEMENS	6ES7321-1BL00-0AA0	SM321, DIGITAL INPUT 32X24VDC	SITOP PSU 100L	S7-300	DI
CPU314-DI3	=KESKUS+ALGOL35795-CPU314	DI3	SIEMENS	6ES7321-1BL00-0AA0	SM321, DIGITAL INPUT 32X24VDC	SITOP PSU 100L	S7-300	DI
CPU314-DI4	=KESKUS+ALGOL35795-CPU314	DI4	SIEMENS	6ES7321-1BL00-0AA0	SM321, DIGITAL INPUT 32X24VDC	SITOP PSU 100L	S7-300	DI
CPU314-DQ5	=KESKUS+ALGOL35795-CPU314	DQ5	SIEMENS	6ES7322-1BL00-0AA0	SM 322; DO 32 x DC 24 V/ 0,5 A	SITOP PSU 100L	S7-300	DO
CPU314-DQ6	=KESKUS+ALGOL35795-CPU314	DQ6	SIEMENS	6ES7322-1BL00-0AA0	SM 322; DO 32 x DC 24 V/ 0,5 A	SITOP PSU 100L	S7-300	DO

I/O-kortti	Kytkenään tila	Tag-nimi	I/O-teksti 2	I/O-Osoite	I/O-byypit	Pinni 1	Tuotemallin kuvaus	Sijainti	Ken
=KESKUS+ALGOL35795-CPU314-DI1	Kytkeyty	HATASEIS	HATASEISPIIRI	I0.0	DI	2	SM321, DIGITAL INPUT	=KESKUS-	
=KESKUS+ALGOL35795-CPU314-DI1	Kytkeyty	5351/A	AUTOMAATTIAJO 1	I0.1	DI	3	SM321, DIGITAL INPUT	=KESKUS-	
=KESKUS+ALGOL35795-CPU314-DI1	Kytkeyty	5351/K	KASINAJO 1	I0.2	DI	4	SM321, DIGITAL INPUT	=KESKUS-	
=KESKUS+ALGOL35795-CPU314-DI1	Kytkeyty	5352/A	AUTOMAATTIAJO 2	I0.3	DI	5	SM321, DIGITAL INPUT	=KESKUS-	
=KESKUS+ALGOL35795-CPU314-DI1	Kytkeyty	5352/K	KASINAJO 2	I0.4	DI	6	SM321, DIGITAL INPUT	=KESKUS-	
=KESKUS+ALGOL35795-CPU314-DI1	Kytkeyty	5353E/T	KASINAJO ETEEN- TAI TAAK	I0.5	DI	7	SM321, DIGITAL INPUT	=KESKUS-	

KUVA 75. IO-näkymä tietokannassa.

Samaa edellä esitettyä tietoa voidaan hakea projektipuusta avaamalla tietokanta työkalua kuten alla olevasta kuvasta 76 huomataan. Projektipuun on kevyempi työkalu esimerkiksi tarkasteltaessa yksittäisiä IO-pisteitä verrattuna tietokanta työkaluun, joka soveltuu parhaiten kokonaisuuden tiedonhallintaan. Kuvasta voidaan nopeasti päätellä IO-pisteen sijainti ja hierarkia suhteessa järjestelmään. Näin yksinkertaisessa projektissa ei ominaisuuksia pystynyt hyödyntämään täysin, mutta usean CPU:n ja keskuksen projektissa tietokannan tehokkuus pääsee oikeuksiinsa. Kuvan projektipuusta voidaan yhdellä silmäyksellä tarkistaa valitun IO-kortin kytkennän tila, joka ilmoitetaan vihreällä pallukalla. Se näyttää suoraan pinnan ja tagin, jota kytkentä edustaa. Lisätietoina näkyvät viite piirikaavioon, johon voi valikon kautta siirtyä. Toiminnon avulla voi tarkistaa nopeasti onko tiedot syötetty oikein ja suunnitelmien mukaan. Muokkaus onnistuu yhtä helposti.

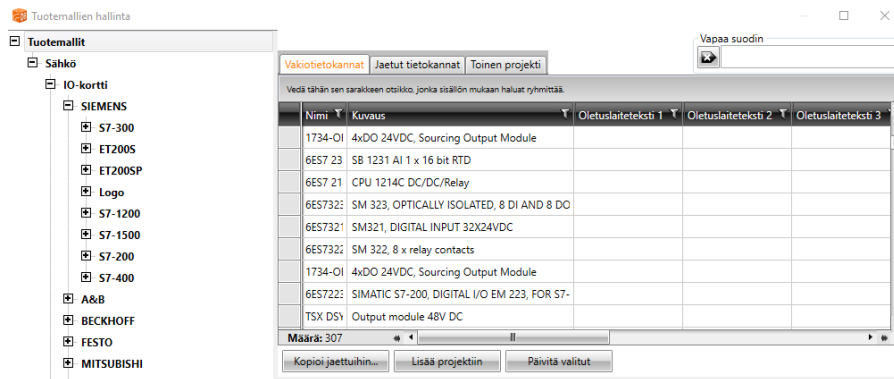


KUVA 76. IO-näkymä projektipuussa.

## 7.2 Tuotemallit

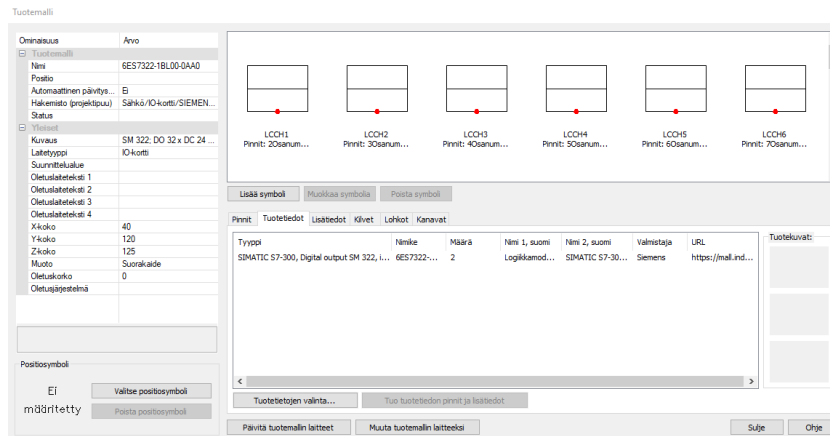
Cadmatic Electrical:ssa on valmiina tuotemalleja. Tarvittaessa suunnittelija voi ladata lisää valmiita tuotekirjastoja tai luoda kokonaan uusia. Tuotemalli sisältää mm. seuraavia tietoja: tuotteen tiedot, käännökset, asennustavan, 2D-piirrosmerkin, 3D-mallin, kokotiedon, valokuvan, sähkönumeron, nettilinkin tuotetietoihin jne. (31.) Esimerkkinä alla oleva kuva 77, joka esittää vakiotietokannan tuotemalli kirjastoa, joka sisälsi projektissa käytetyt logiikka komponentit. Kuvasta voidaan päätellä,

että valmiiden tuotemallitietojen haku on suhteellisen kivutonta. Vakiotietokannan tuotemallit sisältävät vaihtelevasti tietoja laitteista, joita käyttäjä voi täydentää kattavasti niin halutessaan.



KUVA 77. Tuotemallit vakiotietokannassa.

Alla olevassa kuvassa on avattu näkymä lähtökortin sisältämästä informaatiosta, joka on tuotu edellisen kuvan esittämästä tuotemallikirjastosta. Kuva 78 esittää suhteellisen vähän laitteen lisätietoja, koska niitä ei ole erikseen syötetty. Vakiona kuitenkin tulee 3d-mallinnusta varten vaadittavat kokotiedot, tyyppi ja nettilinkki valmistajan sivuille, josta voidaan tarkistaa yksityiskohtaiset tuotetiedot. Tärkeämpi ominaisuus tässä vakiotuotemallissa oli valmiiksi lisätyt attribuutit, jotka liittyivät IO:n kytkentään.



KUVA 78. Projektiin valitun tuotemallin tuotetiedot välilehti.

Projektissa loin useamman uuden tuotemallin, koska olemassa olleen asennuksen komponentit olivat sen verran iäkkäitä, että valmiita tuotemalleja niille ei löytynyt. Tuotemallit ovat käteviä suunnittelijan apuvälineitä. Esittelen esimerkin vuoksi kaksi tapaa, joilla hyödynsin tuotemalleja. Sähköjärjestelmän kartoituksen yhteydessä sain tiedot olemassa olleen asennuksen komponenteista.

Tämän pohjalta loin projektitietokantaan komponentille tuotemallin, jota täydensin tarvittavilla tiedoilla. Projektin tuotemalli näkymästä on otettu kaappaus kuvan 79 yläosassa, joka esittää osan projektiin luoduista malleista. Klikkaamalla mallia päästään yksityiskohtaisempiin tietoihin kuten kuvassa 78 esitettiin. Yhden tuotemallin luonnin jälkeen käytin sitä massageneroinnin avulla niin monta kertaa kuin tarvitsin ilman, että olisi tarvinnut lisätä jokaista syötettä erikseen generoitaessa eri pohjakuvia. Tähän liittyy kuvan 79 alaosa, joka on kuvakaappaus generointitaulukosta. Kuvasta nähdään, että taulukossa viitataan edellä luotuun tuotemalliin generoitavissa pohjakuvissa. Excel sarake O antaa moottorinsuojakytkimelle positiotunnuksen ja P-sarake linkittää aiemmin luomani tuotemallin tälle positiolle. Kuvassa näkyvät muut komponentit ovat yhdistetty samalla tavalla tuotemalliin. Sanomattakin on selvää, että tämä tehostaa työskentelyä ja vähentää virheiden määrää.

The screenshot shows a software window titled "Projektin tuotemallit" (Project Components). On the left is a tree view of the project structure, including "Sähkö" (Electrical), "IO-kortti" (IO card), "SIEMENS S7-300", "DI", "DO", "Kontaktori" (Relay), "Moottori" (Motor), and "Turvakytkin" (Safety switch). The main area is a table with the following columns: Symboli, Positio, Laitetyyppi, Nimi, Lukumäärä, and Positiosymboli. Below the table are buttons for "Uusi...", "Muokkaa...", "Kopioi...", "Poista", "Tuotemallien hallinta...", "Luo laitteesta...", "Sijota...", "Sulje", and "Ohje".

O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
Moottorinsuojakytkin	Tuotemalli1	Kontaktori	Tuotemalli2	Riviliitin	Rivi	Riv	Turvakytkin	Tuotemalli3	Moottori	Tuotemalli4
15F1-3	=KESKUS+SSähköpositio[1] 15K1		=KESKUS+SSähköpositio[1]5-SKontakto M1/15				15Q1	=KENTTÄ-\$Turvakytk 15M1		=KENTTÄ-\$Moottori

KUVA 79. Projektin tuotemallien linkitys generoinnissa.

Toinen tuotemallin hienous piilee siinä, että esimerkiksi loppukuvia tulostaessani huomasin jonkin virheen moottorinsuojakytkimen tiedoissa. Minun tarvitsi muokata ainoastaan tätä yhtä tuotemallia tietokannassa, joka automaattisesti päivittyi kaikkiin sähkökuviin. Projektin mittakaava oli verrattain pieni mutta isoissa projekteissa tuotemallin täysimittainen hyödyntäminen lisää tehokkuutta sähkösuunnittelussa. Tuotemalleja voidaan hyödyntää tyyppityksessä, 3D tilavarauksissa, laite- ja valaisinluetteloissa, sähkötekniisten laskelmien apuna, kuten tehot ja jännitteenalenemat jne. (31.)



Symbolin etuna on, että manuaalinen tietojen lisäys kuvaan jää kokonaan pois. Se voidaan monistaa kaikille projektin korteille. Käsintehdyissä kuvissa esiintyvät virheet voidaan minimoida, koska tietojen esittäminen perustuu tietokantaan. Tiedonhallinta on helppoa, sillä symboli päivittyy tietokantaan tehtyjen muutosten perusteella. Alla olevassa kuvassa 81 kaappaus symbolin rakenteesta suunnittelunäkymässä. Se havainnollistaa symboliin kytkeytyvän tietokannasta haettavan informaation. Symboli voidaan tallentaa symbolivalikkoon, jolloin se on käytettävissä vastaavissa projekteissa tarvittaessa. Kuvan symboli on kätevä esittämään kootusti IO:n kytkentöjä.



KUVA 81. IO-kortti symboli attribuutteineen.

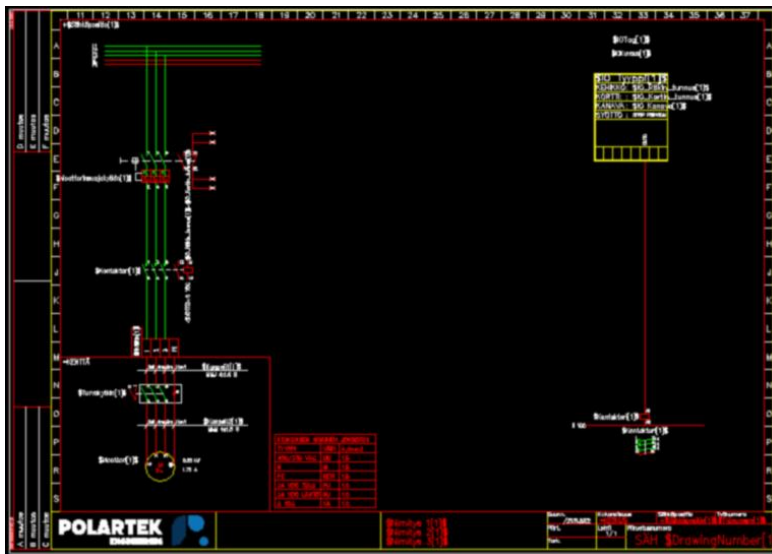
Lisäksi saman tiedon syöttäminen useaan kertaan symboleita käytettäessä jää pois. Tässäkin esimerkki symbolissa toin ensin Step 7:sta ohjelman tagit suoraan Cadmatic:n tietokantaan generoinnissa. Tätä tuotua tietoa oli esitelty kuvassa 75. Sitten yhdistin tietokantaan tuodut tagit ja Cadmatic:n valmiin Siemensin IO-kortti tuotemallin, jolloin tuloksena oli tietomalli IO kortista. Tietomallin sisältämä data esiintyy piirikaavioissa sekä esimerkin symbolissa.

#### 7.4 Modulaarinen generointi

Generointi tarkoittaa yksinkertaistettuna automaattista piirustusten luontia pohjakuvien ja Excel-taulukkoon syötettyjen tietojen perusteella. Se on hyvin kätevä toiminto, jos piirustukset ovat samankaltaisia. Projektin kuvat olivat erittäin otollisia kohteita, sillä suurin osa oli samantyyppisiä moottorilähtöjä tai logiikalle tuotavaa anturitietoa.

Generointityökalulla voidaan projekti luoda osittain tai kokonaan sekä tuoda olemassa oleviin projekteihin lisää moduuleja. Moduuli voi olla sähkökuva, tietokanta tai kokonainen projekti. Moduulin laajuus voidaan päättää tapauskohtaisesti, vaikka yleensä se sisältää yhden toiminnon. Moduuli voi koostua kaiken tyyppisistä Electrical-objekteista, joita ovat mm. layoutit, piirikaaviot, sijainnit, laitteet, tuotetiedot, I/O:t, kaapelit ja kilvet. Moduulien parametrit haetaan Excel-moduuliluettelosta, joka sisältää suunnittelijan syöttämät tiedot. Luettelossa moduuli parametri on pakollinen, muut ovat vapaasti valittavissa. (32.)

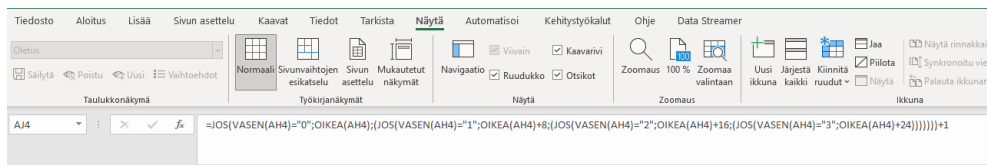
Moduulin sisältämästä piirikaaviosta on esimerkki alla olevassa kuvassa 82. Pohjakuvaan on tehty valmiiksi halutunlainen piirikaavio, johon tuodaan generoinnissa aiemmin mainittuja tietoja. Pohjakuvan lisäksi moduuli voi sisältää tietokannan, joka voidaan yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi. Sähköistä kuvien lukua ajatellen ovat Cadmatic:lla generoitavat johdinten ristiviittaukset hyödyllisiä. Ristiviittausta klikatessa voidaan seurata johdinta piirikaaviosta toiseen. Projektissa moottorinsuojakytkinten apukoskettimia oli ketjutettu keskenään ja kuvassa 82 näkyvä ko. apukoskettimen johdotuksen ristiviittaus generoituu automaattisesti Excel-taulukon perusteella valmiisiin kuviin.



KUVA 82. Moduulin pohjakuva.

Lähes kaikki projektin sähkökuvat ovat generoinnin tulosta. Etuina ovat ajansäästö ja virheiden välttäminen. Haittapuolina ovat mahdolliset systemaattiset virheet, jotka toistuvat koko projektiin. Tällaisia virheitä pyrin välttämään huolellisella työskentelyllä sekä tekemällä pohjakuvista aina muutamia koevedoksia, joiden perusteella hienosäädin Excel-taulukkoa tai moduulin pohjakuva. Excelissä hyödynsin mahdollisimman paljon taulukointiominaisuuksia, jolla voi tehokkaasti välttää

näppäilyvirheitä sekä tehostaa työskentelyä. Alla olevassa kuvassa esitetään yksi Excel taulukointiin liittyvä kaava. Kaava valitsee oikean pinninumeron tagin osoitteen perusteella generoitavaan korttiin. Kaava ei näytä kovin tekniseltä, vaikka täyttikin tehtävänsä. Kaavojen etuna on virheiden välttäminen, koska yhden kerran tehtyjä kaavoja voidaan monistaa kaikille soluille. Myöhemmin tosin huomasin Cadmatic:n valmiin IO-toiminnon, jolla kuvan 83 viritys olisi voitu korvata.



KUVA 83. Excel taulukkoon tietojen syöttö automaattisesti kaavoilla.

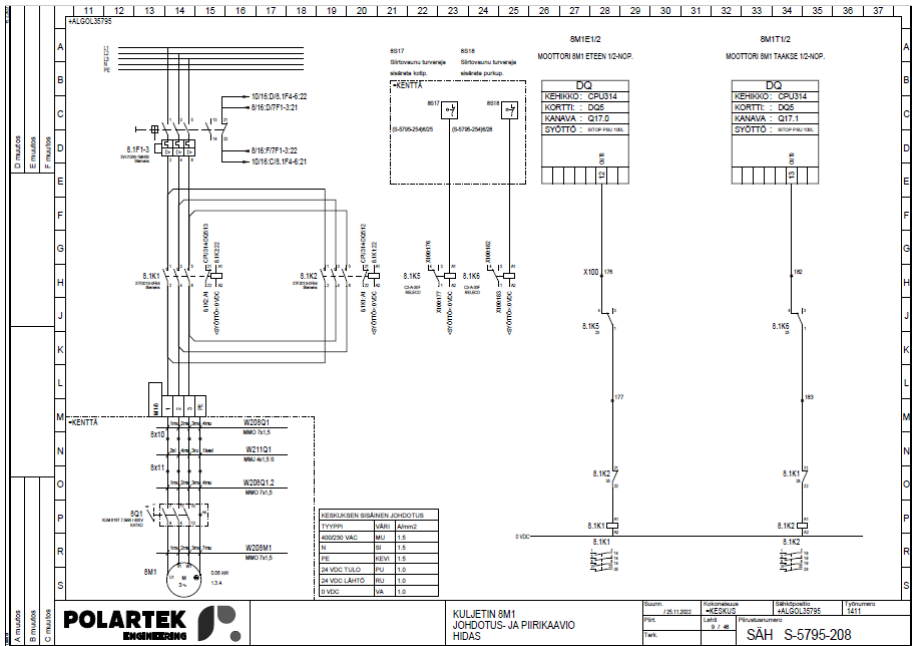
Kuvassa 84 on esitetty osa projektin moduuliluettelosta. Taulukosta generointi työkalu osaa hakea tarvittavat tiedot ja yhdistää ne moduulien pohjakuviin. Valmis taulukko sisälsi 41 saraketta ja 194 riviä. Osa tiedoista on syötetty käsin, vaikka pääosin olen käyttänyt taulukointiominaisuuksia. Yksityiskohtaisempi kuva moduuliluetteloon syötetystä tiedosta esitettiin kuvassa 79.

KUVA 84. Excel moduuliluettelo.

Yllä olevan moduuliluettelon ja kuuden moduulin avulla generoitui n. 70 piirustuslehteä. Keskuskaavion osalta toin tietokantaan ainoastaan tiedot, jotka valitsin Cadmatic:n automaattisella keskuskaavion täyttötyökalulla. Täyttötyökalu haki tietokantaan tuodut moduuliluettelon tiedot muokkaamalla keskuskaaviopohjalle, joka vastasi alkuperäisten piirustusten tyyliä. Piirustusten tarkistusta ja käsityötä generoinnin jälkeen kuitenkin vaadittiin, sillä osassa piirikaavioista oli pieniä eroja,

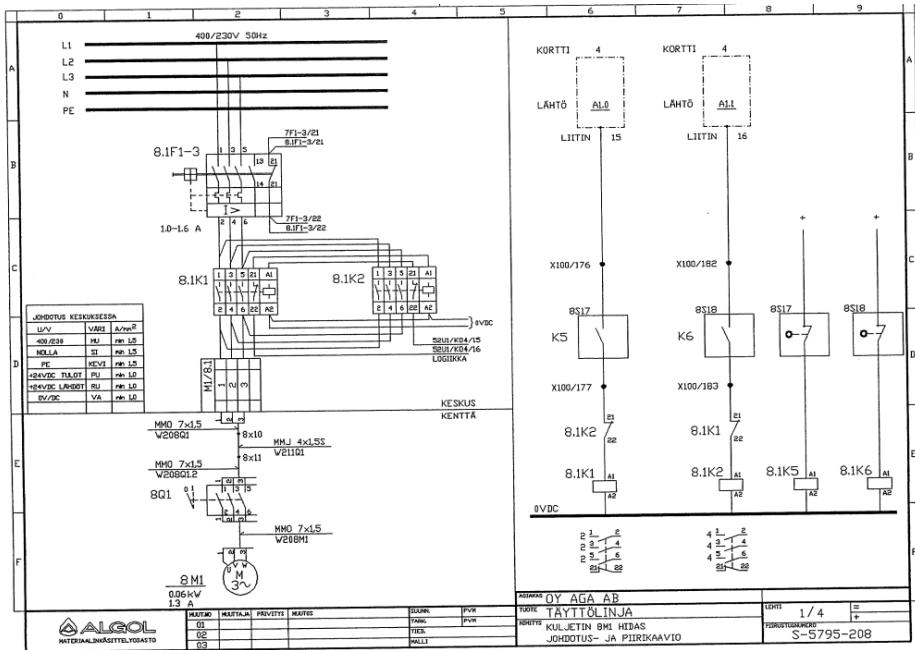


jotka olivat nopeampi korjata suoraan kuvaan kuin tehdä omaa moduulia. Alla on esimerkkinä kuva uudesta piirikaaviosta, joka tulostui generoinnissa käytetyllä moduulilla ja moduulitaulukolla.



KUVA 85. Uusi piirikaavio.

Kuvaa 85 voidaan verrata vanhaan piirikaavioon alla olevassa kuvassa 86. Erotuksena ovat uuden logiikan kortit ja osa lisätiedoista. Kytkenä on sama pois lukien muutamia virheenkorjauksia alkuperäisestä, kuten suunnanvaihtokontaktorien johdotus.



KUVA 86. Vanha piirikaavio.

## 8 KÄYTTÖÖNOTTO

### 8.1 Asennusohje

Asennusohjetta voisi verrata käyttöohjeeseen, jossa tarkoitus on ohjata lukija oikeanlaiseen suoritukseen. Lukijan mielenkiinnon ylläpitämiseksi ohjeen teksti on oltava helposti ymmärrettävää ja tarpeeksi lyhyt pituudeltaan. Ohjeen tulisi sisältää vain tärkeimmän tiedon jättäen turhan täydetekstin kokonaan pois. Välivaiheita ei tule jättää pois, vaan tekstin tulisi olla mahdollisimman aukotonta. Ohje tulee laatia lukijaa ajatellen, eli itselle täysin selvät asiat eivät tarkoita, että ne olisivat sitä myös lukijalle. (35.)

Ohje on oltava looginen, että lukija voi siirtyä suoraan haluamaansa kohtaan ilman syvällisempää perehtymistä koko ohjeeseen. Tässä auttavat kokonaisrakennetta selkiyttävät väliotsikot, joiden pohjalta voidaan rakentaa sisällysluettelo. Sisällysluettelo auttaa hahmottamaan ohjeen rakennetta ja helpottaa löytämään tarvittavaa kohtaa. Perusvaatimuksena ohjeelle on, että se on helposti ymmärrettävä ja selkeä. Ohjeen tulisi selvittää lukijalle mitä tehdään ensin, sen jälkeen ja lopuksi. Ohjeen kuvituksella on tuntuva merkitys, sillä voidaan yksinkertaistaa lukijalle monimutkaisia asioita sekä kuvat taustoittavat tekstissä esitettyä asiaa. (35.)

Asennusohjeen perustana käytin opinnäytetyön ohjaajan pohjaa. Sain neuvoja rakenteesta ja asioista, joita ohjeessa tulisi esittää. Tärkeää ohjeessa on, että se on mahdollisimman yksiselitteinen ja havainnollistava. Kuvassa 87 on esitetty asennusohjeen ensimmäisen sivun sisällysluettelo. Luettelo kokoaa yhteen asennuksessa tehtävät työt selkeyttäen kokonaisuutta. Tarvittaessa sähköurakoitsija voi siirtyä suoraan haluamaansa kohtaan kahlaamatta koko ohjetta lävitse.

#### 1 Algol lattiakuljetin keskuksen muutostyöt

##### YHTEENVETO ASENNUKSESTA

1.1	Tarvikeluettelo	2
1.2	Hätäseisreleen ja turvakontaktorin asennus/johdotus	3
1.3	Nykyisten virtalähteiden purku ja uuden asennus/johdotus	8
1.4	24 VDC kiskojen purku/uusien asennus	10
1.5	Nykyisen logiikan purku ja uuden asennus/johdotus	11
1.6	Nykyisten logiikkakorttien johtimien siirto uusiin kortteihin	16

KUVA 87. Asennusohjeen sisällysluettelo.

Kuvassa 88 muutamia esimerkkisivuja ohjeen eri osista. Ohjeessa on käytetty runsaasti kuvia tekstin tukena, eikä yhtäkään välivaihetta ole jätetty pois. Sivulla on viittaus kyseiseen piirikaavioon, jota kytkennän kuvaus koskee. Ohjeistus perustui valmistajan manuaaleihin asennustavasta.



KUVA 88. Asennusohjeeseen sisältyneitä sivuja.

## 8.2 Asennus ja viimeiset muutokset

Komponenttien saatavuus aiheutti muutoksia suunnitelmiin. Sähköurakoitsija selvitti tavarantoimittajaltaan korvaavia laitteita, jotka yhteistyössä valittiin esitettyjen tilalle. Suunnittelijan tehtävä oli varmistua tavarantoimittajan esittämien komponenttien sopivuudesta, eli käytännössä tutustuin valmistajan manuaaleihin ja totesin, että alun perin asetetut spesifikaatiot täytyivät. Sen jälkeen päivitin asennusohjetta sekä piirsin uudestaan piirikaaviot niiltä osin kuin se oli tarpeellista.

Sähköasennuksen aloituspäivänä kävimme yhdessä sähköasentajien kanssa läpi paikan päällä tarvittavat muutostyöt. Kävin kohteessa päivittäin tarkistamassa työn etenemistä ja vastaamassa kysymyksiin, mikäli sellaisia oli ilmennyt. Asennuksessa ilmeni muutamia yllätyksiä alkuperäisistä kytkennöistä mutta ei mitään merkittävää. Asentajilta tuli hyviä ideoita mm. komponenttien sijoitteluun, eli kontaktorin paikkaa vaihdettiin niin, että kolmivaihe syöttö kulkee omalla reitillään selvästi erossa pienoisjännitepuolesta. Asennus sujui erittäin hyvällä yhteistyöllä ja mielestäni suunnittelijan tulee kuunnella paitsi asiakasta, mutta myös asennustyötä suorittavia, jolloin päästään mahdollisimman hyvään lopputulokseen.

## 8.3 Koeajo

Sähköasennuksen valmistuttua tarkastettiin, että kytkennät vastasivat silmämääräisesti suunniteltua ja kytkettiin keskus jännitteiseksi. Ensimmäiseksi testattiin hätäpysäytyspiiri kuittauksineen,

joka todettiin toimivaksi. Tämän jälkeen testauksen kohteena oli siirtovaunujen mekaaniset turvarajat, jotka estävät siirtovaunun törmäämisen suoja-aitaan. Testien tarkoitus oli varmistaa, että IO:n johdotus on oikein kytketty. Testaus eteni siten, että turva-automaatioon liittyvien piirien toimivuus varmistettiin ensin, sitten koneen omien suojalaitteiden toimivuus ja lopuksi käsiajolla koko IO. Vasta tämän jälkeen automaattiajotila aktivoitiin. Käsiajotilalla kuljetin toimi odotetusti, eikä kytkentä- tai logiikkaohjelman suorituksen virheitä esiintynyt.

Automaattiajotila vaikutti aluksi sekin toimivan, mutta tietyissä reunatapauksissa siirtovaunun toiminta ei vastannut alkuperäistä, vaan se jumiutui. Ongelma oli siinä mielessä mielenkiintoinen, että siirtovaunu osasi täyttää ja purkaa täyttöaseman pisteille häkkeitä yksitellen annetuilla kutsuilla. Samoin siirtovaunu toimi oikein ns. täydellä kuormalla, jossa kaikilta pisteiltä oli vaadittu kaikki kutsut. Ongelma esiintyi ainoastaan tapauksessa, jossa siirtovaunusta katsoen ensimmäiseltä täyttöpisteeltä oli annettu tyhjän häkin kutsu sekä seuraavasta täyden ja tyhjän häkin kutsu. Siirtovaunun paikoitus täyttöpisteille toimi mutta se ei lopettanutkaan ajoa vaan jatkoi radan loppuun purkupaikalle asti, jossa mekaaniset turvarajat toimivat. Vian jäljitys oli siinä mielessä haastavaa, että ohjelman loogisessa etenemisessä ei ollut vikaa, toimihan se muuten oikein lukuun ottamatta reunatapauksia. Poissuljin komponentti viat, koska käsiajolla paikoitukset ja IO toimi odotetusti. Monitoroinnin avulla huomasin siirtovaunun ajotilan kytkeytyvän tietyssä tilanteessa, vaikka niin ei pitäisi logiikkaohjelman perusteella tapahtua.

Ongelma paikallistui sivusiirron yhteen networkkiin, joka nollasi moottorin ajotilan paikoitustiedon ja häkkikutsun perusteella. Näennäisesti suoritus toimi oikein mutta jostain syystä suoritusjärjestyksessä oli silti ongelmia. Todennäköiseksi syylliseksi paikantui uudemman logiikan huomattavasti nopeampi suoritusteho verrattuna S5:n sykliin, joka todennäköisesti aiheutti ongelmia induktiivisilla antureilla toteutettuun paikoitukseen. Niiden antama paikoitustieto ohjelmassa tuli väärään aikaan suhteessa suorituserjestykseen. Ongelma korjaantui viiveiden lisäämisellä, eli paikoitustieto oli logiikkaohjelman käytössä oikea-aikaisesti, eikä vastaavaa ohiajoa esiintynyt. Mielenkiintoista oli, että viiveet piti säätää kohdalleen riippuen täyttöpisteestä. Tähän vaikutti todennäköisesti pienet heitot metallilätkissä, joiden perusteella paikoitus oli toteutettu.

Toisenlaisia korjauksia ongelmaan olisi voinut olla esim. nousevan reunan tunnistuksella varustettu looginen operaatio, joka pakottaisi ajotilan nollauksen päälle. Moottori ei voisi kytkeytyä päälle, kun oikea paikkatieto on saatu ja tietyt reunaehdot ovat voimassa. Yksi vaihtoehto olisi ollut induktiivi-

sen hidastusrajan alkuperäisen viiveen säätö, eli siirtovaunu olisi aloittanut hidastamisen aikaisemmin, joka olisi voinut johtaa paikoituksen toimimiseen oikeassa suoritusjärjestyksessä. Tämä oletus perustuu siihen, että hitaammalla nopeudella paikoitusraja on mahdollisesti aktiivisena kauemmin, joten suoritusjärjestys ei häiriinny.

#### 8.4 Luovutus

Luovutuksen yhteydessä molempia linjoja koeajettiin kattavasti tehtaan esimiehen kanssa hyvällä yhteistyöllä. Koeajojen perusteella koneen toiminta vastasi haluttua molemmilla linjoilla, eikä virheitä paikoituksessa tai muussakaan toiminnassa esiintynyt millään kombinaatiolla. Vierailin vielä myöhemmin tehtaalla, koska voimassaoleiden logistiikka-alan lakkojen vuoksi suunnitellun teholähteen toimitus viivästy ja käytössä oli korvaava laite opinnäytetyön tilaajalta. Asennus suoritettiin loppuun ja samalla haastattelin mahdollisista ongelmista käytön aikana. Yksi ongelma, joka ei esiintynyt koeajojen yhteydessä oli ilmennyt mutta se ei ollut toistunut. Se saattoi liittyä erään system fault-ongelman ratkaisuun edeltävästi, jonka yhteydessä kytkin logiikan jännitteettömäksi.

Luovutuksen yhteydessä ei tarvittu ohjeistusta koneen käytössä, vastasihan se toiminnaltaan täysin alkuperäistä. Häätäpysäytyksen kuittauksen näytin erikseen sillä hetkellä vuorossa olleille operaattoreille, koska tämä oli uusi toiminnallisuus. Tehtaan esimiestä oli kuittausmenettelystä informoitu aiemmin, joka jakoi tiedon käyttöhenkilöstölle. Asiakkaalle toimitettiin logiikkaohjelma projektin kopio sekä sähköpiirustukset.

Alla olevan kuvan 89 vasen puoli esittää alkuperäistä logiikkaa ja oikealla on esitetty muutostyön lopputulos keskuksessa. Muutostyön suunnittelun alkuvaiheessa oli jo tiedossa, että alkuperäisten korttien johdotukset olivat reilun kokoisia, joka voidaan huomata myös kuvasta. Ainut haittapuoli oli, että uuden logiikan asennuksesta ei saanut niin siistiä kuin mahdollista, koska korttien suojakannet eivät johtimien koon vuoksi menneet kiinni. Estetiikan parantaminen olisi kuitenkin tarkoittanut merkittävästi lisää asennustyötä. Kuvan oikealta puolen voidaan nähdä uusi turvarele sekä tämän ohjaama kontaktori. Kolme vanhaa teholähdettä korvattiin yhdellä uudella ja 24 VDC jännitteenjako on toteutettu Phoenix Contactin valmistamilla tuotteilla.



KUVA 89. Vasemmalla on alkuperäisen S5:sen joutsenlaulu lähestymässä viimeisiä säikeistöjä. Oikealla on korvaava S7 sekä keskukseen tehtyt muutokset.

## 9 YHTEENVETO

Asetettu päätavoite alkuperäisen logiikan vaihdosta uuteen saatiin työn puitteissa toteutettua. Logiikan vaihdossa perehdyttiin korvattaviin komponentteihin ja uusiin asennettuihin laitteisiin. Selvitystyötä vaati vanhan logiikan sielunelämän tutkiminen konvertoinnin yhteydessä sekä uuden logiikan kytkentöjen ynnä muiden spesifikaatioiden tarkastelu asennusta varten. Logiikkaohjelmaan ei tehty muutoksia lukuun ottamatta muutamia hienosäätöjä projektin eri vaiheissa. Oli opettavaista tutustua erilaisella tyylillä rakennettuun ohjelmaan ja selvittää olemassa olleen dokumentaation perusteella tehtyjä ratkaisuja tässä retrohenkisessä järjestelmässä.

Toimintakuvauksen ja ohjelman rakenteen selvittelystä oli merkittävää hyötyä onnistuneessa käyttöönotossa, sillä koeajoissa esiintyi ongelmia huolimatta ohjelman testauksesta virtuaalisesti ja rauvapohjaisesti. Oikeilla laitteilla ja reaali maailman käyttöympäristössä on aina omat kompastuskivensä, joita voi olla hyvin hankalaa simuloimalla mallintaa. Tästäkin syystä oli erittäin hyödyllistä, että projekti saatiin opinnäytetyön puitteissa toteutettua alun kehityskohteen tunnistamisesta aina loppua tapahtuvaan uuden logiikan käyttöönottoon.

Työssä käsiteltiin kattavasti kohteen sähköjärjestelmää sekä muutettiin osaa kytkennöistä, tosin ne pääasiassa liittyivät logiikan johdotukseen. Tutkimisessa hyödynnettiin kaikkia saatavilla olleita piirustuksia, mutta tästä huolimatta tai niitten takia, oli ensiarvoisen tärkeää tutustua kohteeseen kentällä. Pelkistä piirustuksista voi olla hankala muodostaa kokonaiskuvaa ilman käytännön tutustumista kohteeseen. Hyvä kartoitus olemassa olevaan asennukseen toimii pohjana suunniteltaessa järjestelmän osittaista saneerausta. Sähköasennuksen yhteydessä ei esiintynyt ongelmia, vaikka saatavuusongelmilla ja logistiikan takkuamisen vuoksi tiettyjä muutoksia alkuperäiseen suunnitelmaan tehtiin. Tämä osaltaan kertoo, että suunnittelu oli siltä osin osunut kohdilleen. Vastaavanlaisessa projektissa olisi yksi vaihtoehto toteuttaa sähköpiirustusten päivitys tekemällä olemassa oleviin piirustuksiin muutokset ns. punakynämerkkauksilla, joka sinänsä on validi tapa. Työssä päädyttiin tekemään piirustukset tietomallipohjaisesti hyödyntäen käytetyn CAD-ohjelman toimintoja siinä mittakaavassa kuin se projektin viitekehysessä oli mahdollista. Tuloksena oli alkuperäisiä selkeämmät ja havainnollistavammat dokumentit.

Projektia ei toteutettu laput silmillä, eli keskitytty pelkästään korvaamaan ikääntynyttä laitteistoa ja tekemään vähintään mahdollista, vaan huomioitiin myös koneturvallisuuden vaikuttavat seikat. Niitä

käsiteltiin projektin näkökulmasta, mikä tarkoitti vanhan ja käytössä olevaan koneen koneturvallisuuden problematiikkaa muutostyön yhteydessä. Tähän liittyen vertailtiin lyhyesti erilaisia koneturvallisuusstandardeja sekä käsiteltiin niiden soveltamista käytännön esimerkein niiltä osin kuin se muutostyössä oli tarpeellista.

Työ sisälsi seikkaperäisesti kaikki vaiheet aina johdannossa mainitusta alkuperäisen logiikan vika selvityksestä, joka osaltaan johti logiikan modernisointitarpeen tunnistamiseen, suunnitteluun, toteutukseen ja käyttöönottoon. Lopputuloksena kuljetinjärjestelmän elinkaari piteni, käyttövarmuus kasvoi ja koneturvallisuus parani.



## LÄHTEET

1. Armenta, Antonio 2022. Siemens SIMATIC PLCs - Hardware History. Control automation 5.5.2022. Hakupäivä 20.1.2023. <https://control.com/technical-articles/siemens-simatic-plcs-hardware-history/>.
2. Siemens Industry Online Support 1996. CPUs 941 to 944-7UA. For S5-115U to be Discontinued. Hakupäivä 20.1.2023. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/4151055/cpus-941-to-944-7ua-for-s5-115u-to-be-discontinued?dti=0&pnid=13956&lc=en-WW>.
3. Integrated Control Solutions Ltd. ICS: SIEMENS S5 to S7 UPGRADE. Hakupäivä 20.1.2023. <http://www.integratedcontrols.co.uk/plc-upgrades.html>.
4. Siemens 2015. Guide for Migrating SIMATIC S5 Projects to SIMATIC S7-1500 and TIA-Portal. Hakupäivä 20.1.2023. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/105106251/migration-guide-simatic-s5-to-simatic-s7-1500?dti=0&pnid=13956&lc=en-WW>.
5. Siemens Industry Online Support 2020. End of the SIMATIC S5 product life cycle. Hakupäivä 20.1.2023. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109776026/end-of-the-simatic-s5-product-life-cycle?dti=0&lc=en-WW>.
6. Siemens 2022. Phase out planning + Migration from S7-300 / ET 200M. Hakupäivä 23.1.2023. [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109809890/2022\\_06\\_Phase\\_out\\_plan\\_S7-300\\_ET200M\\_FactoryAutomation.xlsx](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109809890/2022_06_Phase_out_plan_S7-300_ET200M_FactoryAutomation.xlsx).
7. Siemens 2010. STEP 7 From S5 to S7 Converter Manual. Hakupäivä 14.10.2022. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/547/45531547/att\\_53202/v1/s7\\_s5s7b.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/547/45531547/att_53202/v1/s7_s5s7b.pdf).
8. Siemens 1991. SIMATIC S5 S5-115U Programmable Controller. Hakupäivä 14.10.2022. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/937/1085937/att\\_904/v1/6ES5\\_998-0UF23.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/937/1085937/att_904/v1/6ES5_998-0UF23.pdf).
9. Siemens 2011. SIMATIC S7-300 CPU 31xC and CPU 31x: Technical specifications. Hakupäivä 14.10.2022. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/906/12996906/att\\_70325/v1/s7300\\_cpu\\_31xc\\_and\\_cpu\\_31x\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/906/12996906/att_70325/v1/s7300_cpu_31xc_and_cpu_31x_manual_en-US_en-US.pdf).

10. Siemens 2022. SIMATIC S7-300 S7-300 Module data Equipment Manual. Hakupäivä 14.10.2022. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/629/8859629/att\\_55794/v1/s7300\\_module\\_data\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/629/8859629/att_55794/v1/s7300_module_data_manual_en-US_en-US.pdf).
11. TUKES. Koneita koskevat vaatimukset. Hakupäivä 30.1.2022. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>.
12. FINN-Tarkastus 2022. Koneiden muutostyöt ja modernisointi – milloin syntyy uusi kone? Hakupäivä 30.1.2022. <https://finn-tarkastus.com/koneiden-muutostyot-ja-modernisointi-milloin-syntyy-uusi-kone/>.
13. METSTA. Meistä. Hakupäivä 31.1.2022. <https://metsta.fi/meista/>.
14. Sundquist, Matti 2019. Artikkelisarja turvallisen koneen suunnittelusta. Osa 2: Koneen valmistajan ja muiden osapuolten turvallisuusvastuut ja -velvollisuudet. METSTA. Hakupäivä 31.1.2022. <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/koneturvallisuuden-artikkelisarja/>.
15. National Semiconductor 1993. NM27C256 262,144-Bit (32K x 8) High Performance CMOS EPROM. Hakupäivä 31.1.2022. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/89941/NSC/NM27C256Q150.html>.
16. The CPUShack 2006. Erasable Programmable Read Only Memory. Hakupäivä 31.1.2022. <https://www.cpushack.com/EPROM.html>.
17. Siemens 1996. Manufacturing Change With Memory Submodules. Hakupäivä 14.10.2022. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/4148434/manufacturing-change-with-memory-submodules?dti=0&lc=en-WW>.
18. SFS-EN ISO 13850 2015. Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 1.2.2023.
19. SFS-EN ISO 13849-1:2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 1.2.2023.
20. Siemens. Data sheet. 3SK1111-1AB30. Hakupäivä 3.2.2023. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/DatasheetDownload?downloadUri=tedd-tasheet%2F%3Fformat%3DPDF%26cal-ler%3DMall%26mlfbs%3D3SK1111AB30%26language%3Den>.
21. Siemens. Data sheet 3RT2027-1FB40. Hakupäivä 3.2.2023. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/?mlfb=3RT2027-1FB40>.
22. SFS-EN IEC 62061:2021: Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 3.2.2023.

23. Siemens 2020. Introduction and Terminology for Functional Safety of Machines and Systems. Hakupäivä 5.2.2023. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:538c0aa8773783ef69be1d3077072688a1f1520f/introduction-terminology-for-functional-safety-of-machines-syste.pdf>.
24. Sundquist, Matti 2021. Teollisuusautomaation standardit. Osio 3. SESKO. Hakupäivä 5.2.2023. [https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/12/osio\\_3.pdf](https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/12/osio_3.pdf).
25. SFS IEC/TR 61508-0:fi:2011: Tekninen raportti. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 0. Toiminnallinen turvallisuus ja IEC 61508. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 5.2.2023.
26. Sundquist, Matti 2021. Teollisuusautomaation standardit. Osio 4. SESKO. Hakupäivä 5.2.2023. [https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/12/osio\\_4.pdf](https://sesko.fi/wp-content/uploads/2021/12/osio_4.pdf).
27. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. Hakupäivä 5.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>.
28. Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta 1016/2004. Hakupäivä 5.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016>.
29. Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta 403/2008. Hakupäivä 5.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403>.
30. Cadmatic. Tiedonhallinta. Hakupäivä 18.3.2023. <https://www.cadmatic.com/fi/process-and-industry/process-and-industry-ohjelmistoratkaisut/cadmatic-electrical/tiedonhallinta/>.
31. Cadmatic. Tuotetiedot CADMATIC Electricalissa - Rakennussähkösuunnittelu. Hakupäivä 18.3.2023. <https://www.cadmatic.com/fi/construction/kayttajaorganisaatiot/laitetoimittajat/tuotetiedot-cadmatic-electricalissa-rakennussahkosuunnittelu/>.
32. CADMATIC Oy 2022. CADMATIC Electrical DB Modulaarinen generointi ohje. Ohjelman sisäinen ohje. Hakupäivä 18.3.2023.
33. SFS 6002:2015 + A1:2018. Sähkötyöturvallisuus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 18.3.2023.
34. SFS 6000-5-51:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 18.3.2023.
35. Natunen Eveliina 2020. Opinnäytetyö. Cadmatic tietokantapohjainen generointi. Hakupäivä 18.3.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/703482/Natunen\\_Eveliina.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/703482/Natunen_Eveliina.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

36. SFS-EN 60204-1:2018: Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 3.2.2023.
37. SFS-EN ISO 12100: Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 3.2.2023.
38. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) 2022. SIS-TEMA 2.0.8 käyttöohje. Ohjelman sisäinen ohje. Hakupäivä 23.3.2023.