



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Atte Ylinen

Taajuusmuuttajakäyttöjen harjoitusympäristö

Koulutuslaitteiston ja oppimismateriaalin kehittäminen

Opinnäytetyö

Syksy 2022

Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Atte Ylinen

Työn nimi: Taajuusmuuttajakäyttöjen harjoitusympäristö

Ohjaaja: Ismo Tupamäki

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 41

Liitteiden lukumäärä: 7

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa harjoittelulaitteisto taajuusmuuttajakäyttöihin Kurikan kampukselle täydentämään sähkö- ja automaatioasentajakoulutusta. Laitteistolle suunniteltiin ja tuotettiin myös harjoituksia tukeva materiaali, kuten sähkökuvat, tehtäväpaketti ja ohjeistus.

Työ aloitettiin selvittämällä sähköosaston opettajien kanssa nykyisen koulutuslaitteiston puutteita ja mitä uudelta laitteistolta odotettaisiin. Korostuneita asioita olivat opiskelijoiden lähtötaso, laitteiston uudelleenkäytettävyyden ja kestävyysparantaminen harjoituskäytössä, laitteistokustannuksien pitäminen matalana, laitteiston liikuteltavuus ja monikäyttöisyys. Laitteiston vaatimuksia tarkistettiin tutkimalla tutkinnon osia ePerusteet-sivustolta. Tarkoituksena oli täydentää pien- ja pienoispennite-sähköasennukset ja kappalestavara-automaatioasennukset tutkinnon osien koulutusta taajuusmuuttajakäytöissä ja teollisuuslogiikoissa.

Suunnittelujakson jälkeen päädyttiin käsin kannettavissa olevaan alustaan, jossa oli VACON taajuusmuuttaja, Siemens LOGO! PLC (Programmable Logic Controller) lisämoduuleineen, kenttälaitteet ja rivi liittimet laitteiston kytkemiseksi. Sähkösyötöt toteutettiin erikseen taajuusmuuttajalle voimavirtapistokkeella ja logiikalle SUKO-pistokkeella. Laitteiston kokoonpanon jälkeen aloitettiin ohjeiden, sähkökuvien ja tehtäväpaketin suunnittelu ja toteutus. Työt etenivät suunnitellussa aikataulussa ja testaus päästiin aloittamaan aikataulun mukaisesti kesäloman jälkeen. Laitteiston testaus toteutettiin toisen vuoden opiskelijoilla ryhmissä. Testauksen aikana ei ilmennyt suurempia ongelmia. Palautteesta ilmeni, että ohjeistus oli asianmukainen, selkeä sekä toimiva, joten suuria muutoksia ohjeistukseen tai tehtäviin ei tarvittu.

¹ Asiasanat: harjoittelulaitteisto, opetus, tutkinnon osa, taajuusmuuttajakäyttö, PLC

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Atte Ylinen

Title of thesis: Frequency converter training environment

Supervisor: Ismo Tupamäki

Year: 2022

Number of pages: 41

Number of appendices: 7

The aim of the thesis was to design and produce a training platform for the electrical department of Sedu Kurikka campus to supplement the training of electricians and automation mechanics. Supporting study material, such as electrical drawings, assignments and guides were also made for the platform.

Work was started by finding out the shortcomings in the current training equipment and the expectations for the new training platform with the teachers of the electrical department. The highlighted challenges included the baseline skills of the students, insufficient durability of the equipment in training use, rising costs, keeping the platform mobile and versatile. The requirements were further analyzed by studying the parts of the degree on the ePerusteet-website. The aim was to supplement the training of low and extra-low voltage electrical installations and discrete automation installation units especially in the use of frequency converters and industrial PLC's (Programmable Logic Controller).

After the design period the decision on making a mobile training platform with a VACON frequency converter and Siemens LOGO! PLC, together with field devices and terminal blocks for wiring was made. The power supply for the frequency converter and PLC was separated and the power was supplied through an industrial power plug for the frequency converter and through a Schuko plug for the PLC. Following the assembly of the platform, work on guides, electrical drawings and assignments was started. The work proceeded at the expected rate and testing began after the summer vacation as planned. The testing was done by second year students working in groups. During testing no major issues were found and the feedback revealed that the guides were appropriate, clear, and functional so no major changes were needed.

¹ Keywords: training platform, teaching, degree units, frequency converter, PLC

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja kuvioluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely	10
2 SUUNNITTELU, KOKOONPANO JA TESTAUS	11
2.1 Työn tekemisen haasteet	11
2.1.1 Komponenttien kestävyys	11
2.1.2 Harjoitusalueen koko ja materiaali	12
2.1.3 Opiskelijoiden lähtötason huomioiminen	12
2.2 Tutkinnon osat.....	12
2.2.1 Pien- ja pienisjännitesähköasennukset	13
2.2.2 Kappaletavara-automaatioasennukset.....	13
2.3 CADMATIC 2021 Draw & Electrical	13
2.4 Harjoitusalueen valinta	14
2.5 Työn eteneminen.....	15
2.5.1 Taajuusmuuttajaan tutustuminen ja layout-suunnittelu	16
2.5.2 Komponenttien hankinta ja asennus	16
2.5.3 Logiikka ja kenttälaitteet.....	17
2.5.4 Testaus	17
3 KOMPONENTIT	19
3.1 Syöttö.....	19
3.1.1 Vikavirtasuojatun oppimisympäristön haasteet	19
3.1.2 Ratkaisu ja muutostyöt.....	20

3.2	Siemens LOGO!	21
3.2.1	LOGO! 12/24RCE LOGO! 8	21
3.2.2	LOGO! POWER 24 V 1,3 A	22
3.2.3	LOGO! AM2 AQ	22
3.2.4	LOGO! AM2	23
3.2.5	LOGO! SoftComfort V8.3	24
3.2.6	FBD-ohjelmointi	25
3.3	VACON 100 -taajuusmuuttaja	25
3.3.1	Taajuusmuuttajan toiminta ja rakenne	26
3.3.2	Tasasuuntaaja	27
3.3.3	Välipiiri	27
3.3.4	Vaihtosuuntaaja	28
3.3.5	Ohjaus- ja säätöpiiri	29
3.4	WAGO vipuriviliittimet	30
3.5	Kenttä-, toimi- ja ohjauslaitteet	31
3.5.1	Ohjainkotelo	31
3.5.2	Lämpötilälähetin MCZ PT100/3 ja PT100-anturi	32
3.5.3	Induktiivinen lähestymiskytkin SICK IME18-12NPSZC0S	33
3.5.4	Oikosulkumoottori	33
4	OPETUSTA TUKEVA MATERIAALI JA DOKUMENTOINTI	35
4.1	Tehtäväpaketti	35
4.2	LOGO! pikaohje	35
4.3	LOGO! SoftComfort -ohje	36
4.4	VACON 100 -pikaohje	36
4.5	Alustan analogiakomponenttien ohje	36
4.6	Sähkökuvat	37
4.7	BOM-lista	37
5	TULOKSIEN POHDINTA JA YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	42

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Asennuskotelo vedonpoistajilla ja moottorin pistotulppa.	19
Kuva 2. LOGO! 8 logiikka, AM2AQ ja AM2 analogia- laajennusmoduulit.	22
Kuva 3. VACON 100 -taajuusmuuttaja ja sen johdotus.	26
Kuva 4. VACON 100 taajuusmuuttajan valikko.	30
Kuva 5. Vipuriviliittimet kiskoon asennettuna ja johdotettuna.	31
Kuva 6. Ohjainkotelo ja sen piirikaavioesitys	32
Kuva 7. Lämpötilalähetin MCZ PT100/3	32
Kuva 8. Valmis harjoituslaitteisto.	38
Kuvio 1. Sedu lukuina	10
Kuvio 2. Alustan layout CADMATIC sovelluksessa.	15
Kuvio 3. Vikavirtasuojan rakenne.	20
Kuvio 4. LOGO! 8 Maksimikokoonpano ilman logiikan analogiatuloja	21
Kuvio 5. LOGO! AM2 AQ moduulin johdotus	23
Kuvio 6. LOGO! AM2 moduulin johdotus	24
Kuvio 7. Kytkenän muuntaminen ohjelmaksi	25
Kuvio 8. Taajuusmuuttajan rakenne.	27
Kuvio 9. Kolmivaihetasasuuntaaja.	27
Kuvio 10. IGBT-transistoripohjainen jännite välipiiritaajuusmuuttajan vaihtosuuntaaja.	29

Käytetyt termit ja lyhenteet

SEDU	Koulutuskeskus Sedu. Seinäjoen koulutuskuntayhtymän ammatillista koulutusta tarjoava organisaatio.
PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka. Automaatioissa prosessien ohjaukseen käytetty usein modulaarinen tietokone, jota käytetään teollisuudessa reaaliaikaisten prosessien ohjauksessa.
Taajuusmuuttaja	Sähkölaite, jota käytetään sähkömoottorin ohjaukseen ja suojaukseen.
SUKO	Suojakosketin. Suojamaadoitettu sähköpistoke.
FBD	Function Block Diagram. Logiikkakaavio. Graafinen, funktiolohkoihin perustuva ohjelmointikieli logiikoille.
LAD	Ladder logic. Tikapuulogiikka, yksinkertainen graafinen ohjelmointikieli.
CAD	Computer-aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu. Tietokoneiden ja ohjelmiston käyttäminen suunnittelutyössä.
SELV	Safety Extra Low Voltage. Pienoisjännite. Pienoisjänniteluokka, jossa vaihtojännite on enintään 50 V tehollisarvona tai 120 V sykkeettömällä tasajännitteellä.
LOGO!	Siemens LOGO! tuoteperhe. LOGO! Pienislogiikka on pienempiin ja kevyempiin sovelluksiin tarkoitetta ja laajennettavissa erilaisilla moduuleilla. LOGO! 8 tarkoittaa logon kahdeksatta sarjaa.
HMI	Human-Machine Interface. Käyttöliittymälaite. Fyysinen tai ohjelmistopohjainen käyttöliittymä, jonka kautta laitteen käyttäjä voi ohjata laitetta, antaa parametreja tai tarkistella tietoa.

I/O	Input/Output. Tulo/Lähtö. Käytetään datan tai informaation siirron suunnasta ja laitteiden välisestä kommunikaatiosta. Tulot välittävät tietoa antureilta logiikalle ja lähdöt tietoa toimilaitteille.
LCI	Load Commutated Inverter. Virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja.
VSI	Voltage Source Inverter. Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja
CSI	Current Source Inverter. Oikosulkumoottorille soveltuva virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja.
PWM	Pulse-width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio. Modulointitapa, jossa kuormalle syötettävää jännitettä säädetään pulssisuhteella.
Anturi	Laite, joka muuttaa prosessissa mitattavan suureen sähköiseksi viestiksi.
Rele	Sähkömekaaninen kytkin. Kytkeä tapahtuu sähkövirralla mekaanisen liikkeen sijasta. Releellä pienellä virralla voidaan kytkeä suuria virtoja tai tasavirralla vaihtovirran.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Taustana työssä on Kurikan kampuksella toimivan Sedun sähköosaston koulutuksen kehittäminen uuden harjoitusympäristön avulla. Sähköosasto tarvitsee monikäyttöisen harjoitusalan koulutuksen parantamiseksi ja vähentämään opettajien kuormitusta. Idea koulutuslaitteistosta lähti Joni Matti Järvistöltä, joka toimii opettajana Kurikan sähköosastolla ja toimii tässä työssä Sedun edustajana ja yhteyshenkilönä. Opinnäytetyön tilaajana toimii Sedu. Työssä keskitytään taajuusmuuttajan käyttöönottamista, moottorinohjausta logiikalla sekä Function Block Diagram (FBD) ohjelmoinnin perusteita tukevan harjoitteluympäristön suunnitteluun ja toteutukseen.

Automaatio yleistyy niin teollisuuden, kiinteistöjen kuin kuluttajien käytössä. Monet työnantajat ovat olleet kiinnostuneita opiskelijoiden taidoista. Kyselyissä on korostunut, että logiikkojen perusteiden tuntemus on hyödyksi tulevaisuudessa.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyössä tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa sähkö- ja automaatioasentaja koulutusta täydentävä laitteisto, sekä opintoja tukeva materiaali. Harjoituslaitteiston avulla opiskelija oppii taajuusmuuttajan käyttöönottamisen. Lisäksi laitteiston avulla opitaan, kuinka taajuusmuuttaja yhdistetään ja kuinka sitä ohjataan logiikan avulla.

Tavoitteena on toteuttaa kohtuuhintainen harjoituslaitteisto ja käyttää tilaajan jo valmiiksi hankkimia komponentteja, kuten Siemens LOGO! logiikoita, niiden moduuleja ja VACON 100 taajuusmuuttajia.

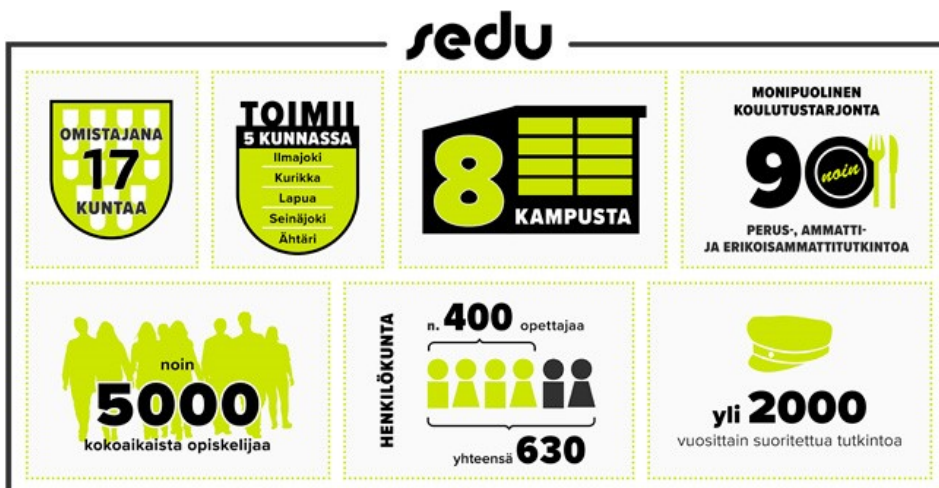
Työn aikana tavoitteena on valmistaa yksi toimiva harjoituslaitteisto. Valmiin mallin ja ohjeiden avulla useampia laitteita valmistetaan myöhemmin opiskelijoiden kanssa. Laitteistoon tuotetaan myös oppimismateriaali, johon sisältyvät sähkökuvat, lyhyet pikaoppaat alustan käyttöönottoon ja kytkemiseen. Lisäksi materiaali sisältää tehtäväpaketin ja sitä tukevan materiaalin.

1.3 Työn rakenne

Ensimmäisessä luvussa on johdanto aiheeseen. Toisessa luvussa selvitetään tarkemmin alustan suunnittelua, ongelmia, kokoonpanoa, testausta ja niihin liittyviä havaintoja. Kolmannessa luvussa käsitellään harjoitusalueen valittujen komponenttien ominaisuuksia ja niiden ohjelmistoja. Neljännessä luvussa käydään läpi työn aikana tuotettuja ohjeita ja dokumentteja. Viides luku kokoaa työn tulokset.

1.4 Yritysesittely

Sedu on Seinäjoen koulutuskuntayhtymän omistama ammatillinen koulutusorganisaatio, joka toimii viidellä eri kunnalla kahdeksassa kampuksessa ja 11 toimipisteessä (Parantainen, 2022). Omistajina toimivat 17 kuntaa. Sedu työllistää yhteensä 630 henkilöä, joista noin 400 on opettajia. Sedu kouluttaa ammattiosaajia eri aloille ja vuosittain tutkinnon suorittaa yli 2000 opiskelijaa. Kokoaikaisia opiskelijoita on noin 5000, joista Kurikan kampuksella opiskelee noin 750 (kuvio 1). Kurikassa sähköasentajan opinnot aloittaa vuosittain 20 opiskelijaa, joista noin neljäsosa on kaksoistutkinnon suorittajia.



Kuvio 1. Sedu lukuina (Sedu, 2022).

2 SUUNNITTELU, KOKOONPANO JA TESTAUS

Suunnittelu aloitettiin keskustelemalla sähköosaston opettajien Järvistön ja Ojaniemen kanssa alustan vaatimuksista ja heidän havainnoistaan, joista oli jo keskusteltu aikaisemmillä vierailuilla ennen tutkimussuunnitelman ja sopimuksien laatimista. Järvistöllä oli hyviä esimerkkejä ongelmista, joita oli kohdattu aikaisemmin Sedun eri toimipisteissä. Lisäksi hänellä oli jotain ratkaisuehdotuksia ongelmien ratkaisemiseksi. Myös Ojaniemi antoi hyviä esimerkkejä ja kehitysideoita alustan sähkönsyöttöön, logiikan käyttöjännitteeseen ja ohjeistuksen tekemiseen liittyen. Tilaaja antoi pitkälti vapaat kädet alustan ja ohjeiden toteutuksen suhteen. Valtuudet materiaalihankintoihin ja kulkuluvat järjestyivät nopeasti ja ongelmitta.

2.1 Työn tekemisen haasteet

Haasteita loi opettajien kiire, joten suunnittelupalavereita pidettiin kahvitaukojen ja ruokataukojen aikana sekä ajan salliessa. Myös koronavirustauti COVID-19 sekä puolijohdepula vaikuttivat komponentti- ja laitetoimituksiin (Eduskunta, 2022). Seuraaville saapumiserille ei ollut aina tarkkaa arviota tai ne myöhästyivät. LOGO! tuoteperheen komponentteja löytyi suunnitteluvaiheen aikana toimittajien varastosta, mutta seuraaville erille oli luvattu jopa kuuden kuukauden toimitusaikoja, joten laitevalinnat haluttiin tehdä aikaisin.

2.1.1 Komponenttien kestävyys

Vaikka teollisuuden laitteet ja komponentit ovat usein laadukkaita, eivät ne aina kestä koulutuskäyttöä, jossa komponentteja asennetaan ja irrotetaan parhaimmillaan päivittäin moneen kertaan. Yhtenä esimerkkinä olivat taajuusmuuttajan liitinkortit, joita opettaja oli tilannut ja vaihtanut useampaan kertaan, koska liittimien ruuvit olivat kuluneet kovassa käytössä. Varaosat olivat usein kalliita ja välillä oli edullisempaa tilata uusi laite vanhan korjaamisen sijaan. Tähän kovasta käytöstä johtuvaan osien kulumiseen haettiin myös ratkaisua. Yhtenä vaihtoehtona oli liittää taajuusmuuttajan ohjaussignaalit kiinteästi erilliselle riviliittimelle.

2.1.2 Harjoitusalueen koko ja materiaali

Harjoitusalueesta toivottiin kooltaan kompaktia ja käsin liikuteltavaa, myös itse alueen rungon suhteen Järvisellä oli ideoita. Yhtenä vaihtoehtona oli, että rungoksi valitaan valmis kaupallinen tuote. Kaupallisen tuotteen käyttämisessä suurimpana etuna nähtiin saatavuus ja hinta. Laitteen hinta nousi yhdeksi tärkeimmistä kriteereistä, koska oppilaitosten budjetit ovat pienentyneet vuosi vuodelta. Tämän vuoksi ei ole mahdollista koneistaa osia tai hankkia valmiita harjoitusympäristöjä niiden kalliin hinnan takia.

2.1.3 Opiskelijoiden lähtötason huomioiminen

Opiskelijoiden lähtötasosta ja sen huomioonottamisesta keskusteltiin. Harjoitusalueen avulla on tarkoitus kouluttaa niin ensikertalaisia kuin jo logiikkoihin tai taajuusmuuttajakäyttöihin tutustuneita opiskelijoita. Tätä varten haluttiin lyhyet, mutta selkeät ohjeet komponenteille ja tehtäväpaketti, jossa tehtävien haastavuus alkoi perusteista ja vaikeutuen loppua kohti. Puutettiin myös laitevalmistajien manuaalien sisällön tiivistämisestä ja yksinkertaistamisesta niin, että perustutkintoa suorittavat nuoret ymmärtäisivät laitteiden toimintaperiaatteet ja ohjeiden lukemisen tärkeyden.

2.2 Tutkinnon osat

Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto muodostuu ammatillisista tutkinnon osista (145 osaamispistettä) ja yhteisistä tutkinnon osista (35 osaamispistettä) (Opetushallitus [OPH], 2018). Tutkinnon osat ovat osia ammatillisista perus -tai ammattitutkinnoista ja niitä voidaan suorittaa myös oppisopimuksella.

Ammatilliset tutkinnon osat perustuvat työelämässä tarvittavaan osaamiseen (OPH, 2018). Ammatillisten tutkinnon osien sisältö ja määrät vaihtelevat tutkinnoittain. Tutkinnon osat perustuvat toimialan työprosesseihin ja tehtäväkokonaisuuksiin. Osaaminen, jota tarvitaan tutkinnon osan tehtäväkokonaisuudesta suoriutumiseen, on kuvattu ammattitaitovaatimuksina.

2.2.1 Pien- ja pienoisjännitesähköasennukset

Pien- ja pienoisjännitesähköasennukset ovat sähköasentajan perustutkinnon pakollinen osa ja sen sisältö koostuu kolmesta eri osa-alueesta: valmistautumisesta asennuksiin, asennuksien tekemisestä sekä asennuksien viimeistelystä ja dokumentoinnista (ePerusteet, 2019a). Osaaminen arvioidaan asteikolla 1–5, arvosana perustuu ensisijaisesti opiskelijan osoittamaan ammattitaitoon näytöissä.

Ammattitaidon osoittamistavat

Opiskelija osoittaa ammattitaitonsa näytössä käytännön työtehtävissä tekemällä pien- ja pienoisjännitesähköasennuksia. Siltä osin kuin tutkinnon osassa vaadittua ammattitaitoa ei voida arvioida näytön perusteella, ammattitaidon osoittamista täydennetään yksilöllisesti muilla tavoin (ePerusteet, 2019a).

Opiskelija ei kuitenkaan aina pysty harjoittelun tai oppisopimuksensa aikana tekemään näyttöä, joka täyttäisi kaikki tutkinnon osissa vaaditut kohdat. Työssä suunniteltavalla harjoitusympäristöllä voidaan täyttää tiettyjä osa-alueita, jotta opiskelijat saavat puuttuvan tutkinnon osan suoritettua.

2.2.2 Kappaletavara-automaatioasennukset

Kappaletavara-automaatioasennukset tutkinnon osa on automaatioasentajan perustutkinnon pakollinen osa ja Kurikassa pääasiallisesti koulutettaville sähköasentajille valinnainen (ePerusteet, 2019b). Kuitenkin myös sähköasentajan perustutkinnon suorittaneista osa haluaa suorittaa automaatioasentajan perustutkinnon. Harjoitusympäristö on hyvä lisä jo osastolla olevien harjoituslaitteistojen lisänä. Arviointi-asteikko, ammattitaidon osoittamistavat ja osa-alueet ovat samat kuin pien- ja pienoisjännitesähköasennuksissa.

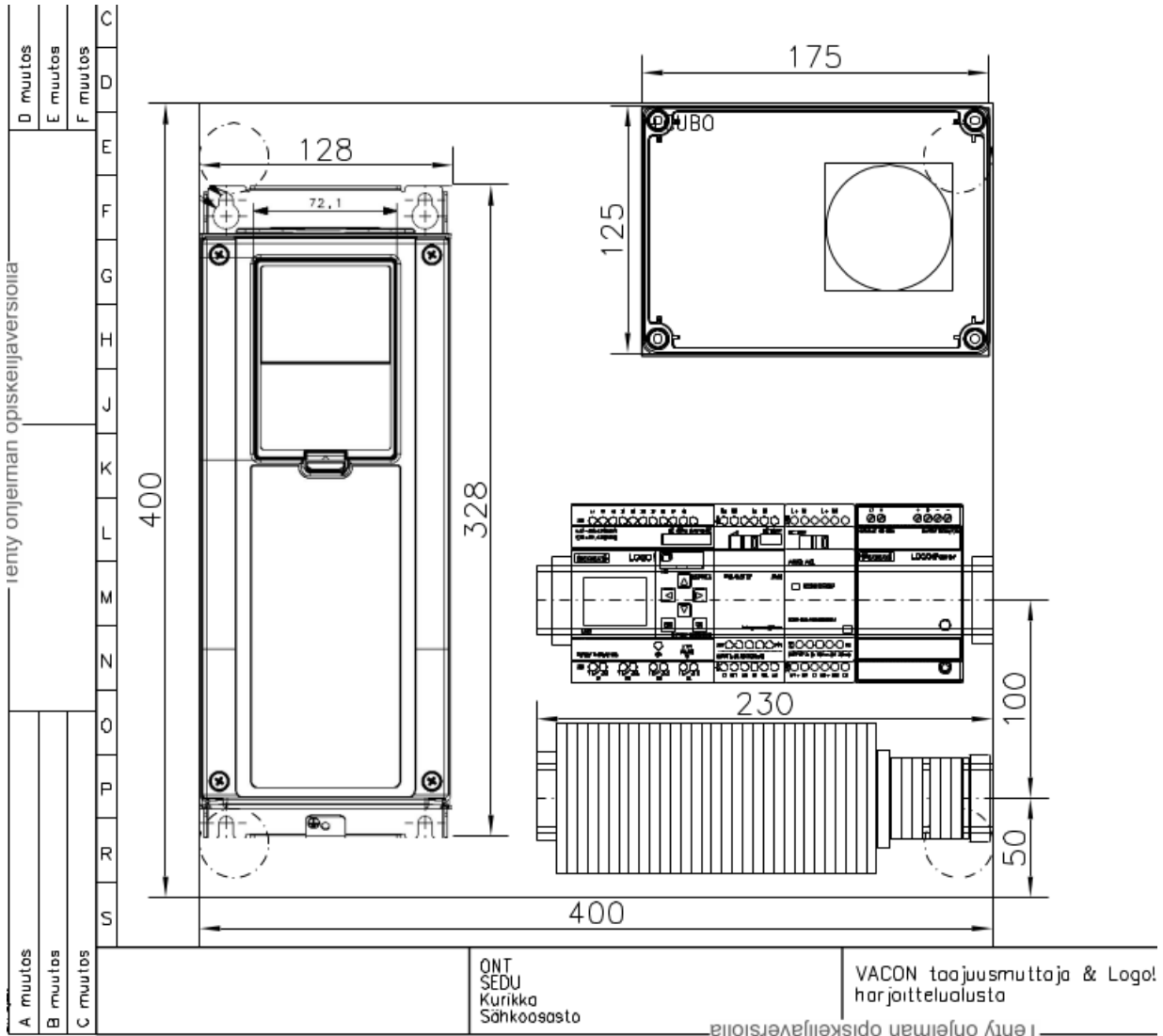
2.3 CADMATIC 2021 Draw & Electrical

Työssä CAD (Computer Aided Design) sovelluksena käytettiin CADMATIC 2021 Electrical -sovellusta. Sovellus oli jo käytössä Sedulla sekä SeAMKilla (Seinäjoen Ammattikorkeakoulu), joten ohjelman valinta oli selvä. Ohjelmistoa käytettiin layout -suunnittelussa ja sähkökuvien piirtämisessä.

CADMATIC Electrical on Suomen käytetyin sähkösuunnitteluohjelmisto, joka mahdollistaa monipuolisen sähkö- ja automaatio suunnittelun sekä dokumentoinnin (CADMATIC, 2020a). CADMATIC on suomalainen ohjelmistokehitykseen erikoistunut yhtiö, joka perustettiin 1990-luvun alussa sen emoyhtiön Elomatic Oy:n sisäisten projektien menestyksen ansiosta. Nykyisin CADMATICin liiketoiminta on jaettu kolmeen eri osioon: meriteollisuus, prosessiteollisuus ja rakennusteollisuus (CADMATIC, 2020b).

2.4 Harjoitus alustan valinta

Harjoitus alustan piti olla helposti liikuteltava ja kompakti, jotta laitteita on helppo säilyttää varaston hyllyllä ja ne sopivat luokan työpöydille. Kustannusten säästämiseksi tutkittiin eri vaihtoehtoja. Erikseen tilatut ja koneistetut reikälevyt olisivat tulleet kalliiksi. Myös puusta tai muovista valmistettuja alustoja harkittiin, mutta lopuksi päädyttiin kaupasta saatavilla olevaan, työkalutauluksi tarkoitettuun reikälevyyn. Jaloiksi ja alustaa korottamaan valittiin kumiset ovistopparit.



Kuvio 2. Alustan layout CADMATIC sovelluksessa.

Suurin osa komponenttien mitoista oli tässä vaiheessa tiedossa ja CAD layout -suunnittelun jälkeen päädyttiin valitsemaan pienempi 400 mm x 400 mm reikälevy 595 mm x 595 mm reikälevyn sijasta (kuvio 2). Hyviä puolia työkalulevyssä alustana olivat kustannustehokkuus ja saatavuus. Huonona puolena alustassa oli reikien sijoittelu ja niiden epästandardi koko, joka johti reikien suurentamiseen tai uusien reikien poraamiseen. Kuitenkin tähän kuluva aika ja työmäärä laskettiin minimaaliseksi.

2.5 Työn eteneminen

Harjoitusalueita koottiin vaiheittain suunnittelun ohessa ja samaan aikaan tutustuttiin alustassa käytettäviin komponentteihin käytännössä. Taajuusmuuttajan käyttöönoton harjoitteluun käytännössä edesauttoi tehtäväpaketin ja laitteiston valmistumista. Logiikkaan tutustuttiin myöhemmin alustan kokoonpanon edetessä ja komponentteja odotellessa.

2.5.1 Taajuusmuuttajaan tutustuminen ja layout-suunnittelu

Työ aloitettiin asentamalla taajuusmuuttaja asennussalissa vapaaseen asennuskoppiin ja etsimällä siihen asennettava sähkömoottori. Laitteistoon perehtyminen alkoi käyttöönottamalla taajuusmuuttaja ja tutustumalla sen ominaisuuksiin. Ohessa tutustuttiin sähköosaston toimintaan, varastoihin ja tarvikkeisiin. Kaksi ensimmäistä viikkoa kuluivatkin pitkälti kehitysideoiden ja mielipiteiden keräämiseen sekä jo hankittuihin komponentteihin tutustumisessa.

Layout -suunnittelu toteutettiin CAD:lla. Suunnittelussa otettiin huomioon pääkomponenttien, kuten taajuusmuuttajan, logiikan, sähkönsyötön ja rivilähtimien arvioitu tilantarve karkeasti. Runko rajattiin muutaman eri sijoitteluvaihtoehdon suunnittelun jälkeen pienempään 400 mm x 400 mm levyyn.

2.5.2 Komponenttien hankinta ja asennus

Runko ja sen jalat olivat saatavissa heti ja ne hankittiin, kun levyn koko varmistui. DIN-kisko, tarvittavat kaapelit ja ruuvirivilähtimiä osastolta löytyi hyllytavarana. Syötölle koteloksi valikoitui FIBOX:n 175 mm x 130 mm x 75 mm asennuskotelo, jota löytyi suoraan tavarantoimittajan hyllystä. Tukuissa asiointi ja niiden henkilökunta tulikin nopeasti tutuksi. Asennuksen alkaessa jouduttiin hakemaan useampaan otteeseen eri kiinnitystarvikkeita, työkaluja tai niiden teriä.

Rungon kokoonpano alkoi asentamalla ovistopparit jaloiksi ja kaksi DIN-kiskoa komponenteille. Pääkomponentit eli taajuusmuuttaja, logiikka, tasajännitetehtolähde, asennuskotelo ja taajuusmuuttajan kaapelointi asennettiin seuraavaksi. Logiikan asennuksen yhteydessä kuitenkin päätettiin, että logiikka vaihdetaan 12/24 VDC malliin 230 VAC mallista. Näin saatiin käyttöön SELV (Safety Extra Low Voltage) jännite sekä yhdenmukainen harjoitusalueella käytettävä jännite. Logiikan vaihtumisen myötä tehtiin myös pieniä muutostöitä logiikan ja rivilähtimien kaapelointiin. Uusi logiikka ja vipurivilähtimet tilattiin. Vipurivilähtimille johdotettiin taajuusmuuttajan liittimet, potentiometri ja 24 VDC tasajännite teholähteeltä.

Koekäytössä kuitenkin ilmeni ongelmia vikavirtasuojien kanssa ja ongelmaa etsittiin. Ongelma rajattiin taajuusmuuttajaan ja sen aiheuttamiin verkkohäiriöihin. Ratkaisu vikavirtasuojien laukeamiseen löytyi. Vika korjaantui tuomalla teholähteelle erillinen sähkösyöttö.

2.5.3 Logiikka ja kenttälaitteet

Kun pääkomponentit oli saatu asennettua ja ongelmat syötön kanssa korjattua, aloitettiin tutustumaan logiikkaan syvemmin. Tutustumisen ohessa alustaan lisättiin kenttä -ja ohjauslaitteita. Ohjausta varten alustalle oli suunniteltu erillinen ohjainkotelo painonapeilla ja valolla. Kotelon komponentit oli tilattu osastolle valmiiksi. Ohjainkotelo johdotettiin alustaan kiinteäksi kumikaapelilla, joka myöhemmin vaihdettiin ohuempaan ja taipuisampaan ohjauskaapeliin. Aikaisemmin tilattu induktiivinen anturi saapui ja kytkettiin logiikkaan.

Analogia -laajennusmoduulit kytkettiin viimeisenä ja niihin kytkettäväksi tilattiin lämpötilalähetin ja PT100-anturi. Lämpötilalähtetimen toimituksessa ilmeni ongelmia ja toimitusaika venyi, joten analogia komponenttien testaus viivästyi. Lähetintä odottaessa ehdittiin kuitenkin perehtymään logiikkaan ja analogiamoduulien kytkentään teoriassa. Kun lähetin saapui ja kytkettiin, päästiin perehtymään analogiapuolen toteutukseen.

Harjoituslajan valmistumisen myötä alkoi pidempikestoinen jakso, jossa suunniteltiin ja tuotettiin opintoja tukevaa materiaalia ja dokumentointia. Alustalle tehtiin neljä eri ohjetta: LOGO!:n pikaohje, SoftComfort -ohje, Analogia -ohje ja VACON 100 -ohje. Ohjeista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 4.

2.5.4 Testaus

Harjoituslajan toimintaa oli tarkoitus testauttaa opiskelijoilla, kun alusta ja ohjeet olisivat valmiina. Testaus päätettiin jättää kesäloman jälkeiselle ajalle, että sille voitaisiin varata kunnon aikaa ja useampi testikierros.

Testaus alkoi odotetusti loman jälkeen toisen vuoden aktiivisen kaksoistutkinto-opiskelijan toimesta. Opiskelija ei ollut aikaisemmin saanut opetusta logiikkoihin liittyen, minkä takia ohjelmointipuolen kanssa oli aluksi ongelmia. Vauhtiin päästessä harjoitukset saatiin valmiiksi ilman suurempaa neuvontaa. Tarvittavat kytkennät opiskelija sai tehtyä pienellä avustuksella ja muistuttamalla ohjeiden lukemisesta. Ensimmäisen testijakson aikana ohjeisiin tehtiin pieniä muutoksia lähinnä tehtäväpaketin tehtävänantoihin liittyen. Sähkökuvat, korjattu tehtävänanto ja ohjeet olivat opiskelijan mielestä selkeät.

Seuraavana ympäristöä testasi kaksi toisen vuoden opiskelijaa. Työ toteutettiin parityöskentelynä. Kyseiset opiskelijat olivat saaneet aiheesta opetusta ja ehtineet tekemään jo kuljetinharjoituksen, joten logiikkojen ohjelmoinnista oli vähän aiempaa kokemusta. Tämä näkyi harjoitusten, varsinkin alkupään harjoitusten suoritusnopeudessa ja pienemmässä ohjauksen tarpeessa.

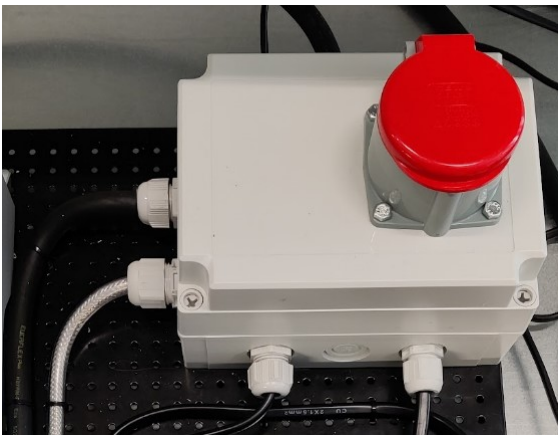
Kolmansina testaajina toimi toisen vuoden opiskelijoista koostuva työpari, joka oli ehtinyt tekemään jo aiemmin kuljetin- ja vesiprosessiharjoitukset. Harjoitusten suorittamisessa ei ollut vaikeuksia sen jälkeen, kun opiskelijoita muistutettiin ohjeista. Ohjeet olivat tässä vaiheessa pdf-tiedostoformaattissa harjoitustöihin tarkoitetuilla kannettavilla tietokoneilla. Koska ohjeet eivät olleet paperilla, ei ohjeiden lukeminen sähköisestä muodosta ollut automaatio. Näinpä ohjeiden lukemisen tärkeyttä pitikin korostaa. Opiskelijat myönsivät, että olivat nähneet ohjeet, mutta eivät myöhemmin ongelmatilanteessa muistaneet niitä.

Kaikilta testaajilta kysyttiin tarkempia mielipiteitä harjoitusympäristöstä, varsinkin ohjeistuksesta. Palaute oli lähinnä positiivista. Ohjeet olivat yhden parin mielestä kaikista harjoitus laitteistoista selvimät lukea. Sähkökuvat olivat kaikkien testaajien mielestä selvät ja tarkoituksenmukaiset. Tehtäväpaketti oli opiskelijoiden mielestä sopivan pituinen ja haastavuus tehtävien edetessä lisääntyi sopivalla nopeudella. Opiskelijoille korostettiin myös, että negatiivinen palaute on enemmän kuin tervetullutta, mutta kukaan ei kokenut, että harjoitusympäristössä oli puutteita tai epäselvyyksiä.

3 KOMPONENTIT

3.1 Syöttö

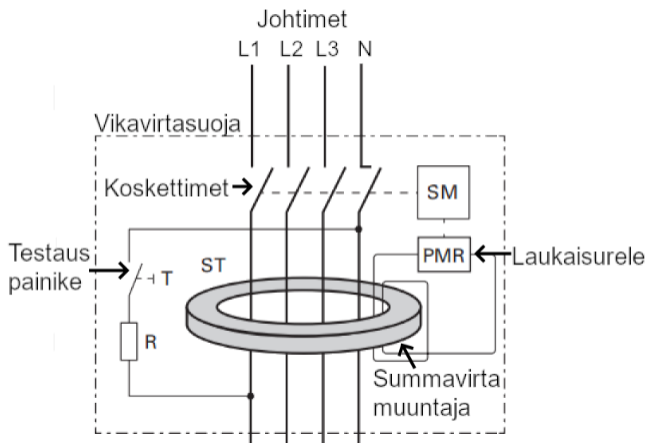
Jännitteensyöttöä varten alustalle asennettiin asennuskotelo (kuva 1). Koteloon tuotiin kolmivaihesyöttö 16 A voimavirtapistokkeelta kumikaapelilla. Samalla saatiin toteutettua vedonpoisto kaapeleille. Kotelosta sähkösyötöt kytkettiin erikseen taajuusmuuttajalle ja logiikalle. Moottorilähtö kytkettiin asennuskotelossa olevaan kolmivaihepistorasiaan häiriösuojatulla kaapelilla. Koteloon jäi myös runsaasti tilaa, mikäli alustaan halutaan jatkossa muita ominaisuuksia.



Kuva 1. Asennuskotelo vedonpoistajilla ja moottorin pistotulppa.

3.1.1 Vikavirtasuojatun oppimisympäristön haasteet

Kokoonpanossa ja testauksessa haasteeksi osoittautui jo alkuvaiheessa vikavirtasuojien herkkyys. Opetusympäristössä kampuksella kaikki ryhmät ovat vikavirtasuojattuja. Ongelmaa tutkittiin ja huomattiin että mikäli logiikka ei ollut kytkettynä, vikavirtasuojat eivät laenneet. Tämä johtui siitä, että vikavirtasuojat vertailee vaihejohtimen ja nollajohtimen summavirtaa (kuvio 3). Normaalisissa toimintatilanteissa virtojen summa ei poikkea nolasta. Tilanteessa, jossa vain taajuusmuuttaja oli kytkettynä, käytettiin pelkästään vaihejohtimia ja maajohdinta, joten vikavirtasuojat eivät laennut.



Kuvio 3. Vikavirtasuojan rakenne (Eaton, 2017).

Korkeataajuuskomponentit saattavat aiheuttaa häiriötä, kuten vuotovirtaa (ABB, 2020). Piiret, joissa on tasasuuntaajia tai monivaihetasasuuntaajia, jotka säätävät tehokerrointa tai taajuutta saattavat tarvita B-typin vikavirtasuojan.

3.1.2 Ratkaisu ja muutostyöt

Ratkaisua ongelmaan mietittiin monelta kannalta. Ongelman aiheuttaja paikannettiin taajuusmuuttajaan, joka käynnistyessään aiheutti vikavirtasuojan laukeamisen, mikäli nollajohdin samalta syötöltä oli käytössä. Ongelmaa koitettiin ratkaista kytkemällä sähkönsyötön ja taajuusmuuttajan väliin kontaktori vaiheiden kytkentäjakson lyhentämiseksi, mutta toimenpiteellä ei ollut vaikutusta. Myös eri tyyppin vikavirtasuojia harkittiin. Komponenttivalmistaja Schneider Electric suosittelee B tai B-Si -tyypin vikavirtasuojaa käytettäväksi piireissä, jossa taajuusmuuttaja kytketään vikavirtasuojattuun piiriin (Schneider Electric, 2021). Ratkaisusta luovuttiin vikavirtasuojien hintojen takia, sekä tarvittavien keskusmuutostöiden vuoksi.

Seuraava vaihtoehto oli sähkösyöttöjen erottaminen toisistaan. Tässä vaihtoehdossa taajuusmuuttajalle tuotaisiin oma kolmivaihesyöttö voimavirtapistokkeella, kuten ennenkin, mutta logiikalle tuotaisiin oma syöttö SUKO-pistokkeella. Tällä ratkaisulla saataisiin vikavirtasuojattua logiikka ilman, että vikavirtasuojia laukeaisi. Ratkaisu todettiin hyväksi ja jopa paremmaksi kuin alkuperäinen ratkaisu. Uusi ratkaisu mahdollistaa harjoitusalueen käytön pelkän logiikan kanssa, ilman voimavirtapistoketta.

3.2 Siemens LOGO!

Logiikkatyypiksi harjoitusalueen haluttiin LOGO! -tuoteperheen pienislogiikka. Logiikalle haluttiin myös analogiset tulo- ja lähtömoduulit, jotta harjoituksissa voidaan kytkeä lämpötila-anturi ja toteuttaa analogiaohjaus virta- tai jänniteviestillä taajuusmuuttajalle.

LOGO! oli entuudestaan Sedun kampuksilla tuttu tuote ja todettu hyväksi logiikoiden toimintaan tutustumisessa ja perusteiden opetteluun. LOGO! haluttiin myös opetuksen tasavertaisuuden ja kampuksien opetuksen yhtenäisyyden takia. Kurikan sähköosastolla oli jo LOGO! -pohjaisia harjoitusympäristöjä kuten automaattinen kuljetin sekä vesiprosessi-harjoitus, jossa oli HMI (Human-Machine Interface) paneeli. Osaston nykyiset harjoitusalueet keskittyvät lähinnä ohjelmointiin, sillä logiikat ovat kiinteästi kytketty kenttälaitteisiin.

LOGO! on moduuleilla laajennettava logiikka. Perusyksikössä on kahdeksan digitaalituloa ja neljä digitaalilähtöä rele- tai transistoriohjauksella. Yksikön digitaalituloja voidaan käyttää myös analogiatuloina (0–10V). Ethernet liitin ja web-serveri mahdollistavat PC:n yhdistämisen ohjelmointia varten ja kommunikaation S7-Protokollan kautta muiden S7-sarjan automaatiolaitteiden kanssa. Logiikasta löytyy eri malleja 230 VAC ja 12/24 VDC jännitteille näyttöllä tai ilman näyttöä. Logiikalle on saatavissa laaja valikoima laajennusmoduuleita. Moduuleilla voidaan lisätä digitaali- ja analogiatulojen sekä digitaali- ja analogialähtöjen määrää (kuvio 4). Saatavilla on myös kommunikointimoduuleja. LOGO! 8 on tuoteperheen kahdeksas- ja uusin versio, työssä käytetyt logiikat olivat LOGO! 8-sarjaa.

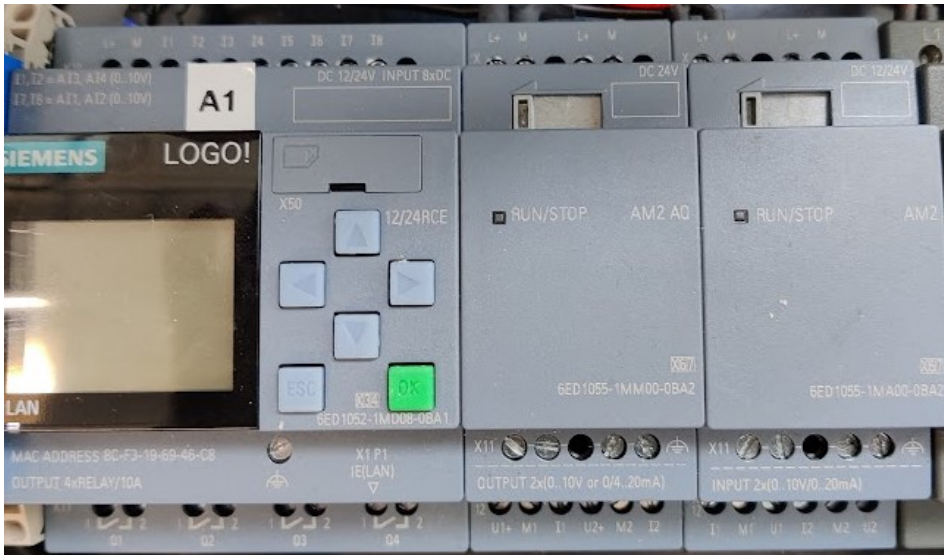
I1 I8	I9..I12	I13..I16	I17..I20	I21..I24	AI1, AI2	AI3, AI4	AI5, AI6	AI7, AI8				
LOGO! Base Module	LOGO! DM8	LOGO! DM8	LOGO! DM8	LOGO! DM8	LOGO! AM2	LOGO! AM2	LOGO! AM2	LOGO! AM2	LOGO! AM2 AQ	LOGO! AM2 AQ	LOGO! AM2 AQ	LOGO! AM2 AQ
Q1..Q4	Q5..Q8	Q9..Q12	Q13..Q16	Q17..Q20					AQ1, AQ2	AQ3, AQ4	AQ5, AQ6	AQ7, AQ8

Kuvio 4. LOGO! 8 Maksimikokoonpano ilman logiikan analogiatuloja (Siemens, 2020).

3.2.1 LOGO! 12/24RCE LOGO! 8

Logiikaksi valittiin LOGO! 8-sarjan 12/24 VDC jännitteellä toimiva, kahdeksalla digitaalitulolla ja neljällä relelähdöllä varustettu LOGO! 12/24RCE LOGO! 8 (kuva 2). Aluksi tarkoituksena oli käyttää 230RCE -mallia, joka toimi 230 VAC jännitteellä, mutta myöhemmin todettiin, että

kiinteällä alustalla toimittaessa opetuskäytössä turvallisempaa oli käyttää 24 VDC tasavirtajännitettä.



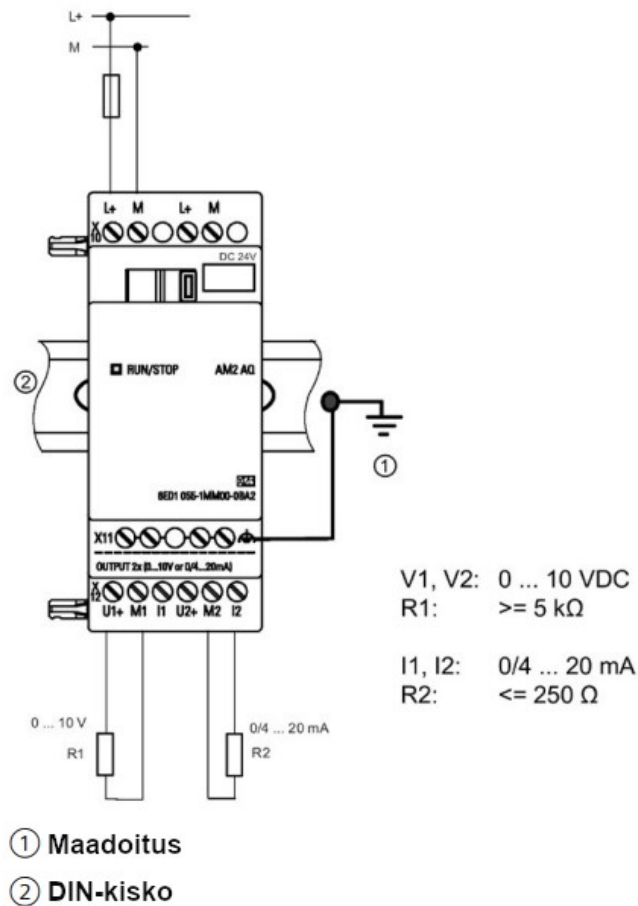
Kuva 2. LOGO! 8 logiikka, AM2AQ ja AM2 analogia- laajennusmoduulit.

3.2.2 LOGO! POWER 24 V 1,3 A

Koska logiikka sekä kytkettävät kenttälaitteet toimivat tasavirralla, tarvittiin alustaan tasavirtateholähde. Sähköosastolla oli jo valmiiksi hankittuna LOGO! Power teholähteitä. Teholähteessä oli kiinnitys DIN-kiskoon, kuten muissakin LOGO! tuotteissa ja teholähteen toisiopuoli SELV-eristetty. Alustaan asennettiin vanhempaa POWER! -mallistoa oleva 24 VDC 1,3 A muuntaja. Eroa uudempiin muuntajiin oli suurempi koko, joten tämä ei haittaisi tulevaisuudessa uudemmilla komponenteilla toimittaessa.

3.2.3 LOGO! AM2 AQ

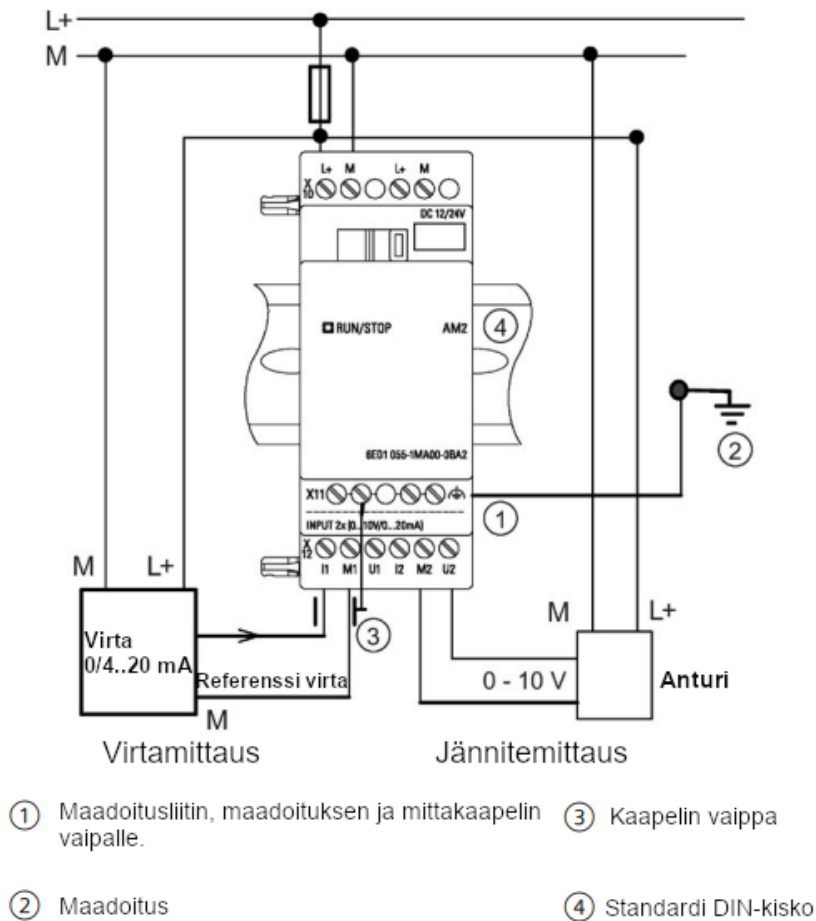
Analogilähdöt toteutettiin LOGO! AM2 AQ -laajennusmoduulilla, johon voidaan liittää kaksi analogilähtöä (kuvio 5). Lähtöjen analogiaviesti lähetetään 0–20 mA, 4–20 mA virtaviestinä tai 0–10 V jänniteviestinä.



Kuvio 5. LOGO! AM2 AQ moduulin johdotus (Siemens, 2020).

3.2.4 LOGO! AM2

Analogiatulot toteutettiin LOGO! AM2 -laajennusmoduulilla, johon voidaan liittää kaksi analogiatuloa. Tulot voivat olla joko 0–20 mA, 4–20 mA virta- tai 0–10 V jänniteviestejä (kuvio 6). Saatavilla olisi ollut myös LOGO! AM2 RTD -moduuli, johon voidaan liittää PT100 ja PT1000-antureita. Alustassa päädyttiin käyttämään erillistä MCZ PT100/3 lämpötilalähetintä. AM2 moduuleita, johon lämpötilalähettimen signaalit liitettiin, löytyi myös valmiiksi sähköosastolta.



Kuvio 6. LOGO! AM2 moduulin johdotus (Siemens, 2020).

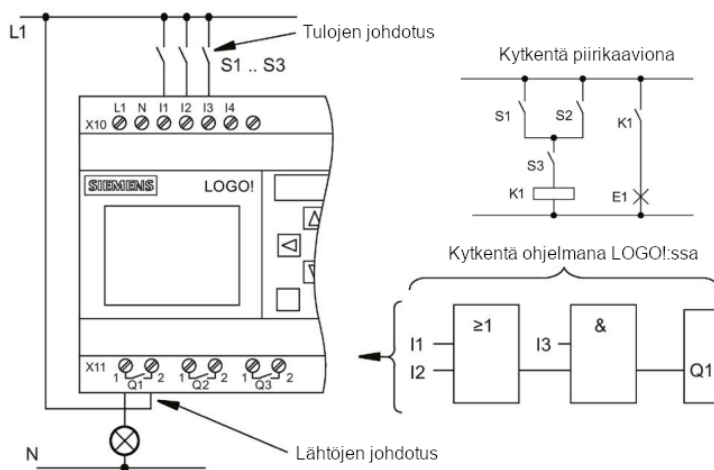
3.2.5 LOGO! SoftComfort V8.3

LOGO! SoftComfort -ohjelmistoa käytetään LOGO! -tuoteperheen pienoislogiikoiden ohjelmointiin. Ohjelmisto on tarkoitettu pienimuotoisiin automaatioprojekteihin, joka tekee siitä yksinkertaisuuden ja suoraviivaisuuden vuoksi erittäin hyvän oppimisympäristön. Ohjelmassa käytetään helppoa vedä ja pudota -toimintoa. Ohjelma tukee FBD ja LAD (Ladder Logic) -ohjelmointikieliä. Ohjelmia voidaan simuloida offline-tilassa tai tarkkailla online-monitorointitilassa, jossa nähdään reaaliaikaisesti ohjelman tila. Ohjelma tukee muuttujien nimeämistä ja kommentointia, jolloin ohjelman selkeys säilyy.

Alustan logiikka vaati SoftComfort -ohjelmistosta päivitetyn 8.3 version. Päivityksen lataamista varten tarvittiin erillinen rekisteröinti ja tietojen tarkistus. Annettujen henkilö -ja organisaatio tietojen tarkistuksessa kului muutamia arkipäiviä ja se hidasti logiikan koekäyttöä.

3.2.6 FBD-ohjelmointi

FBD eli toimintakaaviomuoto on IEC 1131-3 standardissa määritelty graafinen ohjelmointikieli, joka perustuu logiikan kuvaamiseen Boolean algebran loogisilla kehyksillä (Siemens, 2006). Myös kompleksifunktiot, kuten matemaattiset funktiot voidaan esittää loogisten kehysten yhteydessä. Toimintakaaviossa loogiset toiminnot voidaan esittää tiivistetysti. Funktiot esitetään lohkoina, joiden sisällä on symboli tai tekstiä, jotka kuvaavat lohkon funktiota (kuvio 7) (Fonselius ym., 1996, s. 120).



Kuvio 7. Kytkenän muuntaminen ohjelmaksi (Siemens, 2020).

3.3 VACON 100 -taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaksi alustalle asennettiin VACON 100 -sarjan 1,1 kW:n taajuusmuuttaja kolmi-vaihesyötöllä (kuva 3). Taajuusmuuttajassa on näytöllinen ohjauspaneeli, jota voidaan käyttää parametrien syöttämiseen tai arvojen seurantaan. Näytöllinen ohjauspaneeli helpottaa opiskelijoiden tutustumista taajuusmuuttajiin helpon navigoinnin myötä. VACON 100 -sarjan taajuusmuuttajat jaetaan kolmeen eri kategoriaan: FLOW, HVAC (Heating, ventilation and air conditioning) ja industrial. Taajuusmuuttajan tarkka tyyppi oli 0100-3I-003-5-hvac.



Kuva 3. VACON 100 -taajuusmuuttaja ja sen johdotus.

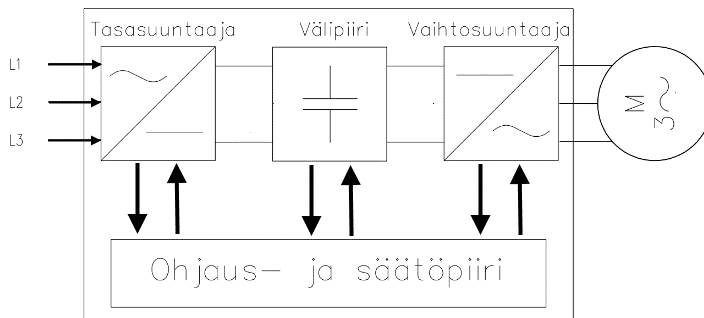
Sähköosastolla oli valmiina hankittuna kaksi VACON 100 -sarjan taajuusmuuttajaa, joista kummatkin olivat käytettävissä harjoitusaluksi. Taajuusmuuttajat testattiin, todettiin toimiviksi ja mitoitettiin sekä ominaisuuksiltaan sopiviksi. Taajuusmuuttajan riviliittimet johdotettiin valmiiksi ja vietiin vipuriviliittimille kaapelispiraalin suojaamana. Näin säästettiin taajuusmuuttajan omien liittimien jatkuvalta käytöltä, jonka pitäisi parantaa taajuusmuuttajan liittimien kestoa koulutuskäytössä.

3.3.1 Taajuusmuuttajan toiminta ja rakenne

Taajuusmuuttaja on sähköinen laite, joka ohjaa sähkömoottorin toimintaa ja suojaa moottoria vikailoilta, kuten ylikuormitukselta (Hietalahti, 2012, s. 101). Taajuusmuuttajia käytetään moottorien pyörimisnopeuden säätämiseen. Vaihtosähkökäyttöisten sähkömoottorien pyörimisnopeutta voidaan säätää erittäin tehokkaasti ja tarkasti taajuusmuuttajalla verrattuna mekaaniseen ratkaisuun, kuten vaihteistoihin tai jarruihin. Taajuusmuuttajia käytetään laajasti teollisuuden laitteissa niillä saavutetun energiansäästön takia.

Taajuusmuuttajat voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin: välipiirillisiin ja suoriin (Niiranen, 1999, s. 48). Välipiirilliset taajuusmuuttajat muuttavat syötettävän sähkönsäntasasähköksi ja taas takaisin vaihtosähköksi, kun taas suorat taajuusmuuttajat pilkkovat syötettävän vaih-

tosähkön suoraan halutun taajuiseksi ja jännitteiseksi vaihtosähköksi. Työssä käytetty VA-CON 100 -sarjan taajuusmuuttaja kuuluu välipiirillisiin taajuusmuuttajiin. Välipiirillisen taajuusmuuttajan rakenne koostuu neljästä osasta (kuvio 8). Osia ovat tasasuuntaaja, tasavirtavälipiiri, vaihtosuuntaaja ja niitä ohjaava ohjauspiiri.

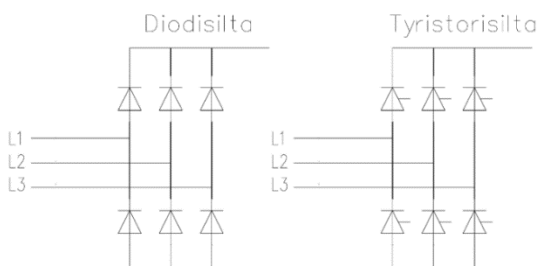


Kuvio 8. Taajuusmuuttajan rakenne.

3.3.2 Tasasuuntaaja

Tasasuuntaaja muuttaa verkosta syötetyn vaihtojännitteen sykkiväksi tasajännitteeksi. Tasasuuntaaja koostuu joko diodeista, tyristoreista, transistoreista tai niiden yhdistelmästä.

Diodeilla toteutettuja tasasuuntaajia kutsutaan ohjaamattomiksi tasasuuntaajiksi ja tyristoripohjaisia ohjatuiksi tasasuuntaajiksi, koska diodi päästää sähköä läpi vain toiseen suuntaan, kun taas tyristoria voidaan ohjata (Niiranen, 1999, s. 42). Kolmivaihetasasuuntaaja koostuu kuuden diodin tai tyristorin muodostamasta sillasta (kuvio 9).



Kuvio 9. Kolmivaihetasasuuntaaja.

3.3.3 Välipiiri

Välipiirilliset-taajuusmuuttajat voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin, jotka ovat kuormakommutoitu taajuusmuuttaja eli LCI (Load commutated inverter), virtavälipiiritaaajuusmuuttaja eli CSI

(Current source inverter) ja jännitevälipiiri-taajuusmuuttaja eli VSI (Voltage source inverter) (Niiranen, 1999, s. 48–49). Virtavälipiireissä on tasoituskuristin tasavirran aaltoisuuden pienentämiseksi. Jännitevälipiireissä taas kondensaattori pienentää tasajännitteen aaltoisuutta.

LCI-tyyppin virtavälipiiri-taajuusmuuttajassa on kaksi tyristorisiltaa, joita yhdistää välipiiri kuristimeen (Niiranen, 1999 s. 48–49). Toinen silta on kytketty verkkoon ja toinen tahtikoneeseen. Koneen jarruttaessa eli toimiessa generaattorina, jännitteen polariteetti vaihtuu ja verkonpuoleinen silta, joka normaalitilassa toimii tasasuuntaajana, vaihtaa osia koneen puoleisen sillan kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että kone pystyy jarruttaessaan syöttämään sähköä verkkoon. LCI-tyyppin taajuusmuuttajat soveltuvat ainoastaan tahtimoottorien ohjaukseen.

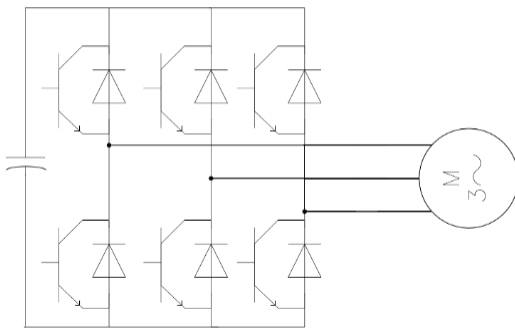
CSI-tyyppin virtavälipiiritäajuusmuuttajat soveltuvat paremmin oikosulkumoottoreille (Niiranen, 1999, s. 50). Koneenpuoleinen tyristorisilta korvataan kommutointikondensaattoreilla, jonka takia välivirtapiiri toimii pienilläkin nopeuksilla tasaisemmin kuin LCI-tyyppissä. CSI voi LSI:n tapaan toimia sekä moottorina että generaattorina kumpaankin pyörimissuuntaan.

VSI eli jännitevälipiirilliset taajuusmuuttajat ovat yksi yleisimmistä teollisuudessa käytettävistä tyypeistä ja niillä ohjataan yleensä pienempitehoisia moottoreita (Niiranen, 1999, s. 50). VSI-tyyppin jännitevälipiiritäajuusmuuttajassa diodisilta tuottaa välipiirin tasajännitteen, joka tarkoittaa sitä, että sitä ei voida ohjata. Moottorin jännitettä säädetään tässä tapauksessa pulssinleveysmoduloinnilla eli PWM:llä (Pulse-width Modulation). Saavutettuina etuina PWM:llä on säädön parempi dynamiikka, eli nopeampi säätö, koska jännitteen keskiarvoa voidaan muuttaa PWM:llä ja lähes sinimuotoinen tasavirta. Diodisillalla estetään myös jarrutustehon syötön verkkoon, mutta suurissa jarrutustehoissa missä jarrutuksen teho ylittää muuntajan ja koneen häviöiden jarrutusmahdollisuuden tarvitaan jarrutusvastus ja tasasähkökatkoja.

3.3.4 Vaihtosuuntaaja

Oikosulkumoottorin tehonsyöttöön tasasähkölähteestä tarvitaan laite, joka pystyy puolijohteillaan katkaisemaan virran vaihtosähköverkosta riippumatta (Niiranen, 1999, s. 42). Vaihtosuuntaaja eli invertteri muuttaa aiemmin muunnetun välipiirin tasajännitteen takaisin vaihtojännitteeksi halutulle taajuudelle ennen moottorille syöttämistä. Vaihtosuuntaaja koostuu joku tyristoreista tai transistoreista, kuten IGBT-transistoreista (Insulated-Gate Bipolar Transistor) (kuvio 10).

Vaihtosuuntaaja

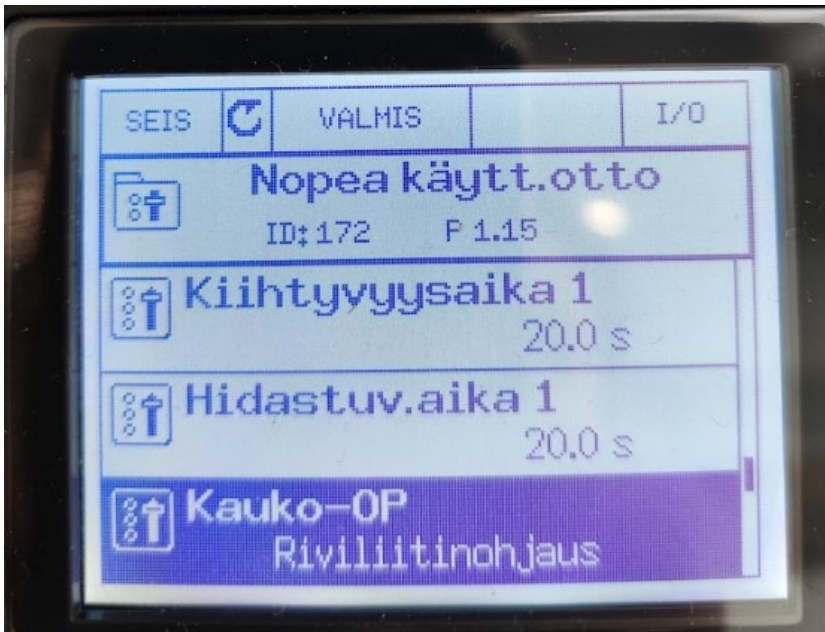


Kuvio 10. IGBT-transistoripohjainen jännite välipiiritaajuusmuuttajan vaihtosuuntaaja.

Taajuusmuuttajakäytön lisäksi vaihtosuuntaajia käytetään esimerkiksi verkko-invertterien muodossa muuntamaan aurinkopaneelien tuottamaa tasasähköä verkkoon syötettäväksi.

3.3.5 Ohjaus- ja säätöpiiri

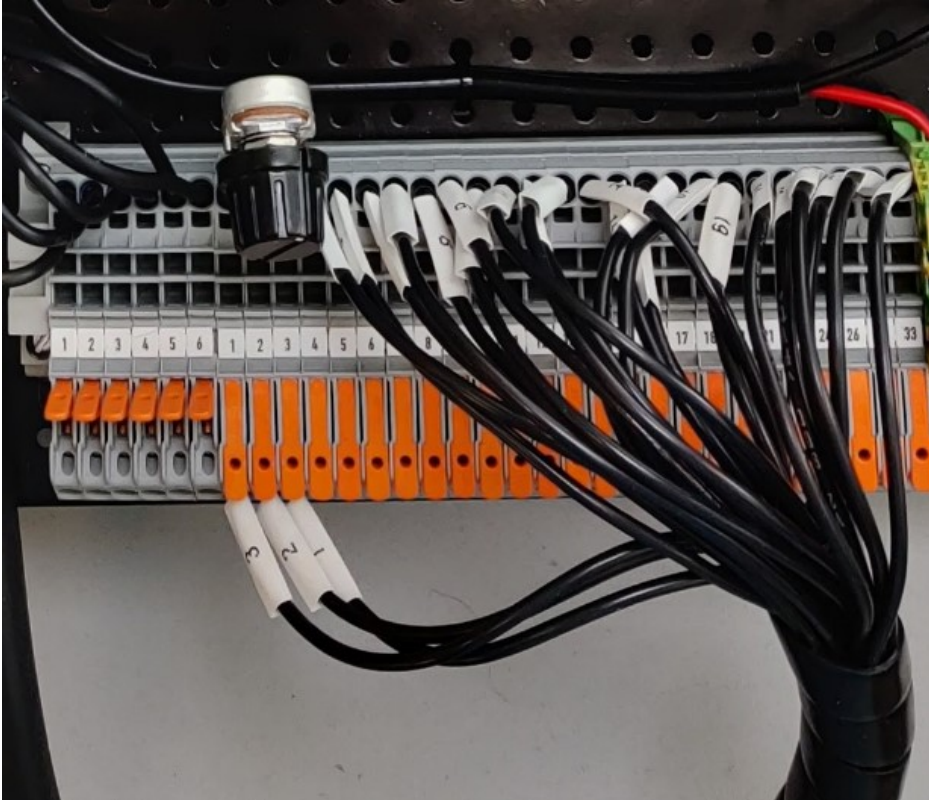
Taajuusmuuttajan ohjauspiiri ohjaa taajuusmuuttajaa sille annettujen parametrien tai ulkoisten viestien, kuten logiikan tai taajuusmuuttajan paneelin mukaan (Hietalahti, 2012, s. 152). Ohjauspiirin päätehtävänä on ohjata vaihtosuuntaajan puolijohteita. Taajuusmuuttajan käytön otossa sen omaan laitekohtaiseen ohjausyksikköön syötetään eli parametrisoidaan moottorin arvokilvessä ilmoitetut arvot ja muut halutut parametrit esimerkiksi moottorin ohjauspaikka, hidastus- tai kiihdytysaika (kuva 4). Ohjauspiiristä voidaan myös seurata laitteen toimintaa ja sen arvoja. Taajuusmuuttajan ohjauspaikka valitaan VACON 100 -sarjan taajuusmuuttajissa valitsemalla joko paikallinen paneeliohjaus tai kauko-ohjaus. Kauko-ohjaus pitää vielä erikseen valita eri väyläohjauksien tai riviliitin-ohjauksen välillä.



Kuva 4. VACON 100 taajuusmuuttajan valikko.

3.4 WAGO vipuriviliittimet

Riviliittiminä käytettiin WAGO:n TOPJOB®S kaksijohtimisia johdinläpimenoliittimiä, joissa oli vipukiinnitys. Vipuriviliittimillä haluttiin nopeuttaa harjoituksen tekoaikaa, sekä alustan kestävyttä. Kun ruuvien löystymistä tai kannan kulumista ei tapahdu, ovat liittimet lähes huoltovapaista. Kytchentäpähän pysyy kuitenkin todenmukaisena, koska liittimiä käytetään yleisesti asennuksissa. Kun alettiin etsimään harjoituksiin sopivaa riviliittintä, vivulliset riviliittimet nousivat nopeasti parhaaksi vaihtoehdoksi niiden kestävyys ja henkilökunnan aiemman käyttökokemuksen perusteella. Sähkötukussa asioitaessa kysyttiin tukun henkilökunnalta heidän kokemuksiansa ja ehdotuksia tuotteista. WAGO:n katalogista löytyikin nopeasti kaksinapainen riviliitin, jossa yksi napa oli perinteinen jousipainotteinen liitin ja toinen napa jousipainotteinen vivullinen liitin. WAGO:n tuotteita, kuten vivullisia rasialiittimiä oli sähköosastolla käytetty jo aikaisemminkin. Riviliittimille kiinteäksi johdotettiin ohjainkotelon kaapelin johtimet, 10 kilo-ohmin potentiometri ja suurin osa taajuusmuuttajan liittimistä (kuva 5).

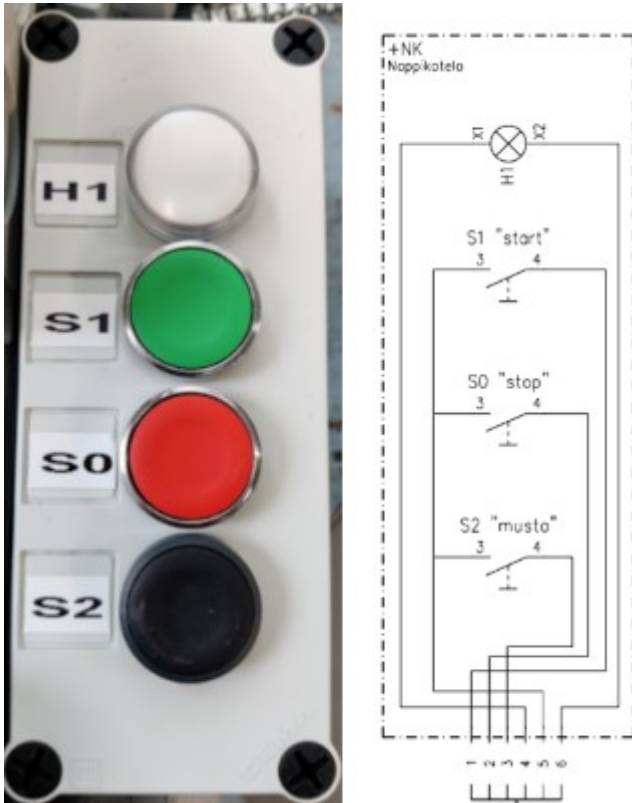


Kuva 5. Vipuriviliittimet kiskoon asennettuna ja johdotettuna.

3.5 Kenttä-, toimi- ja ohjauslaitteet

3.5.1 Ohjainkotelokotelo

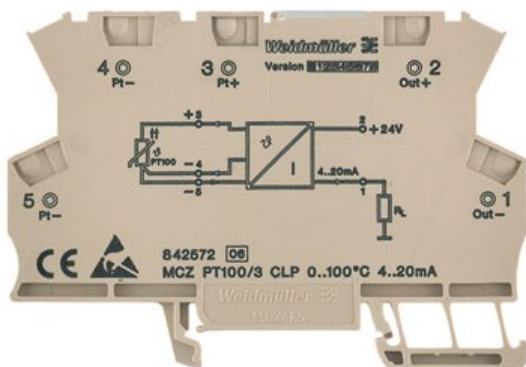
Painonapit päätettiin asentaa erilliseen koteloon. Kotelon kaapeli on kiinnitetty harjoitusalus-
taan. Ohjainkoteloon asennettiin merkkivalo ja kolme painonappia (kuva 6). Ohjainkotelokotelo ha-
luttiin erilleen harjoitusalus-tilasta tilan säästämiseksi, sekä se todettiin hyväksi ideaksi harjoi-
tusten kannalta, koska opiskelijoiden pitää pystyä erottamaan piirikaaviosta kentällä olevia
kokonaisuuksia, seuraamaan johdotusta ja kytkemään ne kytkentäkaavion mukaisesti.



Kuva 6. Ohjainkotelon ja sen piirikaavioesitys

3.5.2 Lämpötilalähetin MCZ PT100/3 ja PT100-anturi

Lähettimeksi valittiin kompakti DIN-kiskoon asennettava 6 mm leveä 2- ja 3-johdin PT100-antureille sopiva Weidmüller MCZ PT100/3 -lähetin (kuva 7). Lähetin muuntaa PT100-anturin lämpötilan mukaan muuttuvan resistanssin 4–20 mA:n virtaviestiksi, joka harjoituksissa kytetään logiikan AM2-laajennusmoduuliin.



Kuva 7. Lämpötilalähetin MCZ PT100/3 (Weidmüller, i.a.)

PT100-anturiksi valittiin Siemens QAP2010.150-anturi, PT100 on vastuslämpötila-anturi, jonka toiminta perustuu platinavastuksen resistanssin muutokseen (Säästö, 2021). Vastuksen resistanssi on 100 ohmia lämpötilan ollessa 0 °C, vastus kasvaa lämpötilan noustessa ja muuttuu lämpötilan funktiona $0,39 \text{ ohmi}/1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.5.3 Induktiivinen lähestymiskytkin SICK IME18-12NPSZC0S

Induktiivinen lähestymiskytkin sulkee tai avaa virtapiirin kappaleen tullessa anturin toiminta etäisyydelle (Fonselius ym., 1996, s. 33). Induktiiviset lähestymiskytkimet tunnistavat vain metalleja ja perustuvat anturin tuntopään magneettikentän vaimenemiseen, jonka anturin elektroniikka muuttaa on/ei tiedoksi (Fonselius ym., 1996, s. 34). Induktiivisia lähestymiskytkimiä käytetään paljon teollisuuden automaatiosovelluksissa. Anturien kytkemisen hallinta on tärkeä taito opiskelijoille.

Sedun opettajalla oli hyviä kokemuksia SICK:n antureista opetuskäytössä niiden hyvän hintalaatusuhteen takia ja uutta tilausta oltiin tekemässä osastolle suunnitteluvaiheen alussa, joten alustaan tilattiin SICK IME18-12NPSZC0S induktiivinen lähestymiskytkin. Anturia ei kiinnitetty kiinteästi harjoitusalueeseen vaan se päätettiin pitää irrallisena, koska harjoitusalueella oli jo valmiiksi tiiviisti komponentteja.

3.5.4 Oikosulkumoottori

Sähkömoottorin toiminta perustuu sähkötehon muuttamiseen mekaaniseksi tehoksi. Oikosulkumoottorit ovat teollisuudessa yleisesti käytetty sähkömoottorityyppi ja suosittuja niiden yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Moottori koostuu kolmesta pääosasta: rungosta, staattorista ja roottorista. Oikosulkumoottorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jossa vaihtovirta muodostaa staattoriin käämeihin magneettikentän (ABB, 2001). Muodostunut magneettikenttä synnyttää roottorin häkkikäämityksiin induktiovirran ja luo niihin magneettikentän. Kun vaihtovirta johdetaan staattorikäämeihin vuorotellen, magneettikentät vaikuttavat toisiinsa ja pyrkivät pyörimään samassa tahdissa.

Sähköosastolla on useita eri kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita, joita on tarkoitus käyttää yhdessä harjoitusalueen kanssa. Moottorit eivät ole kiinteä osa alustaa, vaan ne kytketään

alustaan pistotulpalla. Suurin osa sähköosastolta löytyvistä moottoreista on ABB:n valmistamia moottoreita. Harjoitusalueen moottorilähtöön liitettävä moottori ei ole aina sama, vaan vaihtelee satunnaisesti opiskelijakohtaisesti. Tämän vuoksi tiettyyn moottoriin ei perehdytä työssä tarkemmin.

4 OPETUSTA TUKEVA MATERIAALI JA DOKUMENTOINTI

Jo ensimmäisessä palaverissa ennen työn aloitusta sovittiin, että alustan suunnittelun lisäksi tuotettaisiin alustalle myös opintoja tukevaa materiaalia, kuten ohjeet alustan pääkomponenteille ja sähkökuvat. Tarkoituksena oli käyttää laitevalmistajien käyttöohjeita pohjana ja etsiä sieltä opiskelijoille oleellinen tieto ja selittää se niin, että opiskelija saa kerättyä tarpeellisen tiedon riittävän nopeasti. Ohjeet koitettiin pitää lyhyinä ja käyttää kuvia, jossa korostettiin kuvan eri kohtia käyttäen erillistä numerointia. Joihinkin ohjeisiin laitettiin myös linkit valmistajien käyttöohjeisiin hyperlinkkeinä ja QR-koodin muodossa. Tuotettu materiaali löytyy liitteistä (liitteet 1–7).

4.1 Tehtäväpaketti

Alustalle suunniteltiin 10 harjoitustehtävän kokoinen tehtäväpaketti. Tehtävät alkavat perusteista ja loppua kohti edetään vaikeampiin harjoituksiin. Tehtävissä opiskelijoille annetaan lyhyt kuvaus siitä, miten ohjelman kuuluu käyttäytyä ja mitä materiaaleja kyseiseen tehtävään tarvitaan. Esimerkkinä tehtäväpaketin harjoitus 8 (liite 1). Opiskelijoilta saadussa palautteessa korostui, että tehtäväpaketin pituus oli heidän mielestään hyvä ja mielenkiinto työhön säilyi koko harjoituksen ajan.

4.2 LOGO! pikaohje

Logo -pikaohjeen tarkoitus on kertoa opiskelijalle lyhyesti, miten ja mitä logiikkaan voidaan kytkeä ja mitä sillä voidaan toteuttaa. Ohjetta tukee SoftComfort ohje, jossa kerrotaan tarkemmin ohjelman luomisesta PC:llä.

LOGO! pikaohjeessa sivulla yksi käydään läpi lyhyesti, kuinka logiikka kytketään päälle, pää- ja ohjelmointivalikkojen sisältö, ohjeen sisältö, siihen tutustuminen ja linkki valmistajan käyttöohjeeseen QR-koodilla (liite 2). Liitteen sivulla kaksi käydään läpi kuvien avulla, kuinka logiikkaan kytketään tunnistimet ja ohjattavat laitteet sekä annetaan esimerkkejä, mitä tuloihin ja lähtöihin voidaan mahdollisesti kytkeä.

Liitteen sivuilla kolme ja neljä on kuvien avulla esitetty, miten fyysinen kytkentä voidaan toteuttaa ja esittää FBD-ohjelmana, mitä FBD-ohjelmointi on ja kuinka logiikan ohjelmointi toimii näytöllä paikallisesti ilman SoftComfort -ohjelman käyttöä.

4.3 LOGO! SoftComfort -ohje

SoftComfort-ohjeen tarkoitus on auttaa opiskelijaa toimimaan itsenäisesti alustan harjoitusten kanssa ja opettaa luomaan yksinkertainen ohjelma ja sen lataaminen logiikalle tietokoneelta. Ohjeessa selitetään numeroiduin askelin ja ohjelmasta otettujen korostettujen kuvankaappauksien avulla sen toiminta.

SoftComfort-ohjeessa käydään läpi alussa logiikan kytkeminen tietokoneeseen, ohjelman avaaminen ja uuden projektin luominen askelittain (liite 3). Projektin luomisen jälkeen käydään läpi työkaluvalikkoja, ohjelmointia ja muita ominaisuuksia askelittain kuvien avulla. Lopuksi käydään läpi ohjelman lataaminen tietokoneelta logiikalle ja lyhyt lista työn aikana kohdatuista- ja yleisistä ongelmista logiikan ja tietokoneen välisessä yhteydessä ja mahdolliset ratkaisut niihin.

4.4 VACON 100 -pikaohje

VACON 100 -pikaohjeen tarkoitus on kertoa opiskelijalle lyhyesti, mihin taajuusmuuttaja käytetään ja mitä sillä voidaan tehdä (liite 4). Ohjeessa selitetään taajuusmuuttajan kytkentä verkkoon ja moottorin kytkentä taajuusmuuttajaan. Taajuusmuuttajan ohjauspaneelin käyttäminen, navigointi sekä valikot ja niiden tarkoitus käydään myös läpi. Seuraavaksi opastetaan taajuusmuuttajan käyttöönotto, moottorin arvojen syöttäminen ja ohjauspaikan vaihtaminen paneeliohjaukseksi, jotta moottori voidaan testata. Ohjeessa käydään läpi alustan riviliittimet ja selitetään, miten taajuusmuuttajan sisäiset liittimet ovat valmiiksi kytkettynä vipuriviliittimiin. Lopussa esitetään, miten liittimet otetaan käyttöön vaihtamalla kauko-ohjaukseen.

4.5 Alustan analogiakomponenttien ohje

PT100/AM2 -analogiaohjeen tarkoituksena on auttaa opiskelijaa ymmärtämään alustan analogiakomponenttien toiminnan, konfiguroimaan ja kytkemään ne harjoituksia varten (liite 5). Jokaiselle komponentille löytyy ohjeesta kytkentäkaavio ja lyhyt kuvaus niiden toiminnasta.

Harjoituksissa keskityttiin yksinkertaisiin analogiaohjauksiin, jossa puhallinta ohjataan päälle lämpötilan mukaan. Myöhemmin toteutettiin yksinkertainen puhaltimen nopeudenohjaus analogiavahvistimilla. Ensikertalaiselle opiskelijalle ohjauksen toteutus ei kuitenkaan ole helppoa,

joten materiaalissa selitetään lyhyesti harjoituksissa SoftComfort -ohjelmassa tarvittavat funktiot.

4.6 Sähkökuvat

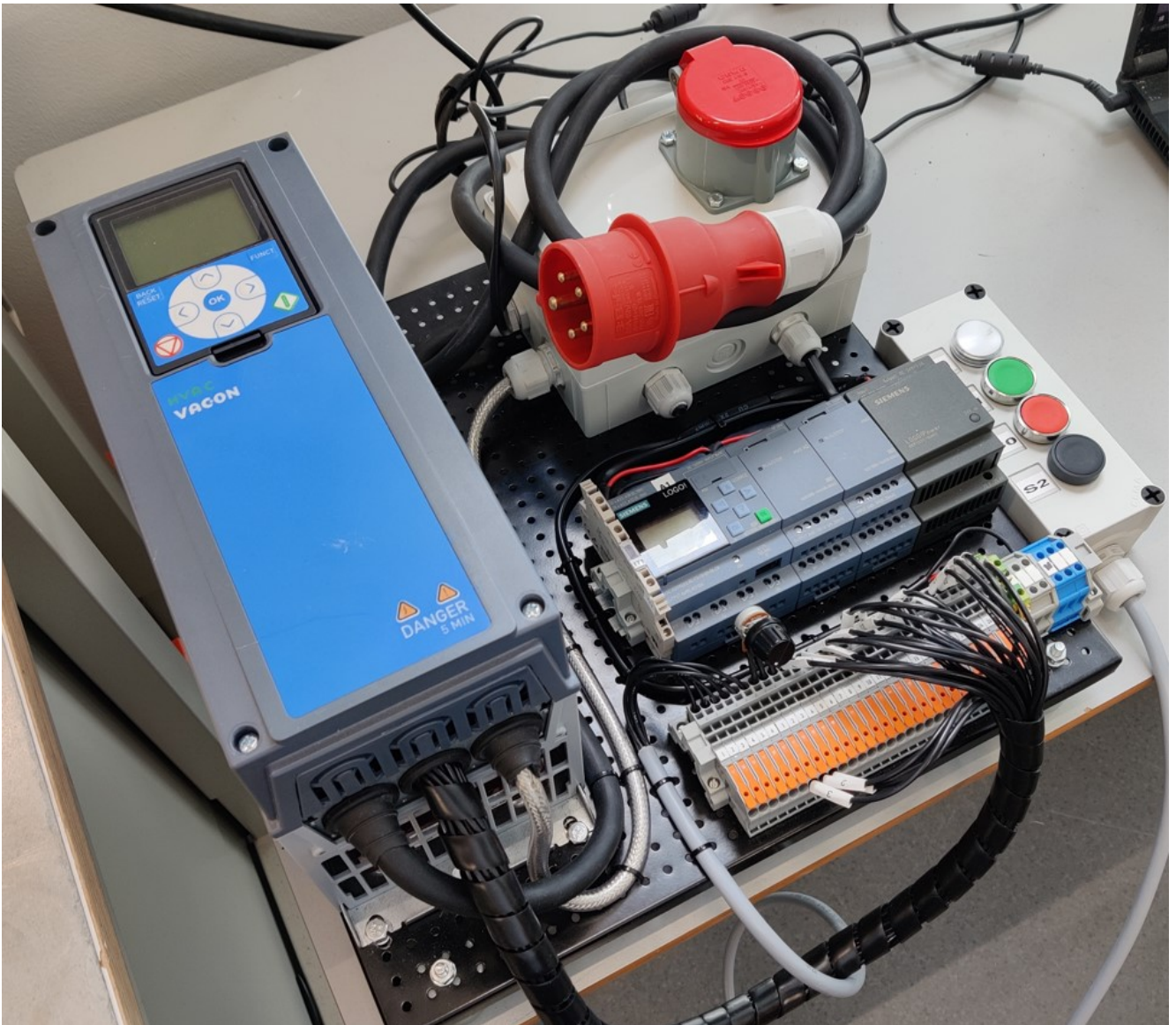
Alustan harjoituksia tukevaksi materiaaliksi piirrettiin kytkentäkuvat aiemmin esitellyllä CAD-MATIC Electrical -sovelluksella. Harjoituksia varten kytkentäkuvasta piirrettiin neljä eri versiota, koska harjoitustöissä lisätään alustaan kenttä- ja toimilaitteita tehtävien edetessä. Kuvissa käytettiin hyväksi CAD-ohjelman riviliittimien merkintää kytkemisen helpottamiseksi (liite 6). Logiikasta ja sen laajennusmoduuleista käytettiin kuvassa pohjana valmistajien CAD-kuvia pelkistettyinä malleina paremman havainnollistamisen vuoksi.

4.7 BOM-lista

Alustan komponenteista luotiin BOM (Bill of materials) -lista, jossa on kaikki alustassa käytetyt artikkelit, niiden nimike, sähkönumero, toimittaja jolta artikkeli tilattiin ja toimittajan tilausnumero (liite 7). BOM-listan tarkoitus on helpottaa tilausten tekemistä, kun laitteita valmistetaan lisää.

5 TULOKSIEN POHDINTA JA YHTEENVETO

Projektissa on saatu pitkän työn jälkeen aikaan tavoitteiden mukainen harjoitusympäristö (kuva 8). Valmistettu harjoitusalue ja sitä tukeva materiaali on testattu opiskelijoiden avulla ja todettu toimivaksi. Harjoitusalueen myötä sähköosaston on nyt paremmat valmiudet sähkö- ja automaatioasentajan perustutkintojen koulutuksessa. Kirjoitushetkellä laitteita on valmiina yksi malli ja toinen on valmistumassa hyvään tahtiin opiskelijoiden tekemänä. Alustaa testanneet opiskelijat pitivät harjoituslaitteistoa ja materiaalia asianmukaisena ja mielenkiintoisena. Palautteessa korostui harjoitusympäristön selvyys kokonaisuutena muihin harjoituksiin verrattuna.



Kuva 8. Valmis harjoituslaitteisto.

Kehitystyön alussa oli hieman epävarmuutta tiettyjen mekaanisten ja käytännön ratkaisujen suhteen, joka johti liialliseen mielipiteiden kyselyyn ja varmisteluun. Opettajat kertoivat, että he olivat tyytyväisiä työn tulokseen ja tehtyihin ratkaisuihin. Tämä auttoi luomaan itsevarmuutta. Ilman ongelmia ei työssä kuitenkaan selvitty. Vikavirtasuojauksen aiheuttamat ongelmat taajuusmuuttajien kanssa eivät tulleet suunnitteluvaiheessa mieleen ja ilmenivät vasta, kun harjoitusaluea alettiin kokoamisen jälkeen testaamaan. Ongelma saatiin kuitenkin ratkaistua kustannustehokkaasti ja kahden erillisen sähkösyötön ratkaisu oli lopuksi parempi vaihtoehto. Muut komponenttivalinnat eivät tuottaneet ongelmia ja niiden valinta sujui hyvin.

Tilaaaja on tyytyväinen annettujen ohjeiden seuraamisesta ja alustan kustannustehokkuudesta. Yhteistyö ja kommunikaatio tilaajan kanssa toimi hyvin ja työn tekijä sai heti alkuun tarvittavat valtuudet työskentelyyn sekä hankintoihin. Työn aikana työn tekijä sai paljon kokemusta opetusympäristössä toimimisesta ja tunsikin osaksi organisaatiota ja yhteisöä. Työn ohessa tuli tutuksi opettajien työtehtävät ja Kurikan kampuksen päivittäistä toimintaa.

Opinnäytetyö piti sisällään laajan kokonaisuuden, jossa päästiin tekemään niin tutkimus- ja kehitystyötä, kuin käytännön töitä. Työn aihe oli mielenkiintoinen ja haastava. Työn aikana saatiin paljon kokemusta taajuusmuuttajista, ohjelmoitavista logiikoista ja sähkömoottoreista. Työn aikana käytetyt ohjelmistot, kuten CADMATIC Electrical ja LOGO! Softcomfort tulivat tutuiksi.

LÄHTEET

- ABB. (10.3.2020). *System pro M compact® Vikavirtasuojakytkimet F200, B-tyyppi*. Haettu 15.10.2022, <https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/moduulikojeet/vikavirtasuojat/f200-tyyppi-b>
- ABB. (2001). *Tekninen opas nro 7. Sähkökäytön mitoitus*. https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf
- CADMATIC. (22.12.2020a). *CADMATIC Electrical* Haettu 14.10.2022, <https://www.cadmatic.com/fi/construction/ohjelmistoratkaisut/cadmatic-electrical/>
- CADMATIC. (2020b). *Yritys*. Haettu 14.10.2022, <https://www.cadmatic.com/fi/yritys/>
- Eaton. (15.3.2017). *Residual Current Devices: Application Guide – Eaton*. <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/circuit-breakers/xeffect-rccb/eaton-rcc-application-guide-br019003en-en-us.pdf>
- Eduskunta. (14.10.2022). *Valiokunnan lausunto TaVL 42/2022 vp— U 33/2022 vp*. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Lausunto/Documents/TaVL_42+2022.pdf
- ePerusteet. (19.12.2019a). *Pien- ja pienenjännitesähköasennukset*. <https://eperusteet.opintopolku.fi/#/fi/ammattillinen/6810751/tutkinnonosat/6816836>
- ePerusteet. (19.12.2019b). *Kappaletavara-automaatioasennukset*. <https://eperusteet.opintopolku.fi/#/fi/ammattillinen/6810751/tutkinnonosat/6816838>
- Fonselius, J., Pekkola, K., Selosmaa, S., Ström, M., & Välimaa, T. (1996). *Automaatiolaitteet*. (1.–2. Painos). Oy Edita Ab.
- Hietalahti, L. (2012). *Säädetyt sähkömoottorikäytöt*. Tammertekniikka.
- Niiranen, J. (1999). *Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus*. (2. Painos). Otatieto Oy.
- Opetushallitus (OPH). (2018). *Tutkintojen perusteet* Haettu 17.10, <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/tutkintojen-perusteet>
- Parantainen, T. (6.5.2022). *Oikeus osata – hanke. Yhdessä Tillsammans*. <https://www.kpedu.fi/docs/default-source/varustamo/yhdessä%C3%A4-tillsammans-loppuseminaari-6-5-22-sedu.pdf>
- Schneider Electric. (9.3.2021). *Why choose Type B RCD for 3 Phase Variable Speed Drives?* Haettu 15.10.2022, <https://www.se.com/au/en/faqs/FAQ000184975/>

Sedu. (2022). *Sedu työnantajana*. Haettu 13.10.2022, <https://www.sedu.fi/tietoa-sedusta/sedu-tyonantajana/>

Siemens. (2006). *FUB/FBD S7-300/400 Yksiköiden ohjelmointi toimintakaaviomuodossa*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/644/18652644/att_90352/v1/STEP7_FUP_fi.pdf

Siemens. (2020). *LOGO! System Manual*. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:557e34c1-4111-4625-921a-0717d0053571/Manual-LOGO-2020.pdf>

Säätö. (8.12.2021). *Lämpötilan mittaus*. Haettu 18.10.2022, <https://saato.fi/lampotilan-mittaus/>

Tiainen, E. (2009). *D1-2009. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. (16. Painos). Sähköinfo Oy.

Weidmüller. (i.a.). *MCZ PT100/3 CLP 0...150C*. [Kuva]. https://catalog.weidmueller.com/picture/PV_842572000040.jpg

LIITTEET

Liite 1. Tehtäväpaketin harjoitus 8.

Liite 2. LOGO! pikaohje.

Liite 3. LOGO! SoftComfort pikaohje.

Liite 4. VACON 100 taajuusmuuttaja pikaohje.

Liite 5. PT100 / AM2 analogiaohje.

Liite 6. Sähkökuva LOGO 4.

Liite 7. BOM-lista.

Liite 1.

7

Tehtävä 8 – Käsi- ja automaattikäyttö pumppusovellus

Kuvaus

Käsi käyttö-tilassa moottoria **M1** voidaan ajaa eteen ja taakse (täyttö ja poisto) logon ylä- ja alanuolipainikkeilla. Moottori käy niin kauan kuin painiketta pidetään pohjassa ja lopettaa kun yläraja **S3** tunnistaa.

Automaattikäytössä pumppu käy eteen, kunnes yläraja **S3** tunnistaa. Ylärajan tunnistus indikoidaan lampulla **H1**.

Käsi käyttö-aktivoidaan painonapilla **S1** ja nollataan painonapilla **S0** tai kun automaattikäyttö aktivoidaan painikkeesta **S2**.

Automaattikäyttö aktivoidaan painikkeesta **S2** ja nollataan painikkeella **S0** tai kun käsi käyttö aktivoidaan painikkeesta **S1**.

Lisätehtävä

Toteuta logon näytöllä säiliön tilan kuvaus (täysi/vajaa), pumpun tilan indikointi (täyttää/poistaa) ja automaatti/käsi tilan indikointi.

I/O LISTA

I1 S1 "KÄSI"	Q1 H1 "Lamppu"
I2 S0 "Stop"	Q2 M1 "TÄYTTÖ"
I3 S2 "AUTO"	Q3 M1 "POISTO"
I4 S3 "YLÄRAJA"	

Liitteet

LOGO3 Piirikaavio, LOGO Ohje, Logo Softcomfort ohje, VACON 100 Ohje

Liite 2.

LOGO PIKAOHJE

1

ALOITUS

1.Kytke virta SUKO-pistokkeella LOGO:lle

2.Kytettyäsi virran LOGO:n näytön pitäisi syttyä. Mikäli näytössä on valkoinen tausta, on LOGO! RUN tilassa eli sisällä on ohjelma ajossa.
ESC näppäintä painamalla pääset päävalikkoon. Navigoi kohtaan STOP nuolipainikkeilla ja paina OK nappia ja kuittaa valitsemalla YES.

3.Tutustu valikkoihin ja niiden navigointiin, kuvissa on lyhyt selvitys pää- ja ohjelmointi valikoista.

4.Tutustu tulojen ja kuorman liittämiseen (Sivu 2).

5.Tutustu ohjelmointiin ja valitse ohjelmoitko paikallisesti LOGO:lla (Sivut 3–4) vai tietokoneella Soft Comfort ohjelmistolla (SoftComfort ohje).

PÄÄVALIKKO

Start	➔	Asettaa PLC:n RUN tilaan ja aloittaa ohjelman ajon.
Program	➔	Avaa ohjelmoinnin valikon.
Setup	➔	Avaa logiikan asetusvalikon (Aika, Kieli, yms.).
Network	➔	IP-osoitteen asetus ja Master/Slave asetus.
Diagnostics	➔	Ohjelmiston ja raudan tiedot, loki ja muu diagnostiikka
Card	➔	SD-kortin asetukset, ohjelman tallennus/lataus.

PROGRAM - OHJELMOINTI

Edit Prog	➔	Edit Prog – Avaa ohjelman editointi valikon.
Set Parameter	➔	Set Parameter – Avaa parametointi tilan.
Prog Password	➔	Prog Password – Salasanan asetus ja vaihto.
Prog Name	➔	Prog Name – Ohjelman nimeäminen.
Clear Prog	➔	Clear Prog – Ohjelman tyhjennys (Kuittaus Yes/No)
Memory Usage	➔	Memory Usage – Näyttää vapaan muistin määrän.



Täysi manuaali LOGO:lle löytyy valmistajan sivuilta QR koodista.
(Skannaa QR koodi puhelimellasi)

Sisältä löydät tarkemmat tiedot LOGO:sta

LOGO PIKAOHJE

2

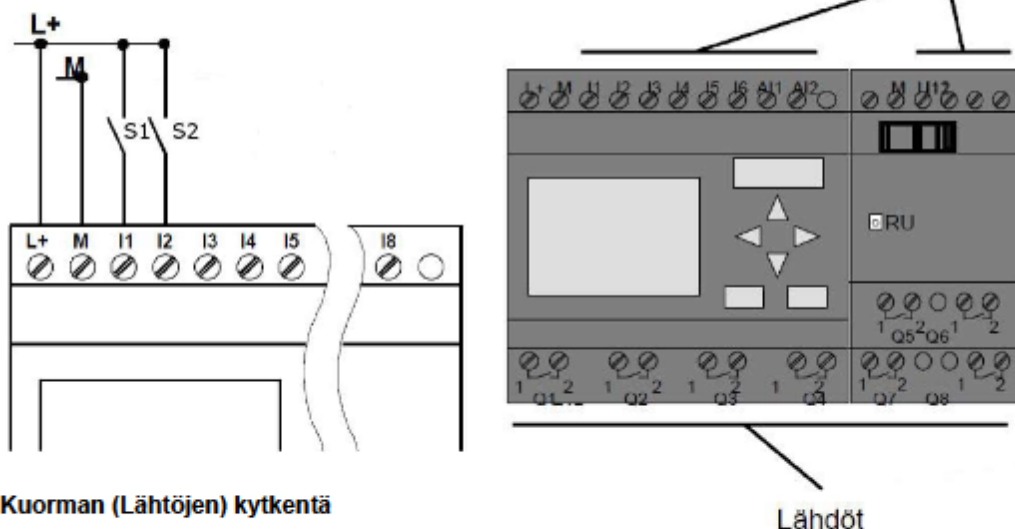
KYTKENTÄ

Tulojen liittäminen

Tunnistimet liitetään tuloihin. Tulot on merkattu I kirjaimella (Input) ja sen jälkeisellä luvulla.

Tunnistimia voivat olla: painikkeet, kytkimet, valokennot, hämäräkytkimet, anturit. jne.

Tunnistimien kytkentä LOGO! DC 12/24V

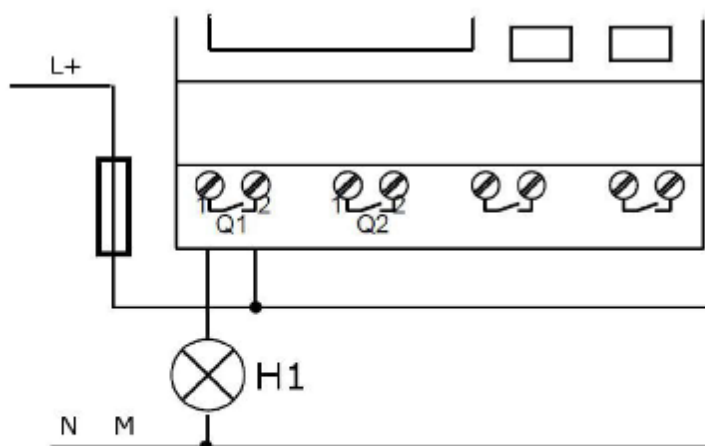


Kuorman (Lähtöjen) kytkentä

LOGO:n lähdöt ovat relelähtöjä.

Lähdöt on merkattu Q:lla ja luvulla. Esim. Q1 ja koskettimet 1 (ohjaus), 2 (ohjausjännite)

Lähtöihin voi liittää erilaisia kuormia, esim. lampuja, moottorinohjauksen taajuusmuuttajan rivi-liittimien kautta jne.



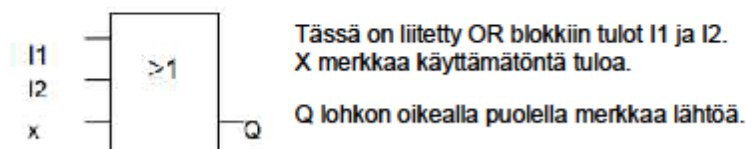
1 Esim. Lampun kytkentä relelähtöön Q1

LOGO PIKAOHJE

3

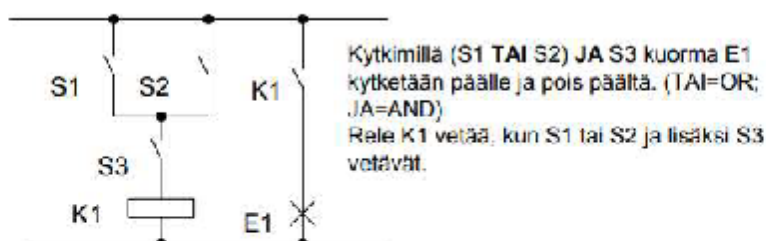
Ohjelmointi

LOGO ohjelmoidaan FBD (Function Block Diagram) funktioblokeilla, jotka ovat periaatteessa piirikaavio esitettyinä toisella tavalla. Yksinkertaisimmat blokit ovat elektroniikasta tuttuja loogisia portteja kuten AND (JA) OR (TAI). Blokeilla muutetaan tulotieto esim. painonapilta lähtötiedoksi.



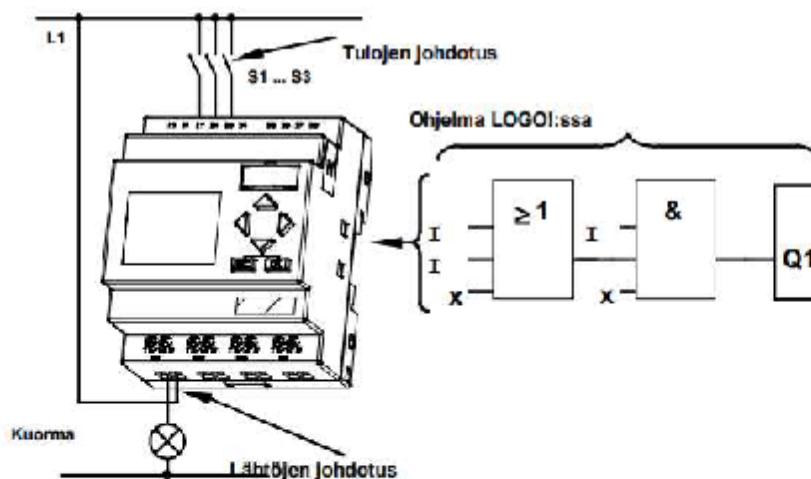
Kytken n esitys piirikaaviossa

Kytken n esitys piirikaaviossa on jo useimmille tuttu asia. Seuraavassa kuvassa on yksi esimerkki:



Kytken n toteutus LOGOlla

Kytken tÄ LOGO:ssa muodostetaan yhdistämällä blokkeja ja liittimiä keskenään.

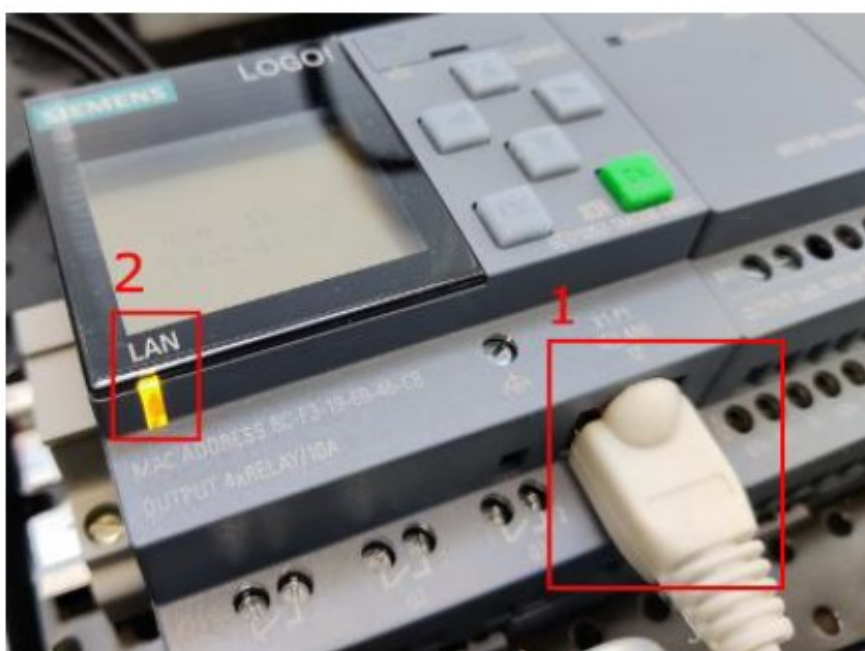


Liite 3.**Siemens LOGO! Soft Comfort pikaohje.**

1

Aloit

1. Kytke jännite Logo:lle.
2. Kytke Logo tietokoneeseen Ethernet-kaapelilla.
3. LAN-valon pitäisi syttyä Logon ollessa päällä.

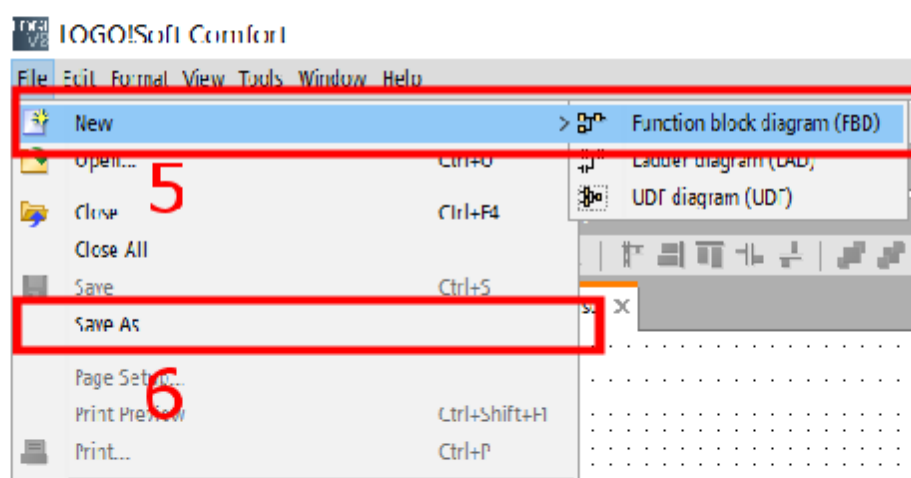


4. Avaa Soft Comfort sovellus tietokoneeltasi tuplaklikkaamalla kuvaketta tai hakemalla "Soft Comfort" Windowsin start-valikosta ja ohjelman avauduttua suurennna se koko ruudulle.

Huom! Soft Comfort ohjelmistoversio oltava V8.3 tai suurempi.

PROJEKTIN LUOMINEN

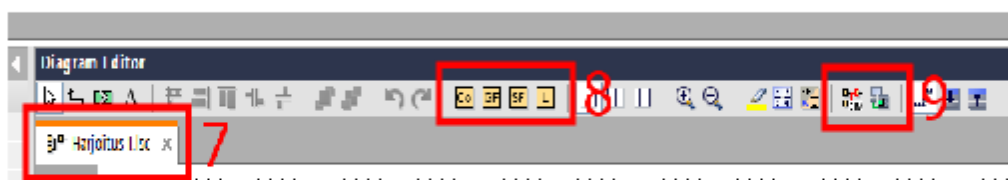
5. Aloittaaksesi uuden ohjelman suunnittelun navigoi vasempaan yläkulmaan kohtaan **File -> New -> Function Block Diagram (FBD)**.
6. Nimetäksesi ohjelman navigoi uudestaan **File -> Save As** ja anna ohjelmalle nimi. Esim. Harjoitus 1.



TYÖKALUVALIKKO

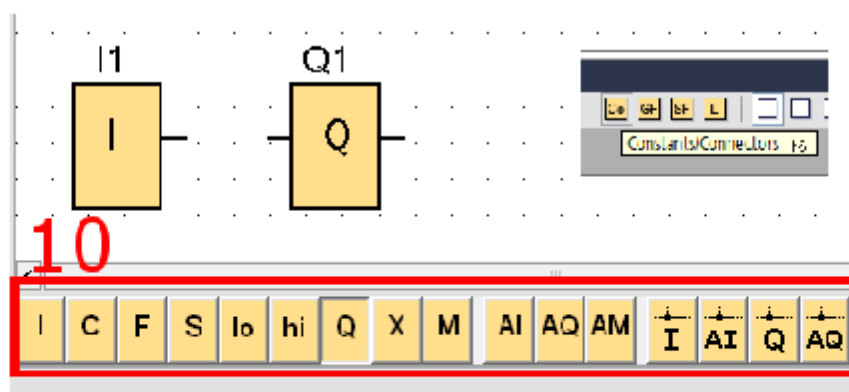
7. Editorissa auki oleva ohjelma
8. Funktioblokkien valinta
9. Ohjelman simulointi offline-tilassa ja online-monitorointi.

Huom! Online-test vaatii ohjelmiston lataamisen Logo:lle



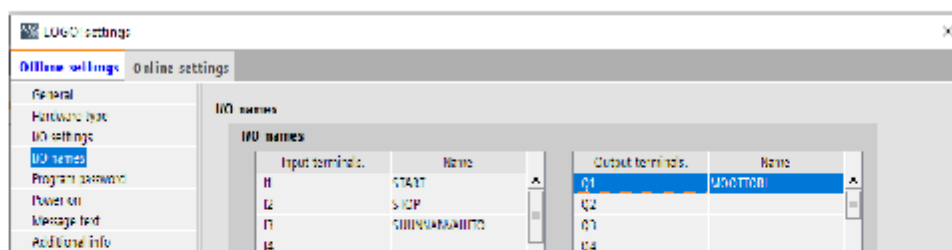
BLOKIT JA NIIDEN YHDISTÄMINEN

10. Klikataan työkalupalkista "constants and connectors" (Kohta 8) painiketta. Alhaalle avautuu valikko, josta voidaan nyt tuoda blokkeja ohjelmaan.
11. Tuodaan ohjelmaan input (tulo) ja output (lähtö) klikkaamalla I kirjainta ja sen jälkeen työtilaa ja toistetaan sama Q kirjaimelle.

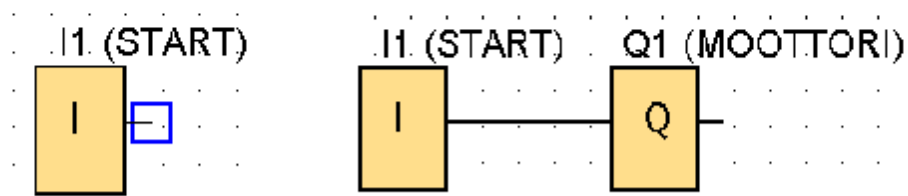


(HUOM! Lisää blokkeja löydät muiden painikkeiden alta tai "instructions" sivuvalikosta vasemmalla.

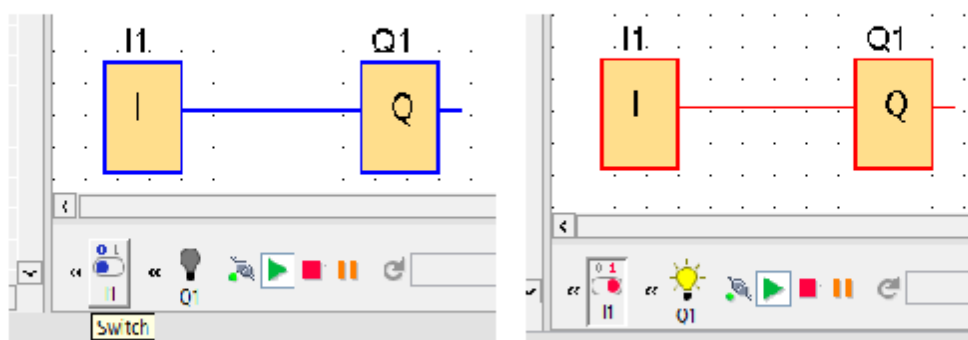
12. Ohjelmoinnin helpottamiseksi nimitään inputit ja outputit I/O listalta. Navigoi ylävalikosta kohtaan **Edit -> Input/Output names** ja anna tuloille ja lähdöille tarvittavat nimet.



13. Blokkien kytkentä tapahtuu viemällä kursori tyhjän viivan päälle, sinisen laatikon ilmestyttyä klikataan ja pidetään hiiren painike pohjassa ja raahaamalla vedetään yhteys seuraavaan blokkiin.



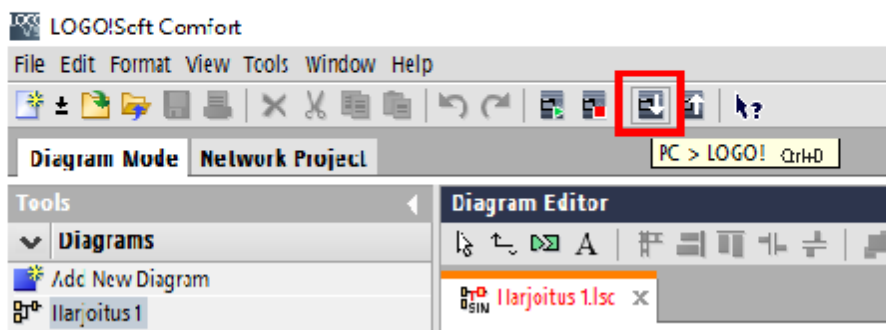
14. Seuraavaksi simuloidaan kytkennän toimintaa offline tilassa. Painetaan Simulation (F3) painiketta (kohta 9) työkalupalkista. Kun simulaatiotila on päällä ilmestyy alas ylimääräinen valikko josta voidaan ohjata tuloja päälle/pois ja nähdään lähtöjen status.



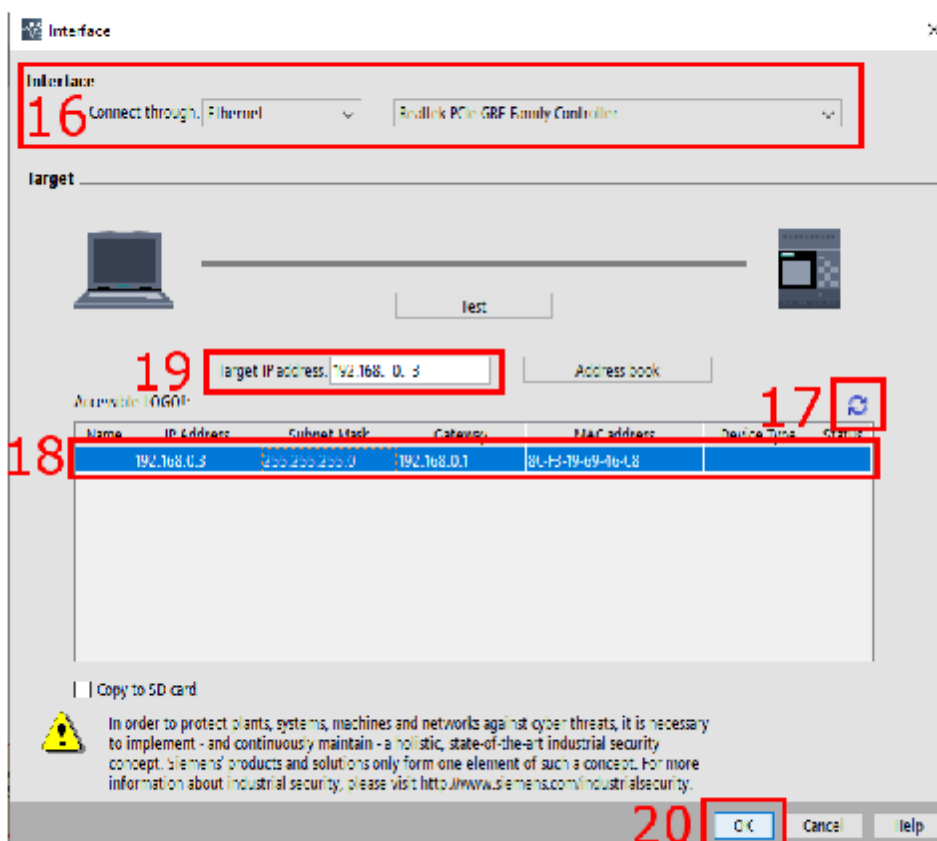
15. Ohjelman lataus Logo:lle tapahtuu yläpalkissa olevasta PC -> LOGO! painikkeesta. (CTRL+D)
Viereisellä painikkeella taas voidaan tuoda ohjelma logosta editoriin.

Siemens LOGO! Soft Comfort pikaohje.

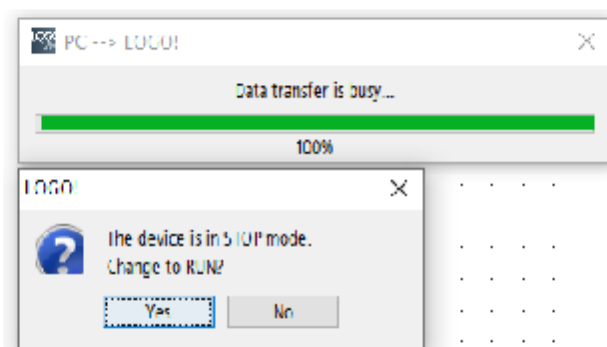
5



16. Valitaan käytettävä yhteys (Ethernet).
17. Päivitetään laitelista.
18. Listaan pitäisi tulla näkyviin logo:n osoitetiedot, valitse klikkaamalla.
19. Tarkista että IP osoite tulee näkyviin kohtaan "target IP address:"
20. Klikkaa OK aloittaaksesi lataus.



21. Ennen ohjelman latausta pitää LOGO asettaa STOP tilaan, paina Yes.
22. Ohjelman lataus alkaa ja latauksen jälkeen asetetaan Logo takaisin RUN tilaan painamalla Yes.



Vianetsintä jos LOGO ei näy listassa tai siihen ei saa yhteyttä.

1. Tarkista, että ethernet kaapeli on ehjä, kytketty ja LAN-valo logossa palaa.
2. Tarkista, että SoftComfort ohjelmisto on päivitetty vähintään **versioon 8.3**
3. Tarkista kuten kohdassa #16, että käytössä on ethernet yhteys ja **oikea verkkokortti** eikä esim. kannettavan tietokoneen WLAN kortti.
4. Paina virkistä/refresh (#17) painiketta nähdäksesi laitteet
5. Paina kohdan #18 mukaisesti laitetta listasta, että IP osoite päivittyy target IP-address kohtaan.
6. Varmista, että painat Kyllä/Yes windowsin kysyessä JAVA runtime kirjastosta.
7. Jos SoftComfort kysyy salasanaa, koita salasanaa **"LOGO"** (huom. capslock)
8. Jos mikään ohjeista ei toimi, reseto PLC tehdas asetuksille navigoimalla PLC:n painikkeilla Päävalikossa kohtaan **Setup > Selaa valikkoa alas kohtaan > Factory Reset > Yes.**

Liite 4.

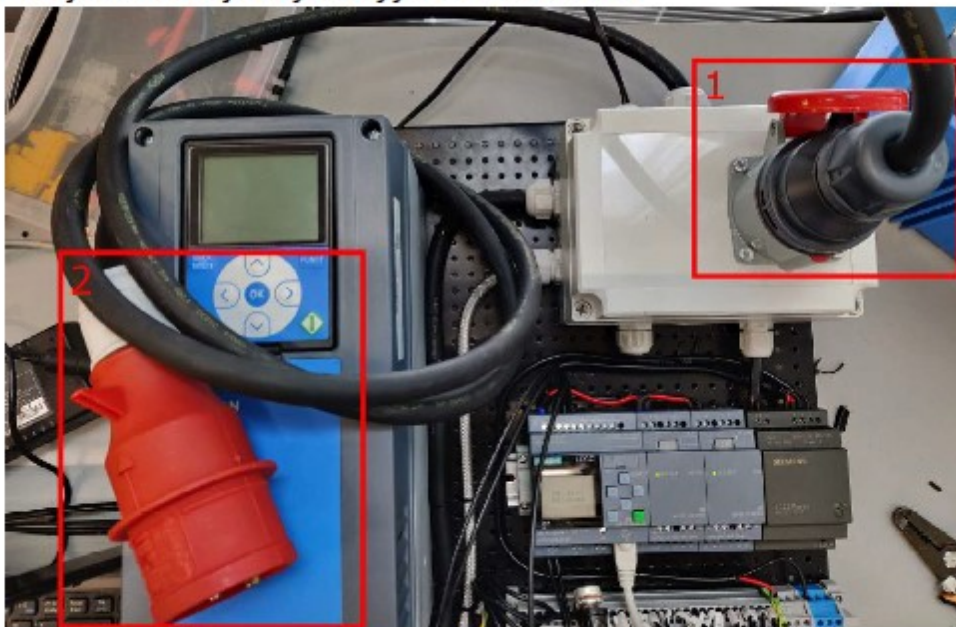
VACON 100 TAAJUUSMUUTTAJA PIKAOHJE

2

Harjoitusalueella on VACON 100 -sarjan 3-vaihe taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajalla voidaan ohjata moottorin nopeutta, pyörimissuuntaa ja luoda erilaisia sovelluksia moottorin ohjaukseen (Esim. Ohjaus lämpötila-anturin avulla). Täyden valmistajan manuaalin löydät skannaamalla QR koodin puhelimesi tai [TÄSTÄ](#) linkistä.

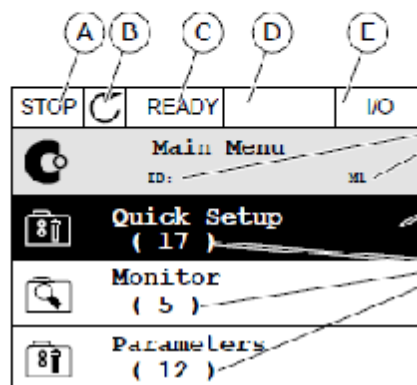


1. Kytke moottori taajuusmuuttajalle 3-vaihe pistotulpalla.
2. Kytke jännite taajuusmuuttajalle alustan 3-vaihe pistotulpalla.
3. Taajuusmuuttaja käynnistyy automaattisesti.



Taajuusmuuttaja, 1. Moottorin syöttö. 2. Taajuusmuuttajan syöttö

4. Tutustu navigointiin valikoissa alla olevien kuvien avulla.

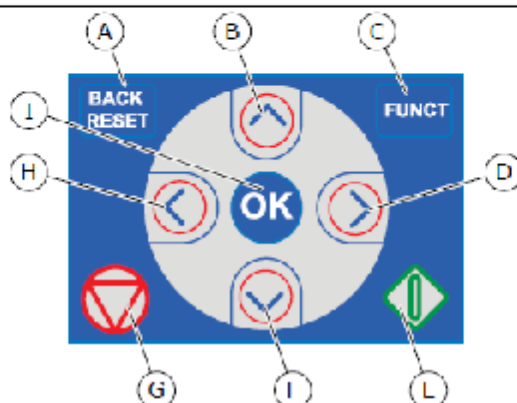


Kuva 2: Graafinen paneeli

- A. Ensimmäinen tilakenttä: SEIS/KÄY
- B. Moottorin pyörimissuunta
- C. Toinen tilakenttä: VALMIS / EI VALMIS / VIKA
- D. Hälytyskenttä: HÄLYTYS/-
- E. Ohjauspaikkakenttä: PC / I/O / PANEELI / KENTTÄVÄYLÄ
- F. Sijaintikenttä: parametrin tunnus ja nykyinen sijainti valikossa
- G. Valittu ryhmä tai kohde
- H. Kohteiden lukumäärä ryhmässä

OHJAUSPANEELI JA PANEELI

Ohjauspaneeli toimii linkkinä taajuusmuuttajan ja käyttäjän välillä. Ohjauspaneelin avulla säädetään moottorin nopeutta ja seurataan taajuusmuuttajan tilaa. Lisäksi voit asettaa taajuusmuuttajan parametrit.



Kuva 1: Paneelin painikkeet

- A. BACK/RESET-painike. Tällä painikkeella voit palata takaisinpain valikossa, poistua muokkaustilasta tai kuitata vian.
- B. Ylänuolipainike. Tällä painikkeella voit selata valikkoa ylöspäin ja suurentaa arvoa.
- C. FUNCT-painike. Tällä painikkeella voit muuttaa moottorin pyörimissuuntaa, käyttää ohjaussivua ja vaihtaa ohjauspaikan.
- D. Oikea nuolipainike.
- E. Käynnistyspainike (Start).
- F. Alenuolipainike. Tällä painikkeella voit selata valikkoa alaspäin ja pienentää arvoa.
- G. Pysäytyspainike (Stop).
- H. Vasen nuolipainike. Tällä painikkeella voit siirtää kohdistinta vasemmalle.
- I. OK-painike. Tällä painikkeella voit siirtyä valitulle tasolle tai valittuun kohteeseen ja vahvistaa valinnan.

VALIKOT

Nopea käyttö. – Tähän valikkoon on koottu keskeisiä perusparametrejä kuten kilpiarvon syöttämiseen tarvittavat parametrit, ohjauspaikan valinta yms.

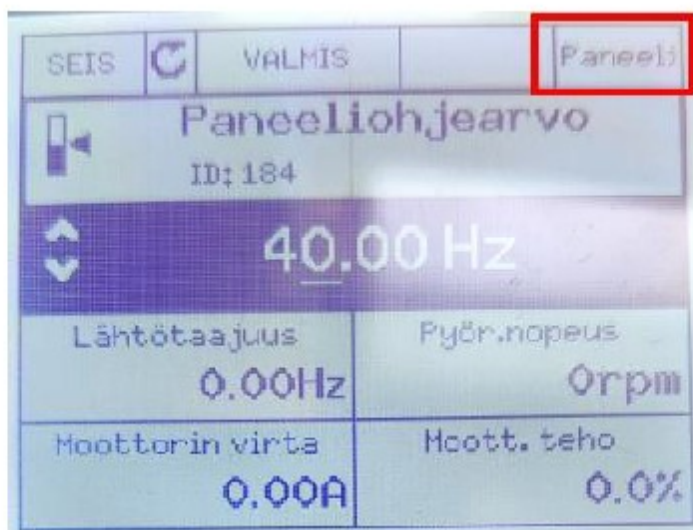
Valvonta – Valikon alta pystyt näkemään tiettyjen arvojen tilat, esim. moottorin tilaan liittyvät arvot (jännitteet, virta, teho yms.), digitaalitulojen tilat (0–1) ja ohjearvojen tilat.

Parametrit – Ovat taajuusmuuttajan sisäisiä asetuksia ja arvoja, joilla kerrotaan taajuusmuuttajalle, Esim. moottorin kilpiarvot, ohjaustapa tai muutetaan taajuusmuuttajan toimintaa, sovellusta jne.

Viat ja tiedot – Täältä näet nykyiset aktiiviset kuittaamattomat viat, viakahistorian sekä voit kuitata aktiiviset viat. Tietty vikatilat estävät taajuusmuuttajan käytön ja vaativat manuaalisen kuittauksen.

SEIS	↺	VALMIS		I/O
Vikahistoria				
ID:		M 4. 3. 5		
	Ylivirta	1		
	Autokuitt. vanha		0a 0d 01:19	
	Ylivirta	1		
	Autokuitt. vanha		0a 0d 01:19	
	Ulkoinen vika	51		
	Vika vanha		0a 0d 01:11	

5. Navigoi kohtaan **Nopea. käytt.otto.** ja syötä moottorin kilpiarvot.
6. Minimi ja maksimitaajuudeksi 0-50Hz
7. Paina FUNCT painiketta ja navigoi alimpaan kohtaan **Paik/Kauko** ja valitse **Paikallinen**.
8. Näytön oikeassa yläkulmassa pitäisi nyt näkyä "paneeli" mikä tarkoittaa, että paikallinen paneeliohjaus on käytössä.



9. Paina **Vihreää** painiketta käynnistääksesi moottori ja **Punaista** sammuttaaksesi. Pyörimisnopeutta (RPM) voit säätää ohjearvoa (Hz) säätämällä **ylös -ja alas -nuolipainikkeilla**.

10. Käytteesi ulkoisia painikkeita, potentiometriä, antureita jne. on ne kytkettävä taajuusmuuttajan riviliittimille. Alustassa riviliittimet on tuotu taajuusmuuttajalta vipuriviliittimille.

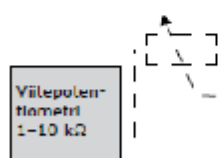


11. **HUOM!** Riviliittimille on tuotu myös alustan ohjauskapulan johtimet, joten ensimmäiset 6 riviliittintä ovat kapulalle ja loput taajuusmuuttajalle.
12. Käyttääksemme ns. "riviliitin-ohjausta", vaihdamme **FUNCT** painikkeella sen **Paik/Kauko** kohdasta valitsemaalle **Kauko**. Oikeassa yläkulmassa pitäisi nyt näkyä I/O.
13. Tarkistetaan vielä päävalikosta **Nopea. käytt.otto** alta kohdasta **"KAUKO-OP"**, että käytössä on riviliitinohjaus, ei sarjaväyläohjaus.
14. Seuraavaksi kytketään riviliittimiltä halutut analogiatulot (esim. potentiometri tai lämpötila anturi) ja digitaalitulot (painikkeet).

15. Taajuusmuuttajan riviliittimet.

HUOM! Relelähtöjen 1 ja 2 maa on kytketty sisältä yhteen riviliittimen 13 (I/O MAA) kanssa valmiiksi.

	Liitin	Signaali	Kuvaus
	1	+10 Vref	Ohjauksenlähde
	2	AI1+	Analogiatulo 1 +
	3	AI1-	Analogiatulo 1 -
	4	AI2+	Analogiatulo 2 +
	5	AI2-	Analogiatulo 2 -
	6	24 Vout	24 V:n apujännite
	7	GND	I/O maa
	8	DI1	Digitaalitulo 1
	9	DI2	Digitaalitulo 2
	10	DI3	Digitaalitulo 3
	11	CM	Yhteinen tuloille DI1-DI3
	12	24 Vout	24 V:n apujännite
	13	GND	I/O maa
	14	DI4	Digitaalitulo 4
	15	DI5	Digitaalitulo 5
	16	DI6	Digitaalitulo 6
	17	CM	Yhteinen tuloille DI1-DI6
	18	AO1+	Analogialähtö 1 +
	19	AO1-	Analogialähtö 1 -
	20	+24 Vin	24 V:n apujännite
	A	RS485	Sarjavyö, negatiivinen
	B	RS485	Sarjavyö, positiivinen
	21	RO1/1 NC	Relelähtö 1
	22	RO1/2 CM	
	23	RO1/3 NO	
	24	RO2/1 NC	Relelähtö 2
	25	RO2/2 CM	
	26	RO2/3 NO	
	28	TI1+	Termistoritulo
	29	TI1-	
	32	RO3/2 CM	Relelähtö 3
	33	RO3/3 NO	



DI4	DI5	Taajuusohje
Auki	Auki	Analogiatulo 1
Kiinni	Kiinni	Vakionopeus 1
Auki	Kiinni	Vakionopeus 2
Kiinni	Kiinni	Vakionopeus 3

*)

**)

Liite 5.

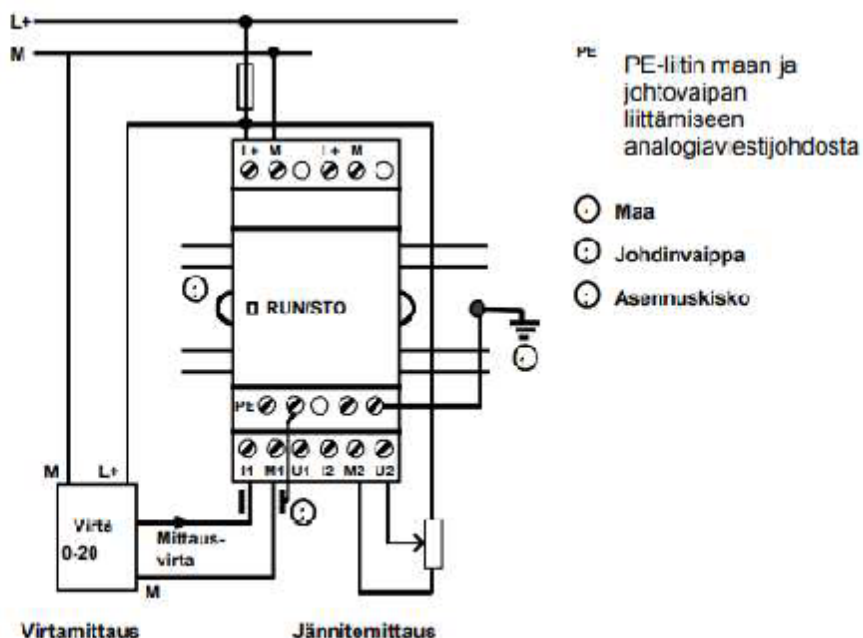
PT100 / AM2 ohje.

1

AM2 Analogiatulo laajennusmoduuli

Logoon on kytketty AM2 Analogiatulo laajennusmoduuli, johon voidaan tuoda virta- ja jännitetuloja. Kuvassa alla johdotus sekä virta, että jännite tulleille. Analogiamoduulissa tulot ovat poikkeuksellisesti alhaalla.

LOGO! AM2



Logon päämoduulissa voidaan käyttää tuloja myös analogiatilassa (0-10v), tarkista että asetus on joko 0 tai 2 AI kohdassa navigoimalla logon yläpalkista kohdasta,

File > Properties > I/O Settings

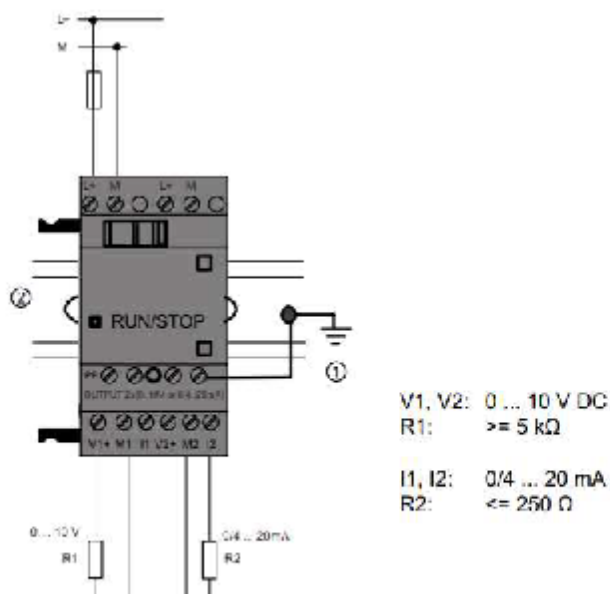
jos muutat AI asetuksia muista tarkistaa ohjelma ja että analogialähdöt ohjelmassa vastaavat uutta järjestystä.

AM2 AQ Analogialähtö laajennusmoduuli

Logoon on kytkettynä AM2 AQ analogialähtö laajennusmoduuli, jolla voidaan lähettää jännite (0–10 V) - ja virtaviestejä (0/4–20mA). Analogia viestillä voidaan ohjata esim. moottorin pyörimisnopeutta taajuusmuuttajan avulla.

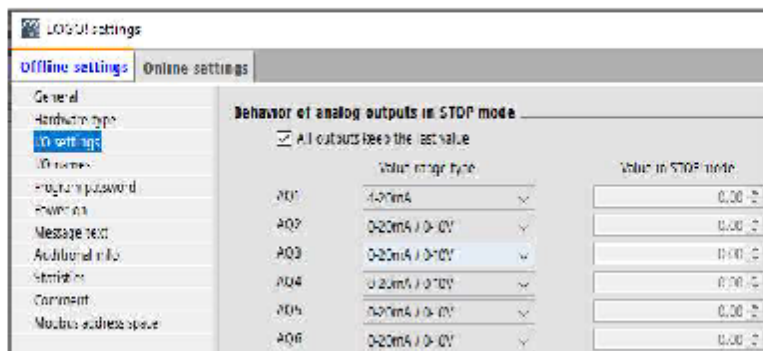
Alla kuvassa AM2 AQ lähtöjen johdotus.

LOGO! AM2 AQ



Lähtöjen tyyppi asetetaan Softcomfortista jo aiemmin AM2 tuloissa mainitusta kohdasta: **File > Properties > I/O Settings**.

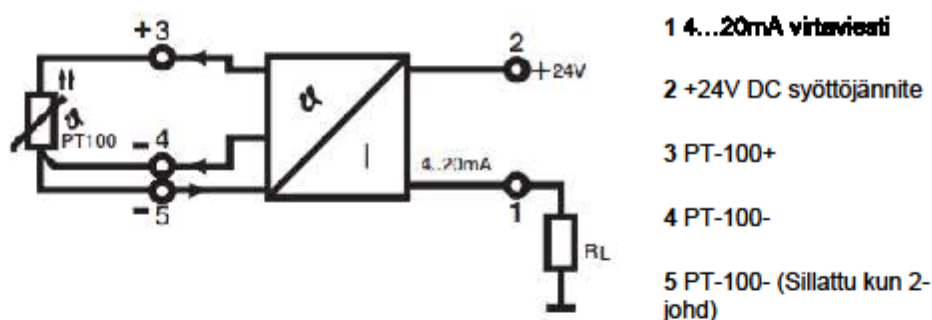
Esimerkissä on asetettu AQ1 4-20mA virtaviestille ja loput lähdöt 0-20mA tai / 0-10V tilaan.



PT100 Anturi ja lähetin MCZ PT100

Alustassa on PT100 lämpötila-anturi ja erillinen lähetin, joka muuntaa anturin lämpötilan mukaan muuttuvan resistanssin 4-20mA virtaviestiksi.

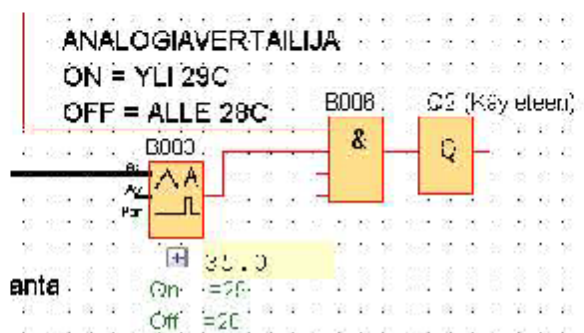
Alla kuvassa on 3-johdin PT100 anturi kytkettynä lähettimeen. 2-Johdin kytkennässä kytketään yhteen pinnit 4 ja 5. Tarkista kytkentä LOGO3 piirikaaviosta.



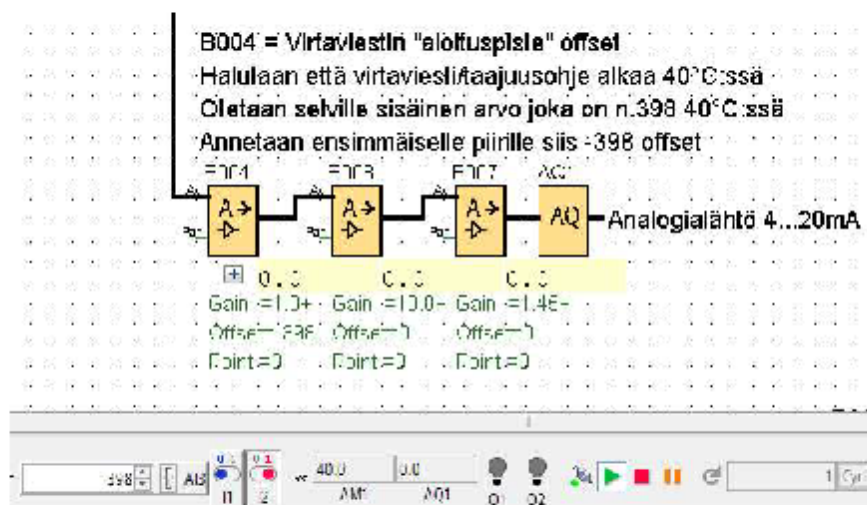
Siemens QAP PT100 2-johdin anturi ja MCZ PT100/3 lähetin



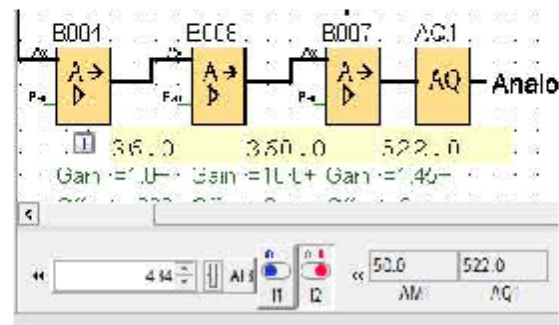
Sisäinen arvo muuttuu vahvistimien jälkeen 365 -> 30, arvo on nyt skaalattu. Nyt kun sisäinen arvo on saatu muutettua asteiksi, voidaan seurata tätä arvoa analogimuistipaikalla eli **analog-flag** piirillä.



Analogiavertailijalle (Analog-Comparator) annetaan on -ja off raja-arvot, arvojen ylittyessä tai alittuessa piiri päästää tai ei päästä signaalia eteenpäin. Esimerkissä lämpötila arvo on 35 joka ylittää asetetun raja-arvon 29 eli piiri on aktiivinen ja moottori käy eteenpäin.

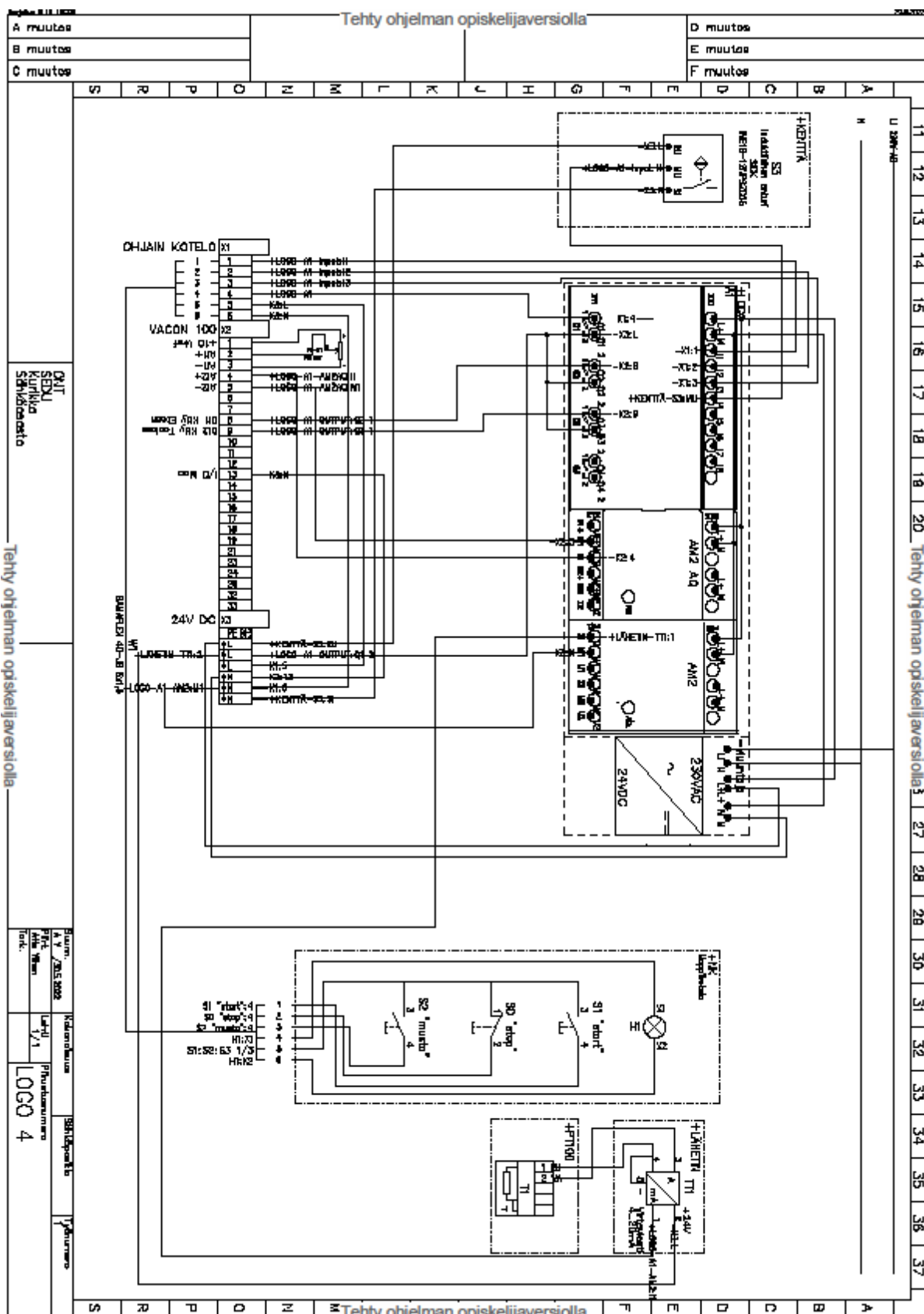


Alla olevassa esimerkissä on toteutettu 4-20mA:n analogialähtö taajuusmuuttajalle. Halutaan että moottori alkaa pyörimään ja kiihdyttämään 40°C:stä lähtien, joten etsitään ensin sisäinen arvo, joka vastaa 40°C:tä ja tämän jälkeen annetaan ensimmäiselle vahvistimelle vastaava offset arvo eli 398. Tämän jälkeen annetaan suuri vahvistuskerroin, että saadaan arvo nousemaan halutulla nopeudella.



AI3:n sisäisen arvon noustessa 434:een ja lämpötilan näin 50°C:een nähdään analogilähdön AQ1 arvoksi 522 (maksimi 1000) eli analogilähtö antaisi ulos noin puolet maksimista eli n.12mA. Virta tai jännite nousee suhteessa sisäiseen arvoon.

Liite 6.



Liite 7.

Kohde	Artikkeli	Myyjä	Tuotenro	Snumero	Määrä	Yksikkö	MUU
RUNKO/ALUSTA	MUSTA TYÖKALUTAULU, 40 X 40 CM	Biltema	71-199		1	kpl	
	Ovivaste 2 kpl	Biltema	86-3110		2	kpl	
	DIN-kisko. 18mm reiällä L=2m	SONEPAR/SLO	1970364	1970364	1	kpl	2x ~23cm alustassa
LIITTIMET JA KYTKENTÄ	WAGO 2102-1201 Riviliitin	SONEPAR/SLO	1927414	1927414	31	kpl	TOP JOB S 2-Nap,vivulla, 0.25-2.5,HAR
	WAGO 2102-1291 Päätylevy	SONEPAR/SLO	1927417	1927417	1	kpl	
	Vipurasialiitin 3-os - WAGO 221-413	SONEPAR/SLO	1922105	1922105	5	kpl	3-OS 3x0.08-4mm
	Voimapistorasias Easy & Safe	SONEPAR/SLO	2421236	2421236	1	kpl	6h, 16A, IP44, 3P+N+E 240/415V, Suora, 1.5-4mm2
	KOTELO EATON	SONEPAR/SLO	2336117	2336117	1	kpl	M22-I4 4 AUKKOA
	ASENNUSKOTELO ABS MNX FIBOX	ONNINEN	3420553	3420553	1	kpl	ABS 150/75 HG 180x130x75 HAR
	RIVILIITIN GEORG-SCHLEGEL IK5	ONNINEN	1916002	1916002	3	kpl	(4mm harmaa)
	RIVILIITIN GEORG-SCHLEGEL IK5BL	ONNINEN	1916016	1916016	3	kpl	(4mm SININEN)
	YHDYSKISKO GEORG-SCHLEGEL VB4-3	ONNINEN	1916044	1916044	2	kpl	2x 3kpl
	PÄÄTYLEVY WIELAND	ONNINEN	1903145	1903145	2	kpl	HAR AP WT 2,5-10
	RIVILIITIN WIELAND KEVI WT 4 PE	ONNINEN	1903167	1903167	1	kpl	MAADOITUSLIITIN WT4 PE, KeVi
KOJEET JA KENTTÄLAITTEET	LOGO! 12/24RCE LOGO! 8 AWS	SONEPAR/SLO	2714087	2714087	1	kpl	6ED1052-1MD08-0BA1
	LOGO! AM2 12/24 0BA8	SONEPAR/SLO	2702215	2702215	1	kpl	6ED1055-1MA00-0BA2
	LOGO! AM2 AQ 24 0BA8	SONEPAR/SLO	2702217	2702217	1	kpl	6ED1055-1MM00-0BA2
	LOGO!POWER 24 V / 1.3 A	SONEPAR/SLO	2702257	2702257	1	kpl	6EP3331-6SB00-0AY0
	Taajuusm. 1,1kW 400V C2 IP21	SONEPAR/SLO	3889800	3889800	1	kpl	VACON0100-3L-0003-5-HVAC
	QAP2010.150 anturi,Pt100,1.5m	SONEPAR/SLO	AAD0390	AAD0390	1	kpl	BPZ:QAP2010.150
	Lämpötilamuunnin Pt100 0 ... 150°C	ELFA DISTRELEC	301-66-941		1	kpl	MCZ PT100/3 CLP 0...150C
	Induktiivinen lähestymiskytkin IME	SICK	1040982		1	kpl	IME18-12NPSZC05
	PAINIKE JOUSIPALAUTUKSELLA MUS	SONEPAR/SLO	2321590	2321590	1	kpl	XB5AA21 MUS 1S
	PAINIKE JOUSIPALAUTUKSELLA VI	SONEPAR/SLO	2321591	2321591	1	kpl	XB5AA31 VIH 1S
	PAINIKE JOUSIPALAUTUKSELLA PUN	SONEPAR/SLO	2321595	2321595	1	kpl	XB5AA42 PUN 1A
	24V LED-Merkkivalo, Valkoinen	SONEPAR/SLO	2320280	2320280	1	kpl	XB4BVB1 VAL
MUUT	Potentiometri 10k ohm	Koulu/Tivi			1	kpl	Esim. 23ESA103MMF50NF
	RIVILIITIN PÄÄTYPURISTIN				4	kpl	
	Holkkitiiv. vedonpoist. PG 16	SONEPAR/SLO			1	kpl	
	Holkkitiiv. vedonpoist. PG 21	SONEPAR/SLO			4	kpl	
	Holkkitiiv. vedonpoist. PG 36	SONEPAR/SLO			2	kpl	
	MUTTERI,PULTTI,PRIKKA M6				10	kpl	
	MUTTERI,PULTTI,PRIKKA M5				20	kpl	
	RIVILIITIMIEN KILVET WAGO 1-50	SONEPAR/SLO			1	kpl	