

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutus

2022

Kimmo Paldanius

Aurinkopaneelien mekaanista kuorman kestoa testaavan laitteen automatisointi



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutus

2022 | 44 + 4

Kimmo Paldanius

Aurinkopaneelien mekaanista kuorman kestoa testaavan laitteen automatisointi

Tässä opinnäytetyössä automatisoidaan aurinkopaneelien mekaanisen kuormituksen kestoa testaava laite. Työ tehdään Turun ammattikorkeakoulun Uusi Energia -tutkimushankkeelle, jonka toimintaan osana kuuluu aurinkopaneelien testauspalveluiden tarjoaminen asiakkaille, esimerkiksi paneeleiden maahantuojuille. Yksi tarjotuista palveluista on paneeleiden mekaanisen kuormituksen keston testaus, joka suoritetaan tutkimusryhmän laboratoriossa tarkoitusta varten rakennetulla laitteistolla. Ennen tässä opinnäytetyössä suoritettua automatisointia laboratorion laitteistolla pystyttiin suorittamaan ainoastaan staattista testausta. Automatisointi mahdollistaa myös dynaamisen testauksen, jossa testauskuorman suunta vaihtuu halutulla taajuudella.

Automatisointi toteutettiin käyttämällä Siemens LOGO! PLC:tä ja Siemens KTP700 Basic DP HMI:tä, jotka kommunikoivat keskenään Modbus-protokollalla. Automatisoinnin lisäksi työssä uudistettiin laitteen staattisen testauksen käyttöliittymä. Testauksen aikana laitteesta kerätään tietoa kuorman suuruudesta, järjestelmässä vallitsevasta paineesta, paneelin taipumasta sekä paneelin läpikulkevasta jännitteestä.

Työn tuloksena automatisoidulla MLT-laitteella voidaan suorittaa dynaamista testausta, joka mukailee standardissa IEC TS 62782 määriteltyä testiä. Lisäksi laitteen staattisen testauksen käyttöliittymä on aiempaa intuitiivisempi. Laitteeseen jäi edelleen kehityskohteita, kuten: paineensäätö ja tiedonkeruu.

Asiasanat:

automaatio, aurinkopaneeli, HMI, Modbus, PLC, rele

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2022 | 44 + 4

Kimmo Paldanius

Automation of a mechanical load testing device for solar panels

In this thesis, a device that tests the mechanical load bearing abilities of solar panels was automated. The work was done for Turku University of Applied Sciences' New Energy research project, which includes offering solar panel testing services to customers, for example panel importers. One of the services offered is testing the mechanical load bearing abilities of solar panels, which is carried out in the research group's laboratory with purpose-built equipment. Before the automation performed in this thesis, only static testing could be performed with the laboratory's equipment. Automation also enables dynamic testing, where the direction of the test load changes at the desired frequency.

Automation was implemented using Siemens LOGO! PLC and Siemens KTP700 Basic DP HMI, which communicate with each other using the Modbus protocol. In addition to automation, the user interface of the device's static testing was renewed. During testing, information is collected from the device about the magnitude of the load, the pressure prevailing in the system, the deflection of the panel and the voltage passing through the panel.

As a result of the work, the MLT-device can perform dynamic testing, which conforms to the test defined in the standard IEC TS 62782. In addition, the user interface of the device's static testing is more intuitive than before. Areas for future development in the device: e.g., pressure control and data acquisition.

Keywords:

automation, HMI, Modbus, PLC, relay, solar panel

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	8
1 Johdanto	11
1.1 Työn tausta	11
1.2 Työn tavoite	11
1.3 Opinnäytetyön toteutus ja rakenne	12
2 Modbus-tiedonsiirtoprotokolla	13
2.1 Modbus tiedonsiirtoprotokolla	13
2.2 Modbus viestirakenne ja rekisterit	13
2.3 Modbus-tiedonsiirtoprotokollan soveltaminen tässä opinnäytetyössä	14
3 Suunnitelma automatisoinnin toteuttamiseksi	15
3.1 MLT-laitteen toiminnan kuvaus yleisesti ennen automatisointia	15
3.2 Laitteiston sähköinen toiminnallisuus ennen automatisointia	19
3.3 Laitteelta vaaditut ominaisuudet	20
3.4 Suunnitelma MLT-laitteeseen tehtävistä muutostöistä	20
4 Automatisoinnissa käytetyt komponentit ja ohjelmistot	22
4.1 Ohjelmoitava logiikka: Siemens LOGO ja LOGO!Soft Comfort	22
4.2 Liitäntärele ja relekanta: 2 x Schneider Electric RXG12BD ja 2 x RGZE1S35M	23
4.3 HMI-paneeli: Siemens KTP700 Basic DP ja TiaPortal -ohjelmisto	24
4.4 Yhdyskäytävä: Moxa Mgate MB3180 ja Mgate Manager -ohjelma	25
5 Automatisoinnin toteutus	26
5.1 Kytkenät ja asennukset	26
5.2 Logiikan ohjelmointi LOGO!Soft Comfort -ohjelmalla	29
5.3 HMI:n ohjelmointi TiaPortal-ohjelmistolla	31
5.4 HMI:n ja PLC:n välisen yhteyden määrittäminen	33
6 Automatisoidun laitteiston käyttö	35
6.1 Päävirran kytkentä	35

6.2 Staattinen testaus käyttämällä alempaa nokkakytä	35
6.3 HMI-käyttöliittymä	36
6.3.1 Aloitusnäyttö: testausmoodin valinta	36
6.3.2 Välilehdet testauksen aikana	36
7 Yhteenveto	39
Lähteet	42

Liitteet

Liite 1. MLT-laitteen sähkökaavio automatisoinnin jälkeen

Liite 2. LOGO! PLC:n ja KTP700 HMI:n välinen
osoiteavaruusvastaavuustaulukko.

Liite 3. Automatisoinnissa käytetty LOGO! PLC:n ohjelma FBD-
ohjelmointikielellä LOGO!Soft Comfort -ohjelmassa.

Liite 4. Automatisoidun MLT-laitteen HMI-käyttöliittymän näytöt.

Kuvat

Kuva 1. Sarjaliikenne ja TCP/IP-pohjaisen Modbus viestirakenteen ero. (Acromag 2005, 4.)	14
Kuva 2. Aurinkopaneeli testauksessa MLT-laitteessa, alaspäin kuormitettuna.	15
Kuva 3. Alipaineen imukupeille tuottava vakuumipumppu.	16
Kuva 4. MLT-laitteen käyttötaulu ennen automatisointia, keskeiset osat merkittyinä.	16
Kuva 5. Testauksissa käytetyt sensorit. Vasemmalla painesensori, keskellä siirtymäsensori(taipuma), oikealla jännitemittari.	17
Kuva 6. ALMEMO-tiedonkeruuyksikkö ja näkymä tietokoneelle puretusta datasta.	17
Kuva 7. Kuvan alaosassa ruskean värinen vanerinen vaakasilta.	18

Kuva 8. Vaakasillan oikean etukulman venymäliuska-anturi.	18
Kuva 9. MLT-laitteen sähkökaavio ennen automatisointia.	19
Kuva 10. Vasemmalla Siemens LOGO!. Oikealla FBD-ohjelmointikieltä: kaksi tuloa, OR-funktioblokki ja yksi lähtö.	22
Kuva 11. Vasemmalla rele ja relekanta erillään. Oikealla releet asennettuina relekantaan.	23
Kuva 12. Vasemmalla RXG12BD-releen kytkentäkaavio. Oikealla RGZE1S35M-relekannan kytkentäkaavio.	23
Kuva 13. Siemens KTP700 Basic DP HMI-paneeli ja sen keskeisimmät liitännät.	24
Kuva 14. Kuvassa Moxa MGate MB3180 yhdyskäytävä.	25
Kuva 15. Alempana MLT-laitteen käyttötaulu ennen automatisointia. Ylempänä piirros, jos näkyy automatisoinnille varattu tila. (Fräntti 2019, 49.)	26
Kuva 16. Laitteiston käyttötaulun komponentit muutostöiden jälkeen.	26
Kuva 17. Moduulikotelon sisälle asennetut komponentit vasemmalta: releet, LOGO! ja yhdyskäytävä. Asennuskiskon oikeassa reunassa riviliittimet, joissa 24 V jännite ja maa.	27
Kuva 18. Ote liitteen 1 sähkökaaviosta, merkittynä 24 V jännitteisiin kytkentöihin tehdyt muutokset.	28
Kuva 19. Ote liitteen 1 sähkökaaviosta, merkittynä 230 V:n jännitteisiin kytkentöihin tehdyt muutokset.	28
Kuva 20. DB9 liittimien nastajaot. Vasemmalla kuvakaappaus Siemens HMI:n ja oikealla Moxa yhdyskäytävän ohjekirjasta. (Siemens 2021, 118.) (Moxa 2022b, 35.)	29
Kuva 21. Vasemmalla kaavio havainnollistaa sekvenssin vaiheita. Oikealla ohjelman koodi FBD-kielellä, jossa sinisellä suorakulmiolla merkityn sekvenssin ulkopuolelle jäävillä osilla hallitaan sekvenssin toistoa eli ohjelman päätiloja.	30
Kuva 22. LOGO!Soft Comfort -ohjelmassa funktioblokeille ja niiden sisäisille muuttujille määritetyt VM-osoitteet.	31
Kuva 23. HMI:n lisääminen TiaPortal-ohjelmistossa	31
Kuva 24. LOGO!n VM-osoitteita vastaavat Modbus-protokollan osoitteet esitettynä LOGO!Soft Comfort -ohjelmassa.	32

Kuva 25. Osa luoduista HMI-tageista listattuna TiaPortal-ohjelmassa. Oikeassa reunassa tagille määritetty Modbus-protokollan osoite.	33
Kuva 26. HMI:n ja yhdyskäytävän välisen Modbus RTU -yhteyden konfiguroinnin kannalta tärkeitä asetuksia Tia Portal – ja Mgate Manager -ohjelmissa	34
Kuva 27. PLC:n ja yhdyskäytävän välisen Modbus TCP/IP -yhteyden kannalta tärkeitä asetuksia MGate Manager – ja LOGO!Soft Comfort -ohjelmissa	34
Kuva 28. Päävirran kytkemiseen tarvittavat kytkimet. Keltaisella merkityt ovat järjestyksessä vasemmalta oikealle F1, S2, S3 ja S4. Punaisella merkitty on S1 eli Kill Switch -kytkin.	35
Kuva 29. Vasemmalla ylempi nokkakytkin A-asennossa. Oikealla HMI:n aloitusnäyttö, josta valitaan joko staattinen tai dynaaminen testaus.	36
Kuva 30. Vasemmalla hälytyslokiin tallentuvat kuusi hälytystä ja mitä ne tarkoittavat. Oikealla hälytyslokin esittävä Loki-välilehti dynaamisessa testausmoodissa.	37
Kuva 31. Vasemmalla dynaamisen testausmoodin testausasetukset-välilehti, oikealla staattisen testausmoodin.	37
Kuva 32. Vasemmalla dynaamisen testausmoodin testaus-välilehti, oikealla staattisen testausmoodin.	38

Taulukot

Taulukko 1 Modbus protokollan rekisterityypit.	14
--	----

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

BOOL-muuttuja	Ohjelmoinnissa käytetty Boolean-tyyppinen muuttuja, joka voi saada joko arvon TRUE tai FALSE (Jyväskylän yliopisto 2022).
Client(master)-laite	Tietoja pyytävä/kirjoittava laite Modbus TCP/IP -protokollassa (Modbus Organization 2012, 4).
CO-kosketin	Change Over. Relekosketin/kytkin, joka voidaan johdottaa toimivaksi joko NO- tai NC-koskettimena. (Scherf 2017).
DB9-liitin	Yleinen liitintyyppi, joka kuuluu ns. D-sub -liittämiin, jotka saavat nimensä niiden D:n muotoisesta metallisesta kuoresta. DB9-liittimessä on yhdeksän liitäntänastaa. (Elfa Distrelec 2022.)
Dynaaminen testaus	Testausta, jossa kuorman suunta/voimakkuus vaihtuu halutulla taajuudella.
DWord-muuttuja	Double Word. Ohjelmoinnissa käytetty muuttujatyyppi, jonka koko on 32 bittiä. Jokaisen bitin ollessa boolean-tyypin muuttuja, voi DWORD-muuttuja saada kokonaislukuarvot välillä 0–4294967295. (Microsoft 2022.)
FBD	Function Block Diagram. Graafinen ohjelmointikieli, jossa ohjelman toiminta esitetään signaaleina (binaarinen tai analoginen), jotka kulkevat signaaleita käsittelevien funktioblokkien kautta. (Siemens 2018, 15.)

Funktioblokki	FBD-ohjelmointikielen elementti, joka käsittelee siihen tulevia signaaleita. Usein esimerkiksi Boolean-operaattori kuten OR, AND tai NOT. (Siemens 2018, 15.)
HMI	Human Machine Interface. Graafisella käyttöliittymällä varustettu laite, jonka avulla käyttäjä eli ihminen voi seurata/hallita koneita ja prosesseja (Siemens 2021, 131).
HMI-tag	Määritelty muistipaikka, johon voidaan kirjoittaa ja josta voidaan lukea arvoja. Tämä voidaan tehdä joko PLC:stä tai HMI:stä. (Siemens 2021, 133.)
MLT-laite	Mechanical Load Tester. Termi on luotu tätä opinnäytetyötä varten ja sillä viitataan tässä opinnäytetyössä automatisoitavaan laitteistoon.
MPI	Multi-Point Interface. Siemensin SIMATIC S7 PLC:issä käyttämä tiedonsiirto-protokolla/rajapinta (Siemens 2006, 7.)
NC-kosketin	Normally Closed. Relekosketin/kytkin, joka on kiinni, kun releen kela ei ole jännitteellinen (Scherf 2017).
NO-kosketin	Normally Open. Relekosketin/kytkin, joka on auki, kun releen kela ei ole jännitteellinen (Scherf 2017).
OSI-malli	Open System Interconnection Architecture. Tietoliikennejärjestelmien suunnittelustandardi, jossa on seitsemän kerrosta, joissa eri tiedonsiirto-protokollat toimivat: alimmat kerrokset käsittelevät sähköisiä signaaleja ja binääridataa, ylimmät kerrokset verkkopyyntöjä ja tietojen näyttämistä käyttäjälle. (Techopedia 2020.)

PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka, joka hallitsee lähtöjensä tiloja siihen ohjelmoidun ohjelman mukaan. Logiikoissa on usein myös tuloja, joiden tilat vaikuttavat ohjelman toimintaan. Logiikoita käytetään teollisuudessa esimerkiksi valmistuskoneissa ja kuljetinhihnoissa. (Young 2009.)
PROFIBUS	Kenttäväyläpohjainen automaatiostandardi, jossa yhden väyläkaapelin avulla voidaan yhdistää ohjain, esim. PLC, useisiin hajautettuihin kenttälaitteisiin, esim. antureihin tai toimilaitteisiin. (PROFIBUS 2022.)
PV-panel	Photovoltaic panel. Muuttaa auringon säteilyn eli valon sähköksi. Paneeli koostuu useista yksittäisistä soluista eli kennoista, jotka on yleensä valmistettu piistä. Paneelin sähköntuottokyky perustuu piin puolijohdeominaisuuksiin. (Käpylehto 2022.)
Server(slave)-laite	Toimittaa ja muokkaa tietoja ainoastaan Client-laitteen pyynnöstä Modbus-protokollassa (Modbus Organization 2012, 4).
Staattinen testaus	Testausta, jossa kuorman suuruus ja voima eivät muutu.
RJ45-kaapeli	"RJ45-kaapeli tai Ethernet-kaapeli on perinteinen verkkokaapeli, jolla yhdistetään tietokoneet, tulostimet sekä muut kodin laitteet verkkoon." (Biltema 2022.)
Venymäliuska-anturi	Materiaalin muodonmuutosta eli venymää mittaava anturi, joka perustuu resistanssin muutokseen. Tuntemalla materiaalin kimmokerroin voidaan laskea voiman suuruus. (KYOWA n.d.)

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyö tehtiin Turun Ammattikorkeakoulun Uusi Energia - tutkimushankkeelle, joka on keskittynyt kestävien energiatuotantoratkaisuiden tutkimukseen ja kehitykseen. Osa tutkimushankkeen toimintaa on tarjota aurinkopaneeleiden testauspalveluja asiakkaille, esimerkiksi paneelien maahantuojuille. Yksi tarjotuista palveluista on aurinkopaneelien mekaanisen kuorman kestävyys testaus. (Turun Ammattikorkeakoulu 2022.)

Paneelien mekaanisen kuorman kestoa testataan Uusi Energia - tutkimushankkeen laboratoriossa MLT-laitteella, joka on rakennettu Miikka Fräntin opinnäytetyönä vuonna 2019. Laitteella pystyttiin ennen tässä opinnäytetyössä toteutettua automatisointia suorittamaan ainoastaan staattista testausta, missä kuorma kohdistetaan paneelille kohtisuoraan joko alaspäin painavana tai ylöspäin vetävänä. Tutkimusryhmä oli kiinnostunut, voitaisiinko laitteella automatisoinnin avulla toteuttaa myös dynaaminen testaus, missä kuorman suunta vaihtuu halutulla taajuudella.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää MLT-laitetta niin, että sillä voidaan suorittaa myös dynaamista testausta. Selvää oli, että dynaamisen testauksen mielekäs toteuttaminen vaatii laitteen automatisointia.

Automatisointi oli tavoitteena toteuttaa mahdollisimman matalakustanteisesti, pyrkien käyttämään Uusi Energia -tutkimusryhmän laboratoriosta löytyviä komponentteja.

1.3 Opinnäytetyön toteutus ja rakenne

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla laitteiston toimintaan. Seuraavaksi määritettiin, millaisia ominaisuuksia automatisoinnilla on tarkoitus saavuttaa, jonka jälkeen laadittiin suunnitelma työn toteuttamisesta. Suunnitelman valmistuttua aloitettiin työn käytännön toteutus, jota pyrittiin samanaikaisesti myös dokumentoimaan mahdollisimman hyvin.

Kappale 2 on opinnäytetyön teoriaosuus, jossa tutustutaan tarkemmin Modbus-tiedonsiirtoprotokollaan, jota käytetään työssä HMI:n ja PLC:n välisen tiedonsiirron toteuttamiseen.

Kappaleessa 3 tutustutaan laitteen toimintaan ja esitetään suunnitelma laitteen automatisoimiseksi. Kappaleessa 4 on esitelty laitteen automatisoinnissa käytetyt keskeisimmät komponentit ja niiden konfigurointiin liittyvät ohjelmistot.

Kappaleessa 5 on kuvattu laitteen automatisoinnin toteutus käytännössä.

Kappaleessa 6 on kerrottu, miten laitteistoa käytetään automatisoinnin jälkeen.

2 Modbus-tiedonsiirtoprotokolla

2.1 Modbus-tiedonsiirtoprotokolla

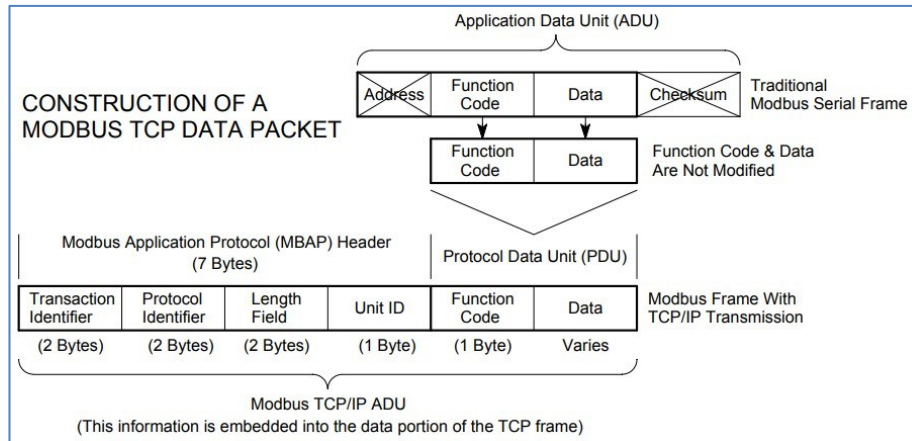
Modbus on vuonna 1979 Modicon:in kehittämä ja julkaisema viestintäprotokolla, joka sijaitsee OSI-mallin tasolla 7. sovelluskerroksessa (Modbus Organization 2012, 2). Modbus on yksinkertaisesti viestirakenne, joka määrittelee säännöt tietojen järjestämiselle ja tulkinalle (Schneider Electric 2022). Alun perin Modbus on kehitetty sarjaliikennepohjaiseen tiedonsiirtoon, mutta Modbus TCP/IP mahdollistaa myös Ethernet-pohjaisen tiedonsiirron (Acromag 2005, 3–4). Sarjaliikennepohjaiseen tiedonsiirtoon pohjautuvat Modbus-protokollat ovat Modbus RTU ja Modbus ASCII. Tyypillisesti Modbus-protokollaa käytetään yhdistämään kenttälaitteet valvomoon tai muuhun tiedonkeruujärjestelmään (Schneider Electric 2022).

Modbus-laitteiden välinen kommunikointi perustuu client-server-arkkitehtuuriin, jossa ainoastaan client-laitteet voivat aloittaa yhteydenpidon. Server-laitteet ainoastaan vastaavat client-laitteelta tulleeeseen pyyntöön tai toimivat server-laitteelta tulleen käskyn mukaan. (Acromag 2005, 13.)

2.2 Modbus-viestirakenne ja -rekisterit

Jotta server-laitteet tietävät, mitkä client-laitteen lähettämät viestit kuuluvat juuri sille ja mitä toimia server-laitteelta vaaditaan, on viestien rakenne tarkkaan määriteltä. Server-laitteet säilyttävät tietoja tilastaan rekistereissä, joita client-laitteet voivat lukea tai kirjoittaa. (Modbus Organization 2012, 4–6.)

Sarjaliikennepohjaisessa tiedonsiirrossa Modbus-viestit koostuvat osoitekentästä, tehtävän määrittelevästä funktiokoodista, datasta ja virheen tarkistus kentästä. Käytettäessä Modbus TCP/IP-protokollaa eroaa viestin rakenne siten, että TCP/IP-protokolla huolehtii osoitekentästä ja virheentarkistuksesta. (Kuva 1.) (Acromag 2005, 4.)



Kuva 1. Sarjaliikenne ja TCP/IP-pohjaisen Modbus viestirakenteen ero. (Acromag 2005, 4.)

Modbus-protokollassa server-laitteiden tieto on tallennettu neljään erityyppiseen rekisteriin. Client-laite voi kirjoittaa tai lukea Coil ja Holding register -tyypin rekistereitä. Discrete Input - ja Input Register -tyypin rekistereitä Client-laite pystyy ainoastaan lukemaan. (Modbus Organization 2012, 6.) (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Modbus-protokollan rekisterityypit.

Rekisterityyppi	Sallitut toimet	Koko	Rekisterien nro/määrä
Coil	luku ja kirjoitus	1 bitti	1–9999
Discrete Input	vain luku	1 bitti	10001–19999
Input Register	vain luku	16 bittiä	30001–39999
Holding Register	luku ja kirjoitus	16 bittiä	40001–49999

2.3 Modbus-tiedonsiirtoprotokollan soveltaminen tässä opinnäytetyössä

Tässä opinnäytetyössä käytetty Siemens LOGO! PLC ja KTP700 HMI kommunikoivat keskenään käyttämällä Modbus-tiedonsiirtoprotokollaa. LOGO! tukee Modbus TCP/IP -protokollaa ja KTP700 Modbus RTU -protokollaa. Laitteiden väliin tarvitaan lisäksi yhdyskäytävä, joka mahdollistaa liikennöinnin protokollien välillä.

3 Suunnitelma automatisoinnin toteuttamiseksi

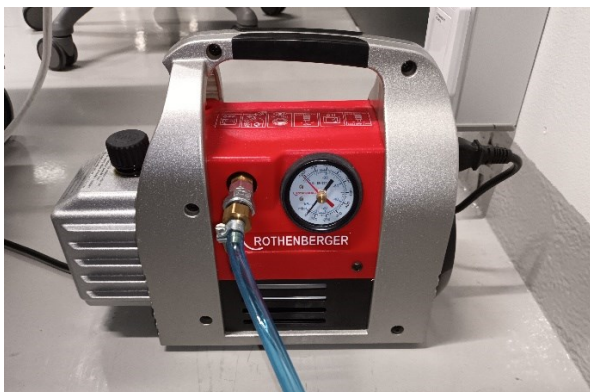
3.1 MLT-laitteen toiminnan kuvaus yleisesti ennen automatisointia

MLT-laitteessa on 12 paineilmasylinteriä, jotka kiinnittyvät aurinkopaneelin lasiseen etupintaan imukupeilla ja kohdistavat testausvoiman paneelille. Sylintereitä ohjataan joko ylös- tai alaspäin, ja niiden paneelille kohdistamaa voimaa säädetään säätämällä sylintereissä vallitsevaa painetta. (Kuva 2.)



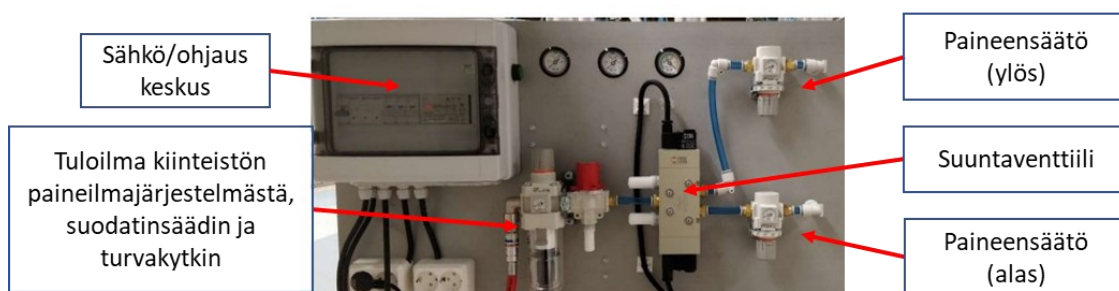
Kuva 2. Aurinkopaneeli testauksessa MLT-laitteessa, alaspäin kuormitettuna.

Laitteessa on kaksi erillistä paineilmajärjestelmää: sylintereitä liikuttava paineilmajärjestelmä ja alipainejärjestelmä, jonka avulla imukupit kiinnittyvät paneelin pintaan mahdollistaen ylöspäin suuntautuvan testauksen. Sylintereitä liikuttava paineilma tulee kiinteistön paineilmajärjestelmästä. Imukuppien tarttumiseen tarvittava alipaine tuotetaan erillisellä vakuumipumpulla (Kuva 3).



Kuva 3. Alipaineen imukupeille tuottava vakuumipumppu.

Keskeinen osa laitteen toimintaa on magneettinen suuntaventtiili, jolla ohjataan testausvoiman suuntaa: sylinterit ylös tai alas. Testausvoiman suuruutta säädetään suuntaventtiilin jälkeen tulevilla paineensäätöventtiileillä. Ennen suuntaventtiiliä on suodatinsäädin, joka suodattaa kiinteistön paineilmajärjestelmästä tulevaa ilmaa ja rajoittaa suuntaventtiilille tulevaa painetta. Suodatinsäätimen jälkeen on turvakytin, jonka avulla voidaan erottaa kiinteistön ja MLT-laitteen paineilmajärjestelmät toisistaan. (Kuva 4.)

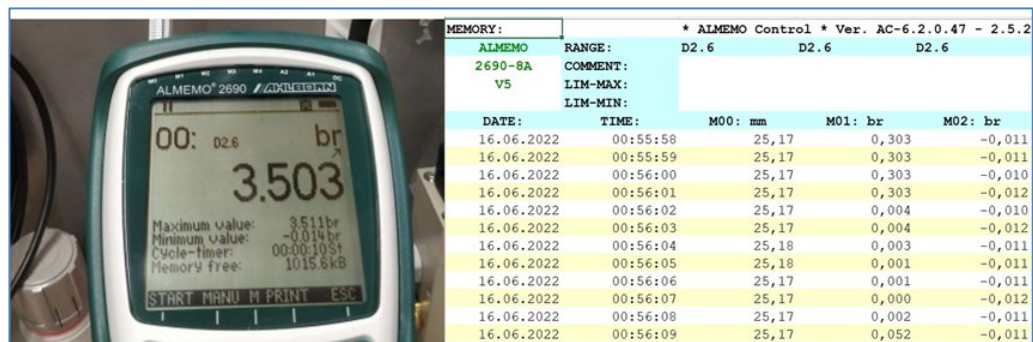


Kuva 4. MLT-laitteen käyttötaulu ennen automatisointia, keskeiset osat merkittyinä.

Sylintereissä vallitsevaa painetta eli testausvoiman suuruutta mitataan kahdella painesensorilla. Lisäksi mitataan paneelin läpikulkevaa jännitettä ja taipumaa. Mitatut tiedot tallennetaan ALMEMO-tiedonkeruuyksikköön, josta ne voidaan purkaa tietokoneelle. (Kuva 4.) (Kuva 5.)

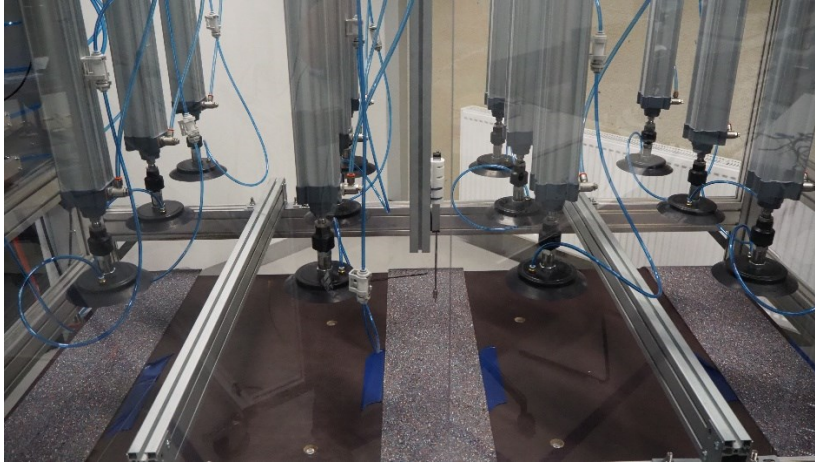


Kuva 5. Testauksissa käytetyt sensorit. Vasemmalla painesensori, keskellä siirtymäsensori(taipuma), oikealla jännitemittari.



Kuva 6. ALMEMO-tiedonkeruuyksikkö ja näkymä tietokoneelle puretusta datasta.

MLT-laitteessa on lisäksi vaakasilta, jolla voidaan varmistaa, että paineilmasylinterit tuottavat oikean suuruisen ja tasaisesti jakaantuneen voiman. Vaakasillan pinta on vaneria, johon asetetaan tai kiinnitetään paneelin kiinnitystelineet, jotka siis oikeassa asennuksessa tulisivat esimerkiksi talon katolle. Vaneri on kiinnitetty alumiinikehikkoon, joka on kiinnitetty neljään venymäliuska-anturiin. Venymäliuska-antureiden tiedot kerätään HBM-tiedonkeruuyksiköllä. Vaakasillalla voidaan mitata ainoastaan alaspäin suuntautuvaa voimaa. (Kuva 6.) (Kuva 7.)

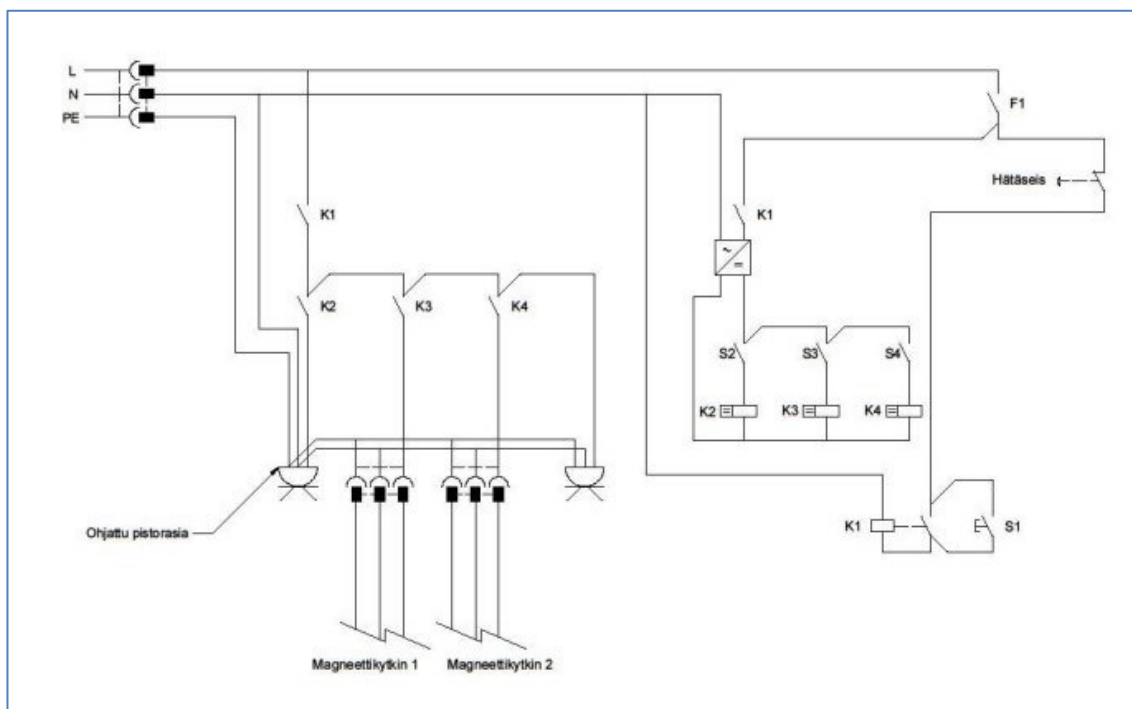


Kuva 7. Kuvan alaosassa ruskean värinen vanerinen vaakasilta.



Kuva 8. Vaakasillan oikean etukulman venymäliuska-anturi.

3.2 Laitteiston sähköinen toiminnallisuus ennen automatisointia



Kuva 9. MLT-laitteen sähkökaavio ennen automatisointia.

Seuraavassa on laitteiston toiminnan kuvaus ennen automatisointia (Kuva1):

- 1) Kytetään päävirtakytkin F1 ja painetaan Kill Switch -kytkintä S1.
 - rele K1 vetää → 24 V virtalähde käynnistyy, releohjatut kytkimet K2, K3, K4 ja niiden releitä ohjaavat kytkimet S2, S3, S4 tulevat jännitteiseiksi
- 2) Sylintereitä ohjataan ylöspäin tai alaspäin kytkimillä S3 ja S4
 - S3:n ollessa kytkettynä: rele K3 vetää → suuntaventtiilin kytketty magneettikytkin aktivoi suuntaventtiilin asentoon, missä suuntaventtiilin kautta kulkeva paineilma ajaa sylintereitä **ylöspäin**
 - S4:n ollessa kytkettynä: rele K4 vetää → suuntaventtiilin kytketty magneettikytkin aktivoi suuntaventtiilin asentoon, missä suuntaventtiilin kautta kulkeva paineilma ajaa sylintereitä **alaspäin**

- S3:n ja S4:n ollessa samanaikaisesti kytkettynä: releet K3 ja K4 vetävät → suuntaventtiiliin jää keskiasentoon, eikä paineilma pääse kulkemaan sylintereille

3.3 Laitteelta vaaditut ominaisuudet

MLT-laite oli rakennettu niin, että sillä on mahdollista suorittaa standardin SFS 61215-2:2017 laadunvarmistustesti numero 16, jossa testataan aurinkopaneelien kestoa staattisella mekaanisella kuormalla. (Fräntti 2019, 74.)

Standardisarjassa SFS 61215 on myös esitelty laadunvarmistustesti numero 20, jossa testataan aurinkopaneelin kestoa syklisellä, eli dynaamisella, mekaanisella kuormalla. Suunnittelun lähtökohdaksi otettiin, että laitteella pystyttäisiin suorittamaan kyseinen dynaaminen testi. Standardisarjassa SFS 61215 ei kuitenkaan kerrota tarkemmin, millä tavoin dynaaminen testaus tulisi suorittaa, vaan siinä viitataan erilliseen standardiin IEC TS 62782.

Standardissa IEC TS 62782 määritelty dynaaminen testi suoritetaan 1000 Pa kuormalla, jolle sallitaan ± 100 Pa vaihteluväli. Testin kesto on 1000 sykliä, yhden syklin tarkoittaessa kuorman kohdistusta kerran alaspäin ja kerran ylöspäin. Sykli toistetaan 3–7 kertaa minuutin aikana.

Suunnitteluvaiheessa päädyttiin ratkaisuun, että pelkkä testauskuorman suunnanvaihdon automatisointi riittää. Testauskuorman suuruutta eli järjestelmän ilmanpainetta tulisi jatkokssakin säätämään manuaalisesti. Perusteina ratkaisulle olivat elektronisesti ohjattujen, automaattisen paineensäädön mahdollistavien proportionaaliventtiilien korkea hinta ja kokemuksen puute niiden asentamisesta ja käytöstä.

3.4 Suunnitelma MLT-laitteeseen tehtävistä muutostöistä

Ennen automatisointia paineilmasuuntaventtiilin asennon ohjaus on toteutettu tekemällä magneettikytkin 1 tai 2 jännitteiseksi käyttötaulun kytkimestä K3 tai

K4. Dynaamisen testauksen mahdollistamiseksi tulee paineilmasuuntaventtiilin asentoa hallita ohjelmallisesti, mikä toteutetaan käyttämällä LOGO! PLC:tä. LOGO! PLC:llä ohjataan kahta relettä, jotka sijoitetaan K3 ja K4 kytkinten jälkeen eli kytkinten tulee olla suljettuina käytettäessä PLC-ohjausta. Kytkimet K3 ja K4 tulevat jatkossa toimimaan ikään kuin päävirtakytkiminä. Automatisoinnin yhteydessä uudistetaan myös staattisen testauksen käyttöliittymä, mikä toteutetaan vipukytkimellä.

Käyttötauluun lisätään kaksi vipukytöntä, joista ensimmäisellä valitaan, hallitaanko paineilmasuuntaventtiilin asentoa LOGO!:n kautta vai toisen vipukytkimen kautta. Ensimmäinen vipukytin saa jännitteen 24V virtalähteeltä. Jos ensimmäinen vipukytin on K-asennossa, on toinen vipukytin jännitteinen. Toisen vipukytkimen ollessa käännettynä 1-asentoon, vetää rele, joka kytkee magneettikytkimen 1 jännitteiseksi. Toisen vipukytkimen ollessa käännettynä 2-asentoon, vetää rele, joka kytkee magneettikytkimen 2 jännitteiseksi. Ensimmäisen vipukytkimen ollessa A-asennossa tapahtuu releiden ohjaus LOGO!:n kautta.

LOGO! PLC ohjelmoidaan suorittamaan dynaamista testausta ja siihen yhdistetään Siemens KTP700 Basic DP -HMI-paneeli, joka toimii dynaamisen testauksen käyttöliittymänä. HMI-paneelistä laitteen käyttäjä voi käynnistää ja pysäyttää testauksen sekä muuttaa testausasetuksia.

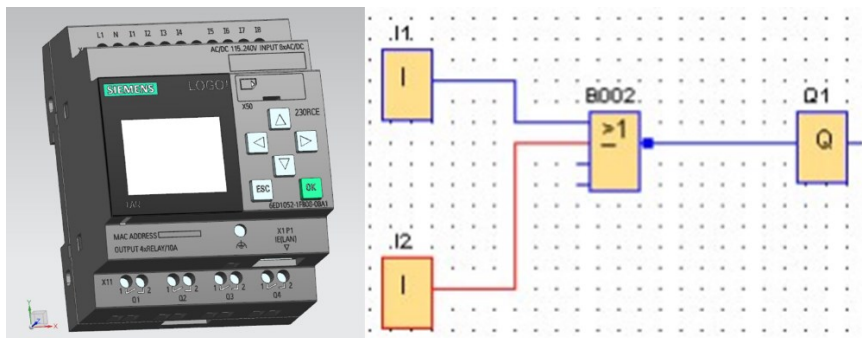
4 Automatisoinnissa käytetyt komponentit ja ohjelmistot

4.1 Ohjelmoitava logiikka: Siemens LOGO ja LOGO!Soft Comfort

LOGO! on Siemensin valmistama ohjelmoitava logiikka -tuoteperhe, joka on tarkoitettu pääasiassa pienien automatisointiprojektien toteuttamiseen niin kotitalouksissa kuin teollisuudessa. LOGO!-n avulla voidaan ohjata esimerkiksi: valaistusta, ilmanvaihtoa, kulkuportteja, kuljetinhihnoja ja pumppuja. (Siemens 2022, 14.)

LOGO! tukee enimmäkseen, riippuen valitusta perusmoduulista ja siihen liitetystä laajennusmoduuleista, 24 digitaalista tuloa, 8 analogista tuloa, 20 digitaalista lähtöä ja 8 analogista lähtöä. LOGO!-n perusmoduulit on varustettu RJ45-liitännällä, jonka välityksellä laite kommunikoi TCP/IP-pohjaisesti SIMATIC S7 tai Modbus tiedonsiirtoprotokollilla. (Siemens 2022, 16.)

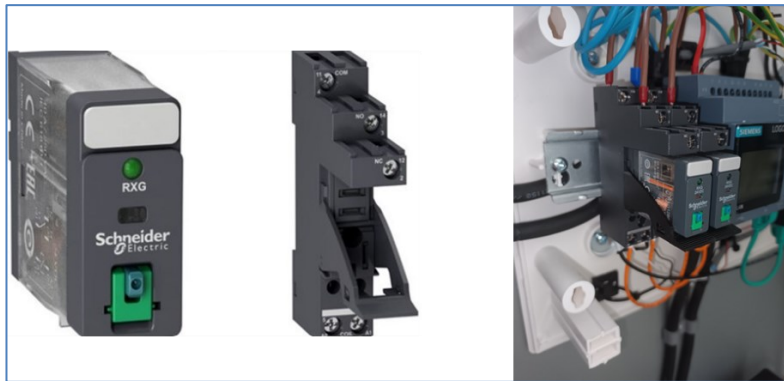
LOGO!-n ohjelmointiin käytetään LOGO!Soft Comfort -ohjelmistoa, jossa ohjelmointikieleksi voidaan valita FBD eli Function Block Diagram tai LD eli Ladder Diagram. Tässä opinnäytetyössä käytetään FBD-ohjelmointikieltä. FBD on graafinen ohjelmointikieli, joka perustuu erilaisiin funktioblokkeihin (Kuva 3). Funktioblokilla on yleensä tulo- ja lähtösignaali. Lähtösignaalin arvo riippuu tulosignaaleista ja funktioblokin konfiguroinnista. LOGO!Soft Comfort -ohjelmistossa blokkien maksimimäärä on 400. (Siemens 2022a, 20–23.)



Kuva 10. Vasemmalla Siemens LOGO!. Oikealla FBD-ohjelmointikieltä: kaksi tuloa, OR-funktioblokki ja yksi lähtö.

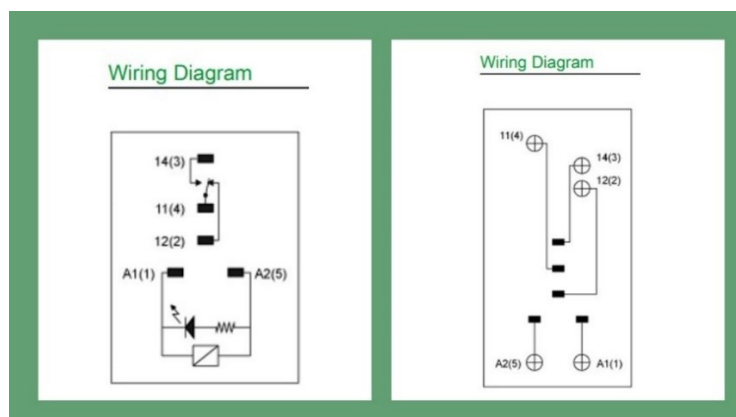
4.2 Liitântärele ja relekanta: 2 x Schneider Electric RXG12BD ja 2 x RGZE1S35M

MLT-laitteessa paineilmasylintereitä ohjaavan suuntaventtiilin asentoa hallitaan 230 V:n magneettikytkimillä. Automatisoinnissa laitteeseen lisätään kaksi RXG12BD releitä, joiden kautta 230 V:n jännite kytketään magneettikytkimille. Rele kiinnitetään RGZE1S35M relekantaan.



Kuva 11. Vasemmalla rele ja relekanta erillään. Oikealla releet asennettuina relekantaan.

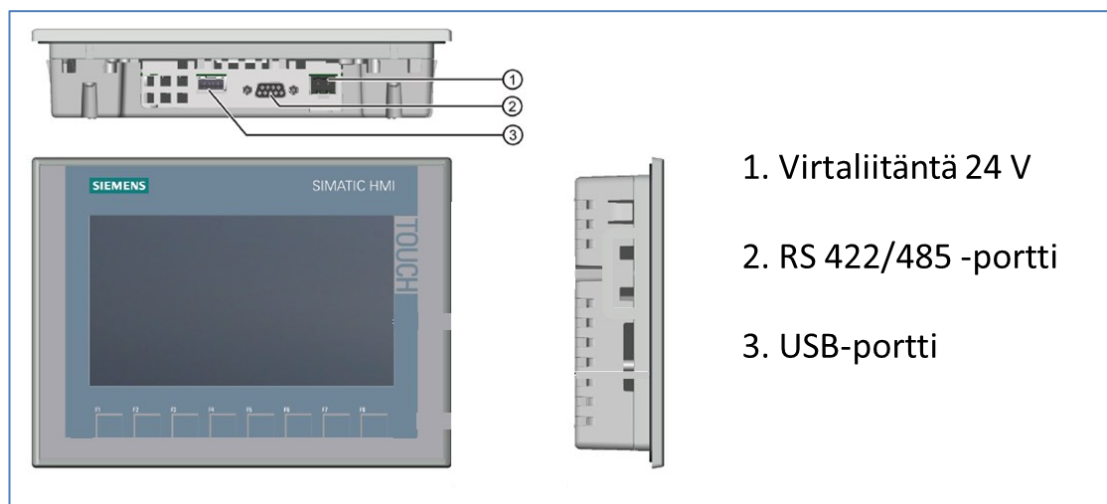
RXG12BD-releessä on yksi CO-kosketin, jonka avulla voidaan kytkeä maksimissaan 10 ampeeria 250 V:n vaihtovirtaa tai 30 V:n tasavirtaa. CO-kosketin vaihtaa tilaansa, kun releen kelalle johdetaan 24 V:n jännite. Kaikki liitännät/johdotukset tehdään RGZE1S35M-relekannan ruuviliitäntöihin.



Kuva 12. Vasemmalla RXG12BD-releen kytkentäkaavio. Oikealla RGZE1S35M-relekannan kytkentäkaavio.

4.3 HMI-paneeli: Siemens KTP700 Basic DP ja TiaPortal -ohjelmisto

MLT-laitteen dynaamisen testauksen käyttöliittymä toteutetaan KTP700 Basic DP HMI-paneelilla, joka on tarkoitettu pienten ja keskikokoisten koneiden toiminnan operointiin ja visualisointiin (Siemens 2021, 11). Paneelissa on 7-tuuman ja 65536 värin LCD TFT näyttö, jonka resoluutio on 800x480. Paneelin syöttöjännite on 24V ja sen tyypillinen keskimääräinen virrankulutus on n. 230 mA. Paneelissa on yksi RS 422/RS 485 liitäntä, jonka kautta paneeli voi kommunikoida MPI, PROFIBUS ja MODBUS RTU protokollilla. (Siemens 2021, 144–115.)



Kuva 13. Siemens KTP700 Basic DP HMI-paneeli ja sen keskeisimmät liitännät.

Paneeli konfiguroidaan käyttämällä TIA Portal -ohjelmiston kuuluvaa WinCC-ohjelmaa. Erilaisia näyttöjä, kuten liitteessä 4, voidaan ohjelmassa luoda 250 kappaletta. Yhteen näyttöön voidaan sisällyttää maksimissaan 100 tagia eli muuttujaa, ja yhteensä tageja voi olla 800 kappaletta. (Siemens 2021, 120–121.)

4.4 Yhdyskäytävä: Moxa Mgate MB3180 ja Mgate Manager -ohjelma

Moxa MGate MB3180 yhdyskäytävä mahdollistaa kommunikaation Modbus RTU – ja Modbus TCP/IP -tiedonsiirtoprotokollien välillä. Yhdyskäytävää tarvitaan automatisoinnissa KTP700 HMI-paneelin ja LOGO! PLC:n väliseen kommunikaatioon.



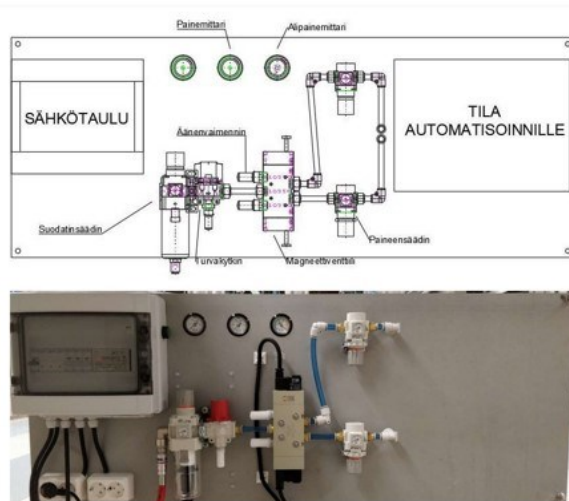
Kuva 14. Kuvassa Moxa MGate MB3180 yhdyskäytävä.

MB3180-laitteessa on yksi RJ45 portti ja yksi DB9 uros liitäntä, joka mahdollistaa kommunikoinnin RS-232/422/485 sarjaliikenneprotokollilla. RS-232 ja -422 protokollat sallivat vain yhden laitteen liitettäväksi DB9 liitäntään. RS-485 käytettäessä voi liittää 31 laitetta. (Moxa 2022b, 36.) TCP client-laitteita voi olla samanaikaisesti 16 ja RTU slave-laitteita 31. RTU master-laitteita voi olla Modbus RTU -protokollan määrittämien rajoitusten mukaan vain yksi, milloin yhdyskäytävä tukee 32 TCP server-laitetta. (Moxa 2022a, 1.)

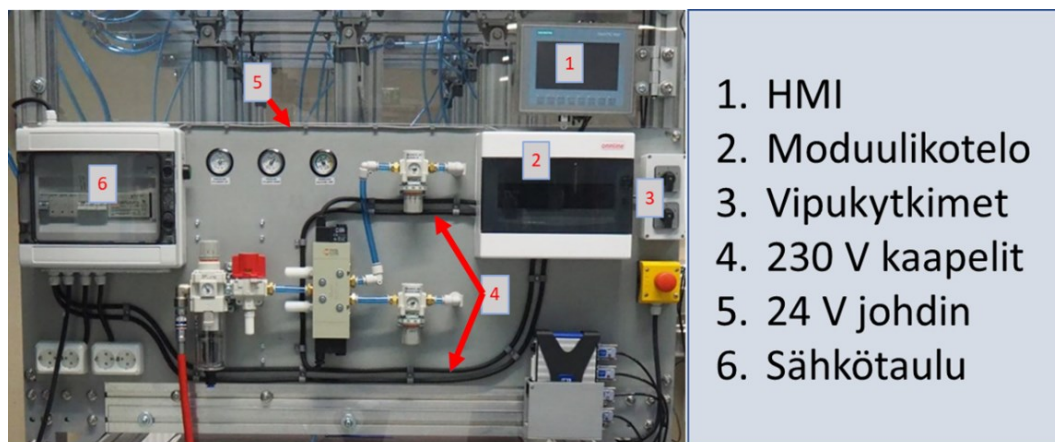
5 Automatisoinnin toteutus

5.1 Kytkenöt ja asennukset

Automatisoinnissa käytetyt komponentit asennettiin laitteen vasempaan pätyyn, metalliseen käyttötauluun, johon niille oli MLT-laitteen rakentamisvaiheessa varattu tila. Kuvassa 15 on esitetty MLT-laitteen käyttötaulu ennen automatisointia. (Fräntti 2019, 49.) Kuvassa 16 käyttötaulu automatisoinnin jälkeen.

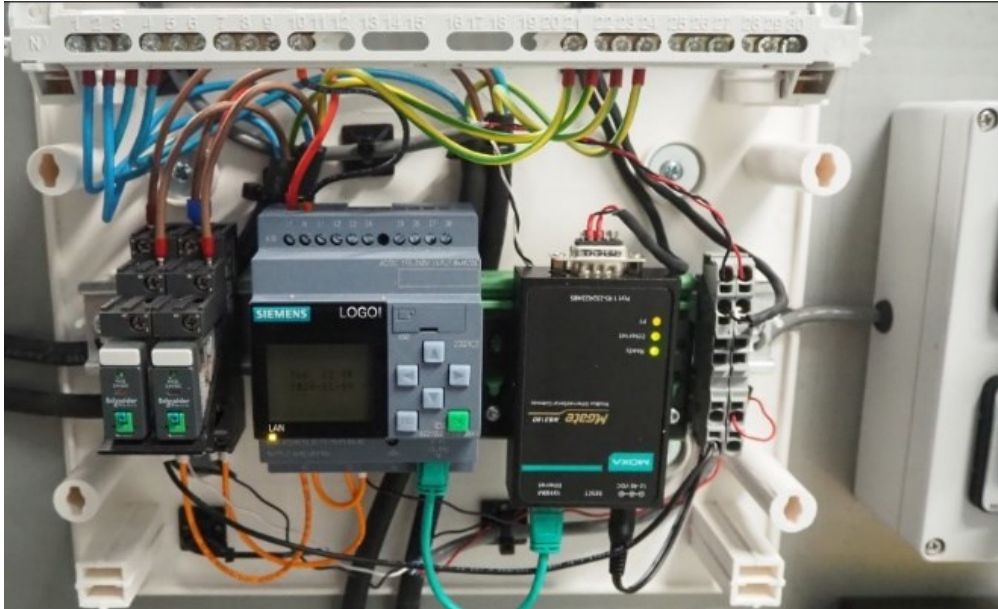


Kuva 15. Alempana MLT-laitteen käyttötaulu ennen automatisointia. Ylempänä piirros, jos näkyy automatisoinnille varattu tila. (Fräntti 2019, 49.)



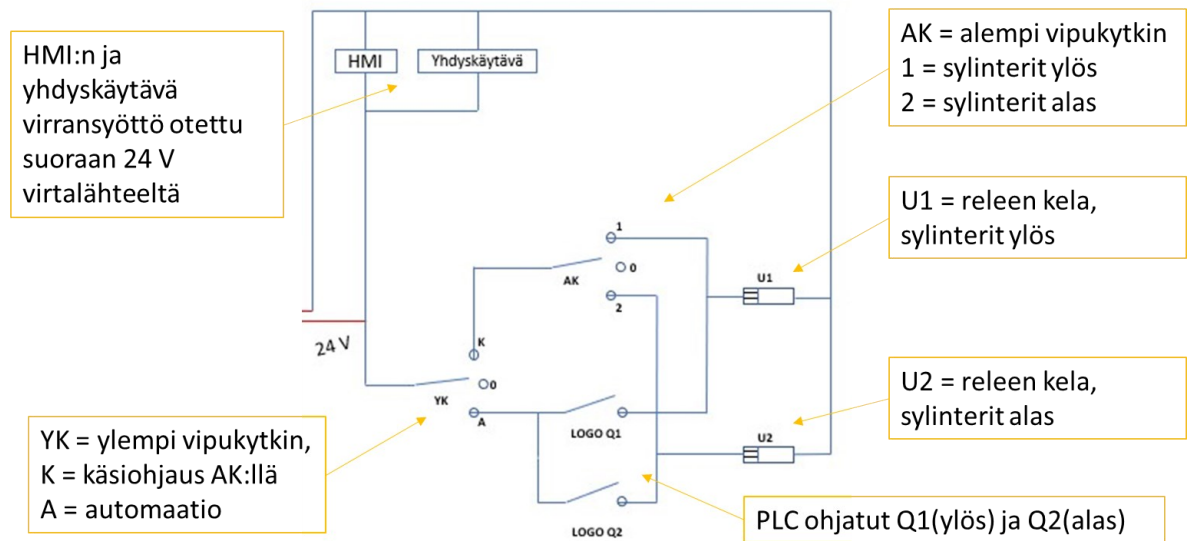
Kuva 16. Laitteiston käyttötaulun komponentit muutostöiden jälkeen.

Käyttötaulun oikeaan reunaan lisättiin moduulikotelo, jonka sisälle asennettiin LOGO!-PLC, suuntaventtiilin asentoa ohjaavat releet ja yhdyskäytävä (Kuva 17). HMI asennettiin metalliseen saranoituun levyyn. Vipukytkimet asennettiin erilliseen muoviseen koteloon. (Kuva 16.)



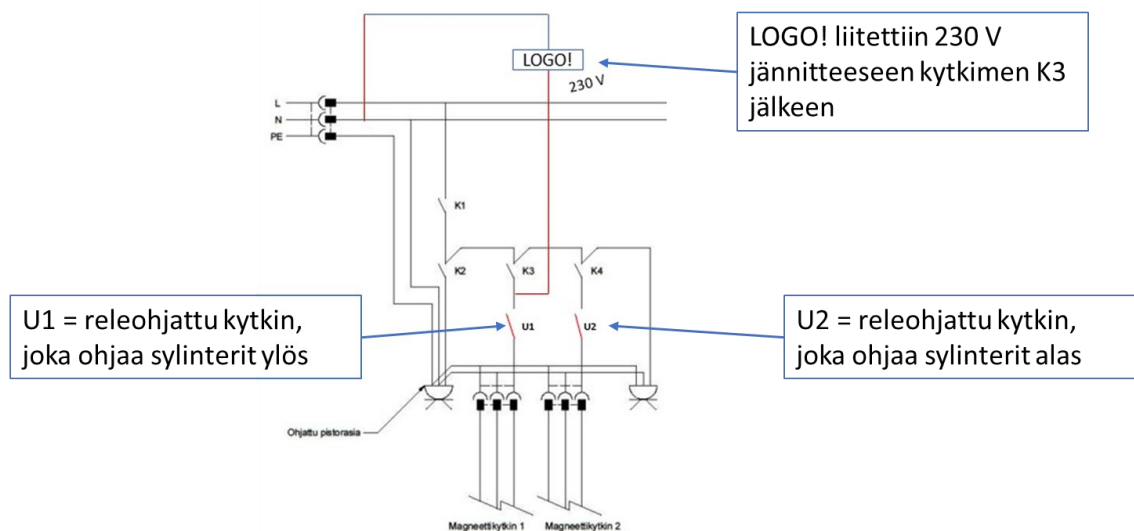
Kuva 17. Moduulikotelon sisälle asennetut komponentit vasemmalta: releet, LOGO! ja yhdyskäytävä. Asennuskiskon oikeassa reunassa riviliittimet, joissa 24 V jännite ja maa.

Sähkötäulun virtalähteeltä tuotiin 24V jännite yhdyskäytävälle, HMI:lle ja ylemmälle vipukytkimelle, josta se johdetaan, riippuen ylemmän vipukytkimen asennosta joko LOGO!:n digitaalilähdöille tai alemmalle vipukytkimelle, joista se kytkeytyy, riippuen lähtöjen tiloista ja alemman vipukytkimen asennosta, jommankumman releen kelalle (Kuva 18).




Kuva 18. Ote liitteen 1 sähkökaaviosta, merkittynä 24 V jännitteisiin kytkentöihin tehdyt muutokset.

230 V jännite oli aikaisemmin tuotu sähkötaululta kahdella kaapelilla suuntaventtiilin asentoa ohjaaville magneettikytkimille. Nyt nuo kaksi kaapelia katkaistiin ja vietiin moduulikoteloon relekytkimille. Lisäksi toisesta kaapelista otetaan 230 V käyttöjännite LOGO!:lle. (Kuva 19.)

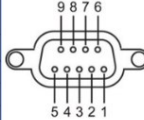


Kuva 19. Ote liitteen 1 sähkökaaviosta, merkittynä 230 V:n jännitteisiin kytkentöihin tehdyt muutokset.

HMI yhdistettiin yhdyskäytävään kaapelilla, jonka toisessa päässä on DB9-uros liittäntä ja toisessa päässä DB9-naaras liittäntä. Kaapeli valmistettiin itse kuvan 20 taulukoiden mukaan. LOGO! yhdistettiin yhdyskäytävään RJ45-kaapelilla.

Serial interface, 9-pin sub-D socket, female


Pin	Assignment for the RS422	Assignment for the RS485
1	NC	NC
2	GND 24 V	GND 24 V
3	TxD+	Data signal B (+)
4	RxD+	RTS
5	GND 5 V, floating	GND 5 V, floating
6	+5 VDC, floating	+5 VDC, floating
7	+24 VDC, out (max. 100 mA)	+24 VDC, out (max. 100 mA)
8	TxD-	Data signal A (-)
9	RxD-	NC

The MGate MB3000 uses DB9 (male) serial ports to connect Modbus RTU or ASCII devices. Each port supports three serial interfaces: RS-232, RS-422, and RS-485 (both 2 and 4-wire).


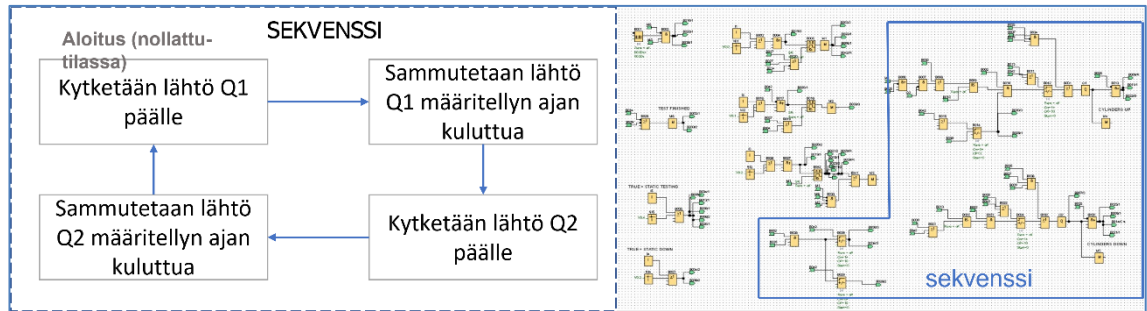
Pin	RS-232	RS-422/ RS-485 (4W)	RS-485 (2W)
1	DCD	TxD-	-
2	RxD	TxD+	-
3	TxD	RxD+	Data+
4	DTR	RxD-	Data-
5	GND	GND	GND
6	DSR	-	-
7	RTS	-	-
8	CTS	-	-
9	-	-	-

Kuva 20. DB9 liittimien nastajaot. Vasemmalla kuvakaappaus Siemens HMI:n ja oikealla Moxa yhdyskäytävän ohjekirjasta. (Siemens 2021, 118.) (Moxa 2022b, 35.)

5.2 Logiikan ohjelmointi LOGO!Soft Comfort -ohjelmalla

Logiikan ohjelmointi tehtiin käyttämällä LOGO!Soft Comfort -ohjelmaa ja FBD-kieltä (Kuva 21). Ohjelma on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 3.

Ohjelman sisällä on sekvenssi, joka kytkee LOGO:n lähdön Q1 määritellyksi ajaksi päälle, Q1:n sammuttua kytketään Q2 määritellyksi ajaksi päälle (Kuva 21). Käyttäjä voi HMI:n kautta säätää aikaa, kuinka kauan lähtö on kytkettynä. Lisäksi voidaan säätää, kuinka monta kertaa sekvenssi toistetaan. Edellä mainittuja säätöjä tehdään muuttamalla Up/Down counter -funktioblokkien Off threshold -arvoa, joka on DWord-typin muuttuja.



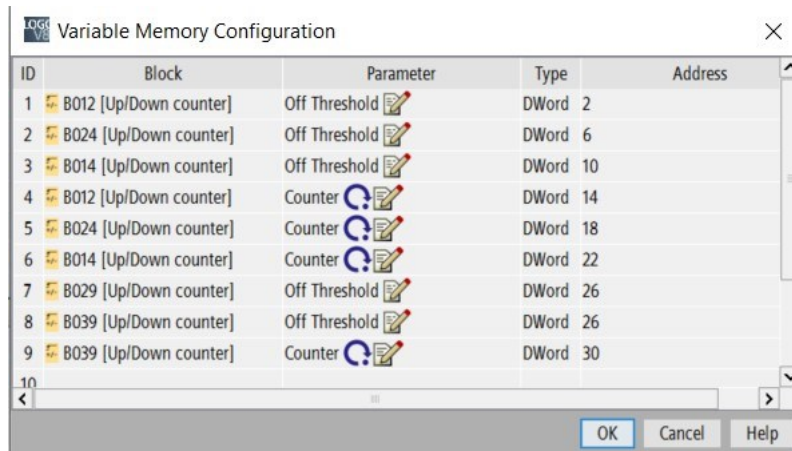
Kuva 21. Vasemmalla kaavio havainnollistaa sekvenssin vaiheita. Oikealla ohjelman koodi FBD-kielellä, jossa sinisellä suorakulmiolla merkityn sekvenssin ulkopuolelle jäävillä osilla hallitaan sekvenssin toistoa eli ohjelman päätiloja.

Ohjelmassa voidaan ajatella olevan kolme erilaista päätilaa: nollattu, käynnissä ja tauko. Nollattu tilassa sekvenssi ei ole käynnissä ja jos sekvenssi käynnistetään, käynnistyy se alusta ja sekvenssin toistomäärää laskeva laskuri sekä lähtöjen päällä oloaika laskevat laskurit ovat nollassa. Tauko-tila pysäyttää Q1 ja Q2 lähtöjen ajanlaskun, mutta ei ota lähtöjä pois päältä eikä nolaa laskureita. Jos sekvenssi käynnistetään tauko-tilassa, jatkuu se siitä kohdasta, missä tauko-tilaan siirryttiin. Jokaiselle tilalle on oma NI-funktioblokki, BOOL-tyypin muuttuja, jonka nouseva reuna aktivoi tilan. Käyttäjä ohjaa NI-funktioblokkien arvoja HMI:stä. Ohjelmassa on lisäksi M-funktioblokkeja, jotka ovat BOOL-tyypin muuttujia ja niitä käytetään viestimään HMI:lle, esimerkiksi, missä ohjelman päätilassa ollaan tai ovatko sylinterit aktivoituna.

Ohjelmassa on mahdollisuus myös etukäteen ohjelmoituun staattiseen testaukseen, missä käyttäjä valitsee testauksen suunnan ja keston. Staattisen tai dynaamisen testausmoodin aktivoituminen riippuu tietyn NI-funktioblokin tilasta. Staattisen testauksen suunta määritellään myös NI-funktioblokillä. Testauksen kesto määritellään staattisessa testauksessa samoin kuten dynaamisessa testauksessakin Up/Down counter -funktioblokin Off threshold -arvolla.

Kommunikaation onnistumiseksi LOGO:n ja HMI:n välillä tuli LOGO!Soft Comfort -ohjelmassa määritellä funktioblokeille ja niiden sisäisille muuttujille, kuten Off Threshold-arvoille, VM-osoitteet. Osalle funktioblokeista kuten NI- ja

M-tyypeille on kiinteät osoitteet, joten niitä ei tarvitse erikseen määritellä. Kuvassa 5 on esitetty ohjelmaan määritellyt VM-osoitteet.

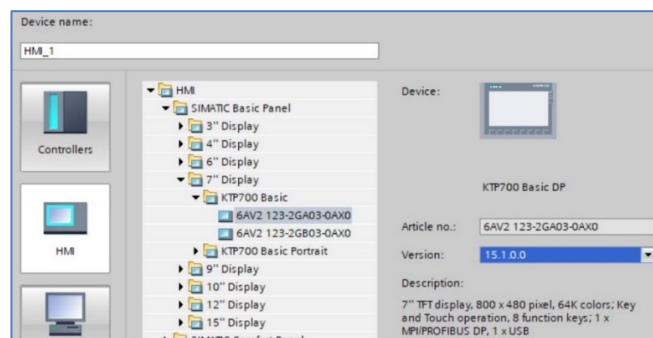


ID	Block	Parameter	Type	Address
1	B012 [Up/Down counter]	Off Threshold	DWord	2
2	B024 [Up/Down counter]	Off Threshold	DWord	6
3	B014 [Up/Down counter]	Off Threshold	DWord	10
4	B012 [Up/Down counter]	Counter	DWord	14
5	B024 [Up/Down counter]	Counter	DWord	18
6	B014 [Up/Down counter]	Counter	DWord	22
7	B029 [Up/Down counter]	Off Threshold	DWord	26
8	B039 [Up/Down counter]	Off Threshold	DWord	26
9	B039 [Up/Down counter]	Counter	DWord	30

Kuva 22. LOGO!Soft Comfort -ohjelmassa funktioblokeille ja niiden sisäisille muuttujille määritetyt VM-osoitteet.

5.3 HMI:n ohjelmointi TiaPortal-ohjelmistolla

HMI:n ohjelmointi aloitettiin luomalla uusi projekti TiaPortal-ohjelmistossa ja lisäämällä käytettävä HMI osaksi projektia. Lisättäessä tuli kiinnittää huomiota HMI:n tuotetunnukseen sekä käyttöjärjestelmän versioon. (Kuva 6.)



Kuva 23. HMI:n lisääminen TiaPortal-ohjelmistossa

Seuraavaksi luotiin näytöt ja niissä esitettävät objektit, kuten tekstit, kuviot, painikkeet ja prosessisuureita esittävät ja niiden muokkaamisen mahdollistavat input/output -kentät. Näyttöjä luotiin yhteensä 10 erilaista. Aloituspäytöstä valitaan joko dynaaminen tai staattinen testaus, joissa kummassakin on 4 omaa

näyttöä: 1. loki, 2. testiasetukset, 3. testin hallinta ja 4. testistä poistuminen. Näistä 3 ensimmäistä ovat ns. välilehtiä, joiden välillä voidaan liikkua vapaasti testauksen ollessa käynnissä. Neljäs näyttö aktivoituu, kun halutaan poistua dynaamisesta tai staattisesta testauksesta. Lisäksi dynaamisessa ja staattisessa testausmoodissa on yksi yhteinen näyttö, joka aktivoituu, kun testaus halutaan pysäyttää/nollata. Liitteessä 4 on kuvakaappaukset luoduista näytöistä.

Jos näytössä olevan objektin, kuten esimerkiksi testaussyklin käynnistävän "START"-napin, on tarkoitus olla vuorovaikutuksessa LOGO! PLC -logiikkaan, määritetään objektille yhteys HMI-tagiin, joka kommunikoi logiikalle kohdassa 5.4 määritetyn yhteyden avulla. Käytettävän yhteyden lisäksi HMI-tagiin määritetään Modbus-protokollan mukainen osoite, jonka tulee vastata LOGO!Soft Comfort -ohjelmassa määritettyä VM-osoitetta. Kuvassa 24 on esitetty, miten LOGO!n osoiteavaruus vastaa Modbus-protokollan osoiteavaruutta. Kuvassa 25 näkyy osa määritellyistä HMI-tageista ja niiden Modbus-protokollan mukaiset osoitteet.

Modbus address space					
Address Type	Range	Mapped Modbus Address	Direction	Unit	
I	1 - 24	Discrete Input (DI) 1 - 24	R	bit	▲
Q	1 - 20	Coil 8193 - 8212	R/W	bit	
M	1 - 64	Coil 8257 - 8320	R/W	bit	
V	0.0 - 850.7	Coil 1 - 6808	R/W	bit	
AI	1 - 8	Input Register (IR) 1 - 8	R	word	
VW	0 - 850	Holding Register (HR) 1 - 425	R/W	word	
AQ	1 - 8	Holding Register (HR) 513 - 520	R/W	word	▼

Kuva 24. LOGO!n VM-osoitteita vastaavat Modbus-protokollan osoitteet esitettynä LOGO!Soft Comfort -ohjelmassa.

Default tag table				
	Name	Data type	Connection	Address
	Start_NI1	Bit	Connection_1	0x1
	Pause_NI2	Bit	Connection_1	0x2
	Stop&Reset_NI3	Bit	Connection_1	0x3
	static_direction_NI4	Bit	Connection_1	0x4
	dyn=0_sta=1_NI5	Bit	Connection_1	0x5
	Running_M1	Bit	Connection_1	0x8257
	Paused_M2	Bit	Connection_1	0x8258
	Resetted_M3	Bit	Connection_1	0x8259
	UP_M4	Bit	Connection_1	0x8260
	DOWN_M5	Bit	Connection_1	0x8261
	test_finished_M6	Bit	Connection_1	0x8262
	set_up_time_VM2	Int	Connection_1	4x400003
	set_down_time_VM6	Int	Connection_1	4x400005
	set_cycle_count_VM10	Int	Connection_1	4x400007

Kuva 25. Osa luoduista HMI-tageista listattuna TiaPortal-ohjelmassa. Oikeassa reunassa tagille määritetty Modbus-protokollan osoite.

Liitteenä 2 on osoiteavaruustaulukko, josta selviää, mihin LOGO!-n funktioblokkeihin tai funktioblokin sisäiseen muuttujaan HMI-tagin on vuorovaikutuksessa. Taulukossa on myös esitetty HMI-tageille TiaPortal-ohjelmassa määritetyt Modbus-protokollan mukaiset osoitteet ja niitä vastaavat LOGO!-n VM-osoitteet.

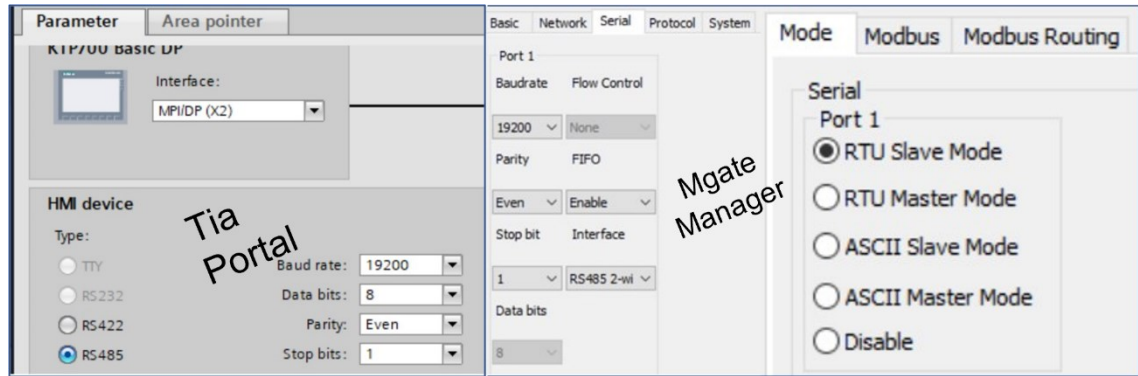
5.4 HMI:n ja PLC:n välisen yhteyden määrittäminen

Siemens KTP700 DP -HMI-laitteen ja Siemens LOGO! -PLC-laitteen kommunikaatio ei ole suoraan mahdollista. Laitteiden välinen kommunikaatio voidaan kuitenkin toteuttaa, jos määritetään KTP700 DP käyttämään Modbus RTU protokollaa ja LOGO! käyttämään Modbus TCP/IP-protokollaa. Laitteiden väliin tarvitaan lisäksi yhdyskäytävä, joka tässä työssä on Moxa Mgate MB3180.

Modbus RTU - ja Modbus TCP/IP -protokollien välinen osoiteavaruus on samanlainen, joten tätä ei tarvitse yhdyskäytävässä erikseen määrittellä.

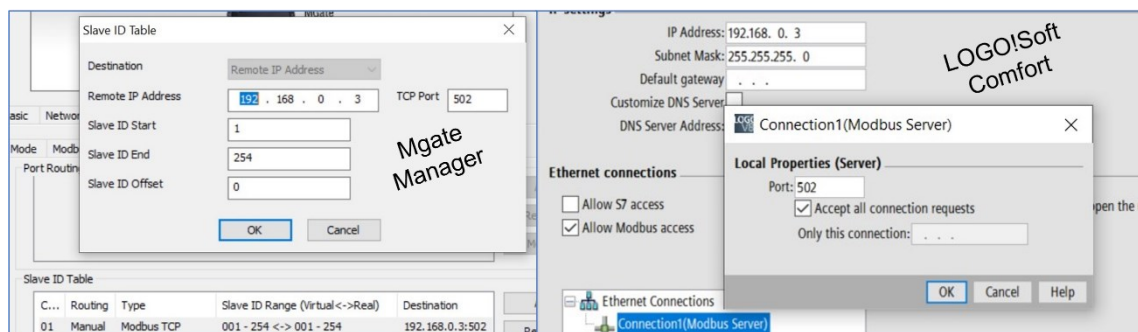
HMI:n ja yhdyskäytävän välinen Modbus RTU -yhteys konfiguroidaan HMI:ihin TiaPortal-ohjelmistossa ja yhdyskäytävään MGate Manager -ohjelmalla. Kuvassa 26 on esitetty yhteyden kannalta tärkeimmät asetukset: HMI on

määritetty Master-laitteeksi ja yhdyskäytävä Slave-laitteeksi. Kommunikaation fyysinen kerros on toteutettu RS 485-väylällä ja tiedonsiirron nopeus eli Baud rate on 19200.



Kuva 26. HMI:n ja yhdyskäytävän välisen Modbus RTU -yhteyden konfiguroinnin kannalta tärkeitä asetuksia Tia Portal – ja Mgate Manager -ohjelmissa

Yhdyskäytävän ja LOGO:n välinen yhteys on toteutettu Modbus TCP/IP -protokollalla, jossa fyysisenä kerroksena käytetään RJ45-kaapelia. Yhteydessä LOGO on server-laite ja yhdyskäytävä on client-laite. Kuvassa 27 on esitetty yhteyden kannalta tärkeitä asetuksia MGate Manager – ja LOGO!Soft Comfort-ohjelmissa: IP-osoiteavaruudet, portit ja master/slave-määrittäminen.



Kuva 27. PLC:n ja yhdyskäytävän välisen Modbus TCP/IP -yhteyden kannalta tärkeitä asetuksia MGate Manager – ja LOGO!Soft Comfort -ohjelmissa

6 Automatisoidun laitteiston käyttö

6.1 Päävirran kytkentä

MLT-laitteen sähkötaululle tulevan sähköjohdon ollessa kytkettynä 230 V pistorasiaan, kytketään laitteeseen päävirta yksinkertaisesti kääntämällä kaikki sähkötaulun oven takana olevat kytkimet (F1, S2, S3 ja S4) yläasentoon ja painamalla sähkötaulun oikeassa ulkoreunassa olevaa Kill Switch -kytkintä (S1) (Kuva 28).



Kuva 28. Päävirran kytkemiseen tarvittavat kytkimet. Keltaisella merkityt ovat järjestyksessä vasemmalta oikealle F1, S2, S3 ja S4. Punaisella merkitty on S1 eli Kill Switch -kytkin.

Päävirran kytkemisen jälkeen, valitaan ylemmällä nokkakytkimellä, käytetäänkö MLT-laitetta staattisen testaukseen alemmalla nokkakytkimellä vai käytetäänkö HMI-käyttöliittymää, joka mahdollistaa sekä staattisen että dynaamisen testauksen.

6.2 Staatinen testaus käyttämällä alempaa nokkakytkintä

Kun ylempi nokkakytkin on K-asennossa, voidaan alemmalla nokkakytkimellä suorittaa staattista testausta eli ohjata sylintereitä joko ylös tai alaspäin.

Kääntämällä alempi nokkakytkin 1-asentoon, ohjataan sylintereitä ylöspäin.

Kääntämällä alempi nokkakytkin 2-asentoon, ohjataan sylintereitä alaspäin.

6.3 HMI-käyttöliittymä

6.3.1 Aloituspäyttö: testausmoodin valinta

Kun ylempi nokkakytkin on A-asennossa, voidaan HMI-käyttöliittymällä suorittaa joko staattista tai dynaamista testausta, valinta testausmuotojen välillä tehdään aloitusnäytössä.



Kuva 29. Vasemmalla ylempi nokkakytkin A-asennossa. Oikealla HMI:n aloitusnäyttö, josta valitaan joko staattinen tai dynaaminen testaus.

6.3.2 Välilehdet testauksen aikana

Aloituspäytön jälkeen, riippuen valinnasta, avautuu joko staattinen tai dynaaminen testausmoodi. Kummassakin testausmoodissa on kolme välilehteä: loki, testausasetukset ja testaus. Välilehtien välillä voi liikkua vapaasti testauksen ollessa käynnissä, mutta jos testausmoodista poistutaan, keskeytyy testaus eikä sitä voida enää jatkaa samasta kohdasta.

6.3.2.1 Loki-välilehti

Loki-välilehdellä esitetään HMI:n hälytysloki, johon on ohjelmoitu tallentuvaksi kuuden ohjelman tilasta kertovan BOOL-muuttujan arvon muutos.

Hälytys	Mitä tarkoittaa
Running	Ohjelma on käynnissä
Paused	Ohjelma pysäytetty tauko-tilaan
Resetted	Ohjelman laskurit nollattu
UP	Sylintereiden ohjaus ylös
DOWN	Sylintereiden ohjaus alas
Finished	Ohjelma loppunut suunnitellusti

Time	Date	Status	Event
2:27:39 PM	9/19/2022	I	Finished_bool
2:27:29 PM	9/19/2022	IOff	DOWN_bool
2:27:28 PM	9/19/2022	I	DOWN_bool
2:27:28 PM	9/19/2022	IOff	UP_bool
2:27:27 PM	9/19/2022	I	UP_bool
2:27:27 PM	9/19/2022	IOff	DOWN_bool
2:27:26 PM	9/19/2022	I	DOWN_bool
2:27:25 PM	9/19/2022	IOff	UP_bool
2:27:25 PM	9/19/2022	I	UP_bool
2:27:24 PM	9/19/2022	IOff	DOWN_bool
2:27:23 PM	9/19/2022	I	DOWN_bool
2:27:23 PM	9/19/2022	IOff	UP_bool
2:27:22 PM	9/19/2022	I	UP_bool
2:27:21 PM	9/19/2022	IOff	DOWN_bool

Kuva 30. Vasemmalla hälytyslokiin tallentuvat kuusi hälytystä selityksineen. Oikealla hälytyslokin esittävä Loki-välilehti dynaamisessa testausmoodissa.

Esitettävä hälytysloki on sama hälytysloki kummassakin testausmoodissa. Hälytysloki ja siinä esitetyt BOOL-muuttujat eivät erittele kumpaa testausmoodia on ajettu.

6.3.2.2 Testausasetukset-välilehti

Staattisessa testausmoodissa testausasetukset-välilehdeltä valitaan testausvoiman suunta ja asetetaan kesto. Dynaamisessa testausmoodissa välilehdellä asetetaan, kuinka kauan sylintereitä ajetaan ylöspäin ja alaspäin yhden syklin aikana. Lisäksi dynaamisessa testausmoodissa pitää määrittää syklien määrä. Yksi sykli tarkoittaa, että sylintereitä ajetaan aluksi kerran ylös ja sitten kerran alas.

Dynamic testing		Static testing	
Values set at PLC:	SET new values here:	Choose direction	
UP TIME 0	0	UP ▾	
DOWN TIME 0	0	Set time	
CYCLES 0	0	0	
SCREENS		SCREENS	
LOG	SETTINGS	LOG	SETTINGS
TEST		TEST	

Kuva 31. Vasemmalla dynaamisen testausmoodin testausasetukset-välilehti, oikealla staattisen testausmoodin.

6.3.2.3 Testaus-välilehti

Testaus-välilehti sisältää painikkeet testin hallintaan ja tietoa testauksen tilasta.

Testi käynnistetään tai tauko-tilassa olevaa testiä jatketaan

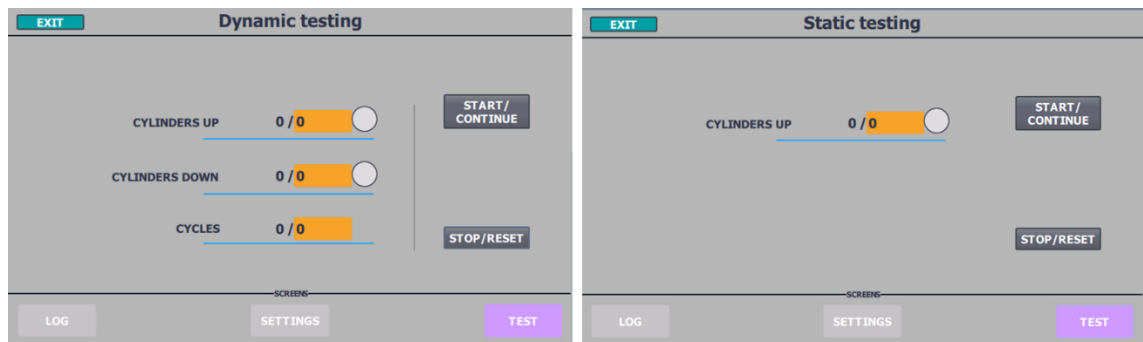
”START/CONTINUE”-painikkeella.

”PAUSE”-painikkeella käynnissä oleva testi voidaan asettaa tauko-tilaan, milloin laskurit pysähtyvät.

Tauko-tilassa huomionarvoista on, että sylintereissä säilyy paine eli paneelille kohdistuu edelleen testausvoima. Jos testausvoima halutaan poistaa, tulee se tehdä manuaalisesti kääntämällä ylempi vipukytkin pois A-asennosta.

”STOP/RESET”-painike nolaa laskurit ja pysäyttää käynnissä olevan testauksen.

”STOP/RESET”-painiketta tulee painaa, jos loppuun asti suoritettun testauksen jälkeen halutaan aloittaa uusi testaus.



Kuva 32. Vasemmalla dynaamisen testausmoodin testaus-välilehti, oikealla staattisen testausmoodin.

7 Yhteenveto

7.1 Työn onnistumisen arviointi

MLT-laite onnistuttiin automatisoimaan niin, että sillä voidaan tulevaisuudessa suorittaa dynaamista testausta. Korkein testaustaajuus, jolla laitetta pystyy tässä opinnäytetyössä toteutetulla ohjelmoinnilla ajamaan, on 0.5 Hz, mikä tarkoittaa, että yhden syklin pituus on 2 sekuntia. Standardissa IEC TS 62782:2016 määritellyssä dynaamisessa testissä testaustaajuuden tulee olla 3–7 sykliä per minuutti eli laitteella saavutettu taajuus on riittävä.

MLT-laitteen staattisen testauksen käyttöliittymä onnistuttiin myös yksinkertaistamaan. Laitteen käyttötaulun vasemman reunan sähkökeskuksesta nostetaan yksinkertaisesti kaikki kytkimet ylös, jonka jälkeen MLT-laitetta ohjataan vipukytkimillä, HMI:llä ja paineensäätöventtiileillä.

Automatisointi onnistuttiin toteuttamaan suurimmaksi osaksi komponenteilla ja ohjelmistoilla, jotka löytyivät jo valmiiksi tutkimusryhmän omistuksesta, joten työ saatiin toteutettua hyvin pienellä budjetilla.

Kokonaisuutena työtä voidaan pitää onnistuneena, mutta laitteeseen jäi kuitenkin edelleen kehityskohteita, joita käsitellään seuraavassa kohdassa.

7.2 MLT-laitteeseen jääneet kehityskohteet

Standardissa IEC TS 62782:2016 määritellään, että paneelille kohdistetun testauskuorman suurin sallittu vaihteluväli saa olla korkeintaan ± 100 Pascalia. Tätä ei aivan laitteistolla saavuteta, mutta lisäämällä esimerkiksi PLC-ohjattu proportionaaliventtiili voidaan paine mahdollisesti pitää tasaisempana.

Lisäksi standardi määrittelee tasaisesti kuormitettujen kohtien keskipisteiden maksimietäisyydeksi 20 cm, mitä MLT-laite ei myöskään täytä, koska sylintereiden etäisyys toisistaan on suurempi. Myöskään keskipisteiden etäisyys

testattavan aurinkopaneelien reunoista ei saa olla yli 20 cm, joten standardin ehtojen täyttämiseksi paineilmasylinterien määrää olisi lisättävä.

Iso kehityskohde on myös testauksen aikana eri lähteistä kerättävien tietojen, kuten järjestelmäpaineen, taipuman, vaakasillan sekä testauksen käynnistys- ja pysäytystietojen synkronointi ja koostaminen yhdeksi, selkeästi luettavaksi raportiksi. Lisäksi voidaan pohtia, mitä muita mahdollisia tietoja testauksesta voisi olla mielekästä kerätä ja raportoida, kuten esimerkiksi lämpötiloja tai imukuppien kiinnityskohtia.

Lisäksi yksi MLT-laitteeseen jäänyt selkeä ongelma on, että HMI:n ja LOGO!n välinen yhteys katkeaa hetkellisesti suorittaessa dynaamista testausta. HMI ilmoittaa käyttäjälle yhteyden katkeamisesta ja sen uudelleen syntymisestä: katkos kesti n. 10 sekuntia ja se tapahtui n. 3 kertaa puolen tunnin testauksen aikana. Yhteyden katkeamisella ei kuitenkaan ole vaikutusta testaukseen, koska HMI:stä ainoastaan käynnistetään ja pysäytetään testaus sykli.

7.3 Ajatuksia opinnäytetyöstä

Opinnäytetyön aihe oli koneautomaatioon erikoistuvalla opiskelijalla sopiva ja mielenkiintoinen. MLT-laitteen automatisoinnin sai suunnitella ja siinä käytettävät komponentit valita itsenäisesti, mikä lisäsi työn haastavuutta, mutta toisaalta antoi mahdollisuuden säännellä haastavuutta.

Tekijän vähäisen kokemuksen vuoksi valittiin yhdeksi tavoitteeksi työn toteuttaminen mahdollisimman pienin kustannuksin, jotta automatisoinnin mahdollinen epäonnistuminen ei aiheuttaisi tutkimusryhmälle ylimääräisiä kuluja. Tämä johti esimerkiksi siihen, etteivät automatisoinnissa käytetyt HMI ja PLC olleet suoraan yhteensopivia, vaan niiden väliin tarvittiin yhdyskäytävä. Ohjeita laitteiden välisen yhteyden määrittämiseksi ei juurikaan löytynyt. Yhteyden määrittäminen oli haastavaa, mutta samalla myös opettavaista.

Opinnäytetyö perehdytti tekijän erityisesti Modbus-tiedonsiirtoprotokollaan, Siemens LOGO!n ohjelmointiin ja Siemens KTP700 HMI:n konfigurointiin

TiaPortal-ohjelmistolla. Lisäksi MLT-laitteen automatisointiin liittyi jonkin verran asennustöitä, niin sähköisiä kuin mekaanisiaakin.

Uusi Energia -tutkimusryhmän laboratorio sijaitsee Turun ammattikorkeakoulun uudella kampuksella Turun Kupittaalla, joten ympäristö opinnäytetyön toteuttamiseen oli erinomainen ja viihtyisä. Kaikki tutkimusryhmän jäsenet olivat ammattitaitoisia ja mukavia sekä avustivat aina pyydettyäessä.

Lähteet

Acromag 2005. Introduction to Modbus TCP/IP. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro_modbustcp.pdf [Viitattu 25.9.2022]

Biltema 2022. Verkkokaapelit. Verkkokaupan tuoteryhmän esittelyteksti. Saatavissa: <https://www.biltema.fi/toimisto---tekniikka/tietokonetarvikkeet/verkkokaapelit/> [Viitattu 18.11.2022]

Elfa Distrelec 2022. D-Sub-liittimet. Internet-julkaisu. Saatavissa: https://www.elfadistrelec.fi/fi/liittimet/sub-liittimet/c/cat-L3D_525362 [Viitattu 10.11.2022]

Fräntti, M. 2019. Aurinkosähköpaneelien laatutestaus. Turun Ammattikorkeakoulu. Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/226713/Frantti_Miikka.pdf?sequence=2&isAllowed=y [Viitattu 16.9.2022]

Jyväskylän yliopisto 2022. Johdatus PHP-kieleen: Tietotyypit. Internet-julkaisu. Saatavissa: <http://users.jyu.fi/~kolli/ITK215/PHP/tietotyypit.html> [Viitattu 4.11.2022]

KYOWA n.d. What's a Strain Gage – Introduction to Strain Gages. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.straintech.fi/pdf/whats.pdf> [Viitattu 8.11.2022]

Käpylehto, J. 2022. Miten aurinkopaneeli toimii? Internet-julkaisu. Saatavissa: <https://solarvoima.fi/miten-aurinkopaneeli-toimii/> [Viitattu 11.11.2022]

Microsoft 2022. 2.2.9 DWORD. Internet-julkaisu. Saatavissa: https://learn.microsoft.com/en-us/openspecs/windows_protocols/ms-dtyp/262627d8-3418-4627-9218-4ffe110850b2 [Viitattu 11.11.2022]

Modbus Organization 2012. Modbus application protocol specification V1.1b3. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf [Viitattu 27.9.2022]

Moxa 2022a. Datasheet for MGate MB3180/MB3280/MB3480 Series. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://cdn-cms.azureedge.net/getmedia/3e8bbcd4-01a7-4c74-9642-a8b9300e94ea/moxa-mgate-mb3180-mb3280-mb3480-series-datasheet-v1.5.pdf> [Viitattu 23.9.2022]

Moxa 2022b. Manual for MGate MB3000 Series. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://cdn-cms.azureedge.net/getmedia/5bb5639b-2c95-42be-8a2a-cc5ae8e906bf/moxa-mgate-mb3000-series-manual-v13.0.pdf> [Viitattu 23.9.2022]

PROFIBUS 2022. Overview of PROFIBUS technology. Internet-julkaisu. Saatavissa: <https://www.profibus.com/technology/profibus/overview> [Viitattu 18.11.2022]

Scherf, K. 2017. Types of Relays Explained. Del City Wire Co, Inc. Internet-julkaisu. Saatavissa: <https://blog.delcity.net/types-of-relays-explained/> [Viitattu: 4.11.2022]

Schneider Electric 2018a. Product data sheet for RGZE1S35M. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/t/ds/RGZE1S35M_eng_tds.pdf [Viitattu: 15.10.2022]

Schneider Electric 2018b. Product data sheet for RXG12BD. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/t/ds/RXG12BD_eng_tds.pdf [Viitattu: 15.10.2022]

Schneider Electric 2022. What is Modbus and How does it work? WWW-julkaisu. Saatavissa: <https://www.se.com/us/en/faqs/FA168406/> [Viitattu: 15.10.2022]

Siemens 2006. SIMATIC: Communication with SIMATIC. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/686/1254686/att_46478/v1/S7komm_e.pdf [Viitattu 10.11.2022]

Siemens 2018. Basics of FB Programming with SIMATIC S7-1200. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/basics-programming-s7-1200/sce-031-200-fb-programming-s7-1200-r1709-en.pdf> [Viitattu 10.11.2022]

Siemens 2021. HMI devices Basic Panels 2nd Generation Operating Instructions. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/90114350/simatic-hmi-hmi-devices-basic-panels-2nd-generation?dti=0&lc=en-WW> [Viitattu 16.9.2022]

Siemens 2022a. LOGO!Soft Comfort Online Help. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/100782807/logo!soft-comfort-online-help?dti=0&pnid=13632&lc=en-WW>

Siemens 2022b. LOGO! System Manual. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741041/logo!?dti=0&lc=en-WW> [Viitattu 16.9.2022]

Techopedia 2020. OSI Protocols. Internet-julkaisu. Saatavissa:

<https://www.techopedia.com/definition/24961/osi-protocols> [Viitattu 10.11.2022]

Turun Ammattikorkeakoulu. 2022. New Energy Research Group.

<https://nerc.turkuamk.fi/> [Viitattu 16.9.2022]

Young, T. 2009. PLC Basics: Definition of a PLC. Internet-julkaisu. Saatavissa:

http://www.plcdev.com/definition_of_a_plc [Viitattu: 12.11.2022]



LOGO		HMI	
Function block	Adress	Modbus adr.	HMI-tag
NI1	V0.0	0x1	Start
NI2	V0.1	0x2	Pause
NI3	V0.2	0x3	Stop&Reset
NI4	V0.3	0x4	static_direct.
NI5	V0.4	0x5	dyn_or_sta
M1	M1	0x8257	Running
M2	M2	0x8258	Paused
M3	M3	0x8259	Resetted
M4	M4	0x8260	UP
M5	M5	0x8261	DOWN
M6	M6	0x8262	Finished
B012(Off thresh.)	VM2	4x00003	set_up_time
B024(Off thresh.)	VM6	4x00005	set_down_time
B014(Off thresh.)	VM10	4x00007	set_cycle_count
B012(Counter)	VM14	4x00009	live_up_time
B024(Counter)	VM18	4x00011	live_down_time
B014(Counter)	VM22	4x00013	live_cycle_count
B029(Off thresh.)	VM26	4x00015	set_sta_time
B039(Off thresh.)	VM26	4x00015	set_sta_time
B039(Counter)	VM30	4x00017	live_sta_time

