

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2022

Juho Mattila

**AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN
KENTTÄVÄYLÄN
DIAGNOSTIIKAN
KEHITTÄMINEN**

TURKU AMK 
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2022 | 32 sivua

Juho Mattila

Automaatiojärjestelmän kenttäväylän diagnostiikan kehittäminen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää EtherCAT-kenttäväylän diagnostiikkaa Green Automation Group Oy:n täysautomaattisessa salaatinkasvatusjärjestelmässä. Järjestelmään tehdyt lisäykset tulevat käyttöön kaikkiin yrityksen toimittamiin täysautomaattisiin salaatinkasvatusjärjestelmiin.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan teoriaa automaatiojärjestelmistä. Tämän jälkeen käsitellään Green Automation Group Oy:n salaatinkasvatusjärjestelmän toimintaa ja syvennytään sen eri osiin. Opinnäytetyön loppuosassa kuvaillaan, miten EtherCAT-väylän diagnosointi toteutettiin ja minkälaisia lisäyksiä tehtiin käyttöliittymään datan visualisoimiseksi.

Ohjelmistolisäykset PLC-logiikkaan sekä käyttöliittymään otettiin käyttöön eräässä projektissa, ja ne vastasivat haluttua lopputulosta. Opinnäytetyön aikana löydettiin myös diagnostiikkaan liittyviä jatkokehitysideoita, joita otetaan huomioon tulevaisuudessa.

Asiasanat:

Automaatiojärjestelmä, Kenttäväylä, EtherCAT, HMI, PLC, Diagnostiikka

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical engineering

2022 | number of pages 32

Juho Mattila

Improvement of fieldbus diagnostics in automation system

The goal of this thesis was to improve EtherCAT fieldbus diagnostics in a fully automated lettuce growing system provided by Green Automation Group Oy. The updates made to the system will be used in all future fully automated lettuce growing systems.

This thesis starts with the theory about automation systems and presents the details about Green Automation Group Oy's fully automated lettuce growing system. After that, the steps of developing the diagnostics solution are presented. It contains details on EtherCAT fieldbus diagnostics and visualization of that data in the user interface.

Software additions to the PLC-logic and user interface were commissioned in an ongoing greenhouse project. The additions corresponded to the desired outcome. As a result of this thesis, other ideas of further development of diagnostics were made. These ideas will be taken forward in the future.

Keywords:

Automation system, Fieldbus, EtherCAT, HMI, PLC, Diagnostics

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	6
1 JOHDANTO	7
2 TEOLLISUUDEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT	8
2.1 Hajautettu automaatiojärjestelmä	8
2.2 PLC-Logiikka	10
2.3 SCADA-Järjestelmä	11
3 TÄYSAUTOMAATTINEN SALAATINKASVATUSJÄRJESTELMÄ	13
3.1 Kasvatusjärjestelmän ohjausjärjestelmä	15
3.2 Kenttäväylä	17
3.3 Järjestelmän käyttöliittymä	22
3.4 Logiikan ja käyttöliittymän ohjelmointi	24
4 VÄYLÄDIAGNOSTIIKAN SUUNNITTELU	25
4.1 EtherCAT-väylän diagnosointi	25
4.2 Käyttöliittymän diagnostiikkasivu	27
4.3 Testaus ja käyttöönotto	28
5 TULOSTEN TARKASTELU	29
Lähteet	31

Kuvat

Kuva 1. Hajautettu automaatiojärjestelmä (Turun ammattikorkeakoulu 2021).	9
Kuva 2. PLC:n lohkokaavio (Blogger 2015).	10
Kuva 3. PLC-syklin osat (PLCynergy 2021).	11
Kuva 4. SCADA-järjestelmä (Electrical 4 U 2021).	12
Kuva 5. Nutrient Film Technique -kastelutekniikka.	13
Kuva 6. Salaattikouru linjan loppupäässä.	14
Kuva 7. Havainnekuva kasvatusjärjestelmän toiminnasta.	15
Kuva 8. Järjestelmäkaavio.	16
Kuva 9. EtherCAT-väylä kasvihuoneessa.	18
Kuva 10. Keskitetty moottoriohjaus.	19
Kuva 11. Kommunikointitekniologioiden markkinaosuuksien jakautuminen vuonna 2019 (Olson 2019).	20
Kuva 12. EtherCAT-kehysten liikkuminen laitteiden läpi (Beckhoff 2022).	21
Kuva 13. EtherCAT-järjestelmän hajautetut kellot (Beckhoff 2022).	22
Kuva 14. Näyttö kylvökoneessa.	23
Kuva 15. Slave-laitteiden mahdolliset tilat.	26
Kuva 16. FB_EcGetConfSlaves muuttujat.	26
Kuva 17. Diagnostiikkaikkuna.	27

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

CNC	Computer numerical controll eli tietokoneistettu numeerinen ohjaus
EtherCAT automation protocol (EAP)	Master-laitteiden välinen kommunikointiprotokolla
I/O-yksikkö	Sisään/ulostulo yksikkö
Kehys (eng. frame)	Digitaalinen tietopaketti tietoliikenteessä
Kenttäväylä	Digitaalinen kommunikointitapa kenttätasolla
Master-laitte	Laite, joka hallitsee muita järjestelmässä olevia laitteita
Slave-laitte	Laite, jonka avulla master-laite ohjaa prosessia
Teollisuus Ethernet	Teollisuusympäristöön tarkoitettu Etherne

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Green Automation Group Oy:n toimittamien salaatinkasvatusjärjestelmien automaation diagnostiikkaa. Opinnäytetyö toteutettiin kyseisen yrityksen toimitiloissa.

Työhön kuului PLC-logiikan ja käyttöliittymän kehittämisen suunnittelu siten, että automaatiojärjestelmässä olevia kenttäväyliä pystyttäisiin diagnosoimaan. Käyttöliittymään haluttujen lisäysten yksityiskohdat selkeytyivät, kun saatiin selville mitä tietoja on mahdollista sekä oleellista lukea väylästä.

Työn tavoitteena oli luoda diagnostiikkaratkaisu, jolla pystytään helpottamaan vian etsintää kasvihuoneessa mahdollisen toimintavirheen ilmetessä. Tällä ratkaisulla pystyttäisiin sulkemaan pois kaikki väyliin sekä kenttälaiteliitäntöihin liittyvät ongelmat. Näin kyetään tarkkailemaan, toimivatko kenttälaitte liitännät ja toimilaitteet tarkoituksenmukaisesti ja toisaalta löytämään mahdolliset häiriöt.

Opinnäytetyön alussa käsitellään automaatiojärjestelmiä yleisesti, jonka jälkeen syvennytään Green Automation Group Oy:n toimittamiin automaatiojärjestelmiin tarkemmin. Järjestelmän osien ja niiden toiminnan käsittelystä siirrytään työn toiminnalliseen osuuteen. Osuudessa kerrotaan työn suunnittelusta, etenemisestä sekä tehtyjen lisäysten testauksesta ja käyttöönotosta. Lopuksi tarkastellaan opinnäytetyön tuloksia.

2 TEOLLISUUDEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT

Teollisuusautomaatio voidaan jakaa kahteen osaan. Kappaletavara-automaatioon, jossa käsitellään erillisiä kappaleita ja prosessiautomaatioon, jossa käsitellään virtaavia aineita. Prosessiautomaatio voidaan vielä jakaa jatkuvien prosessien ja panosprosessien automaatioon. (Oulun yliopisto)

Prosessit voivat olla täysin automatisoituja, jolloin ihmisen tarvitsee puuttua prosessin kulkuun vain epäsuorasti. Tämä tarkoittaa sitä, että prosessia ohjaavalle järjestelmälle määritellään ohjeet ja arvot, joiden mukaan se toimii.

Täysin automatisoidun prosessin lisäksi tuotantolaitoksissa voi olla myös osittain automatisoituja pienempiä osia. Kokoonpanoon kuuluvat osat voidaan valmistaa esimerkiksi automaattisissa robottisoluissa, joissa teollisuusrobotti vaihtaa CNC-sorvissa valmistettavat kappaleet tai robottihitsaus-solussa. Vaikka valmistuksen työvaiheet ovat automaattisia, kokoonpano tehdään manuaalisesti.

Tuotantolaitoksia halutaan automatisoida jatkuvasti lisää, mutta joissain tilanteissa saattaa olla edullista jättää joitakin työvaiheita ennalleen. Jokaista prosessia on siis syytä tarkastella omanaan ja räätälöidä siihen sopivin automaatiojärjestelmä.

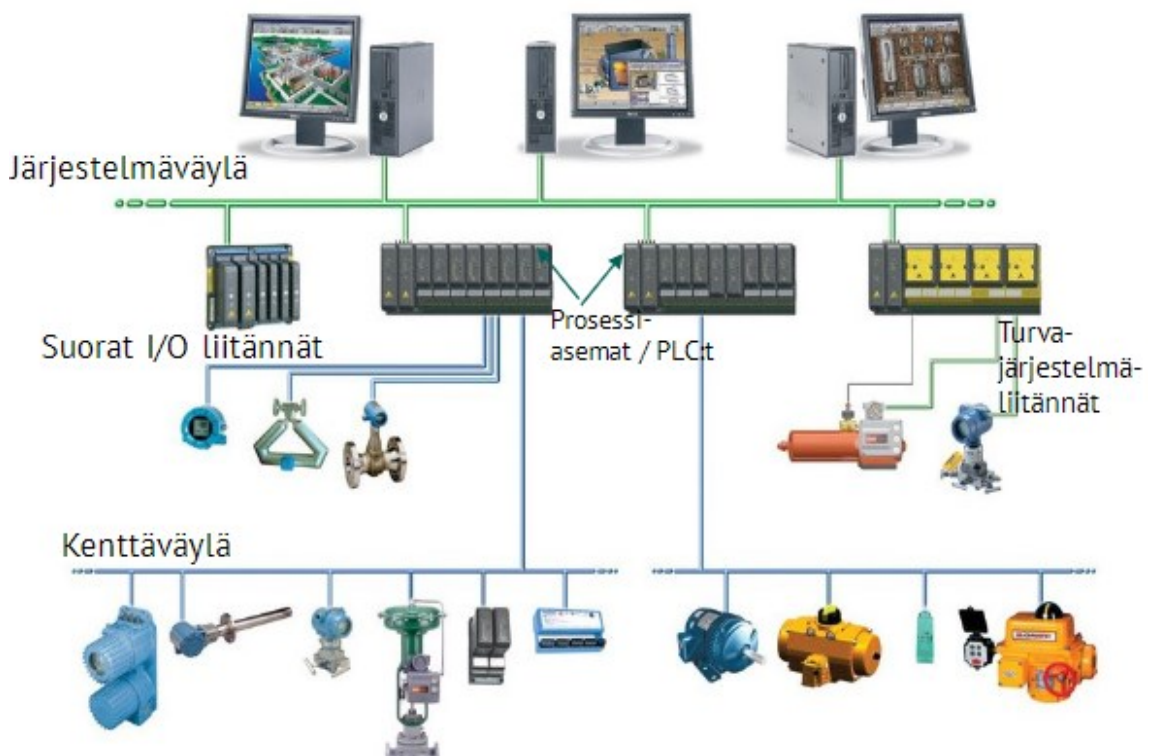
Automaatiojärjestelmään investointi parantaa yleensä tuotannon tehokkuutta, työturvallisuutta ja laatua. Tämän seurauksena kulut vähenevät ja tuotantokapasiteetti kasvaa. Useimmiten täysin automatisoituihin järjestelmiin pitää sijoittaa enemmän, mutta sijoitus maksaa itsensä takaisin pitkällä aikavälillä. (IQS directory 2021).

2.1 Hajautettu automaatiojärjestelmä

Hajautettu automaatiojärjestelmä eli DCS (Distributed Control System) on yleensä prosessiasemista, valvomoasemista, järjestelmä- ja kenttäväylistä, ohjelmointilaitteista ja tiedonhallinta/raportointiasemista koostuva järjestelmä.

Hajautetussa automaatiojärjestelmässä prosessiasemien tehtäviin kuuluu mittaustiedon käsittely, ohjausten laskenta niiden pohjalta sekä ohjausten suorittaminen. Tämä mahdollistaa prosessiasemien viennin lähelle prosessia tai toimilaitteita. (OAMK 2021).

Viemällä hajautetut I/O-yksiköt lähelle prosessia voidaan säästää kaapelointikustannuksissa välimatkojen ollessa pitkiä. Hajautetun I/O-yksikön ja prosessiaseman keskusyksikön kanssa tapahtuva kommunikointi toteutetaan kenttäväylän kautta. (OAMK 2021).



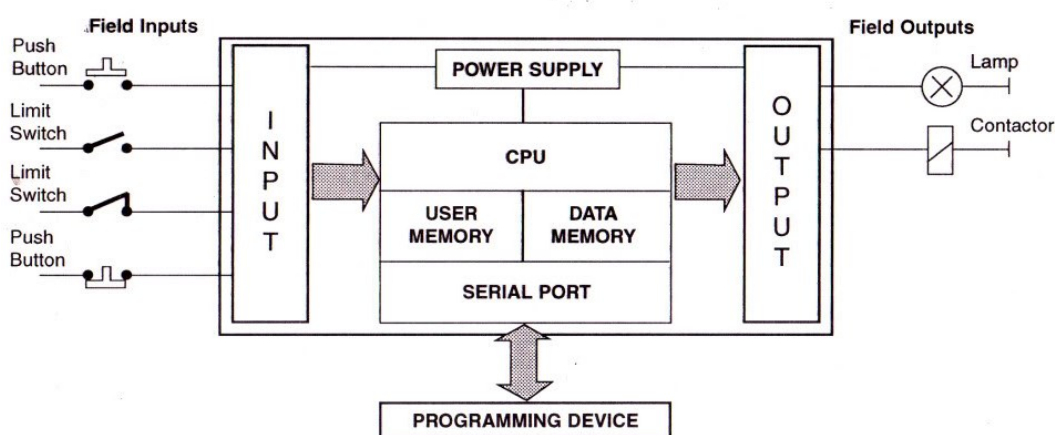
Kuva 1. Hajautettu automaatiojärjestelmä (Turun ammattikorkeakoulu 2021).

Nykyjärjestelmissä älykkäät toimilaitteet ja sensorit voidaan liittää suoraan kenttäväylään (kuva 1). Älykkäät toimilaitteet mahdollistavat kaksisuuntaisen kommunikoinnin, jolloin toimilaitteilta on mahdollista saada enemmän niiden toimintaan liittyviä arvoja sekä diagnostiikkaa. Silloin kun toimilaitteet liitetään suoraan kenttäväylään, tarvitaan lisäksi ainoastaan virransyöttö. Joissakin

tapauksissa voidaan virransyöttö tuoda myös siihen tarkoitettua kenttäväyläkaapelia pitkin.

2.2 PLC-Logiikka

Kuvassa 2 esitetään PLC:n lohkokaavio. Lyhenne PLC tulee englannin kielen sanoista Programmable Logic Controller. Se tarkoittaa ohjelmoitavaa logiikkaohjainta. PLC-logiikat ovat keskeinen osa automaatiojärjestelmiä.

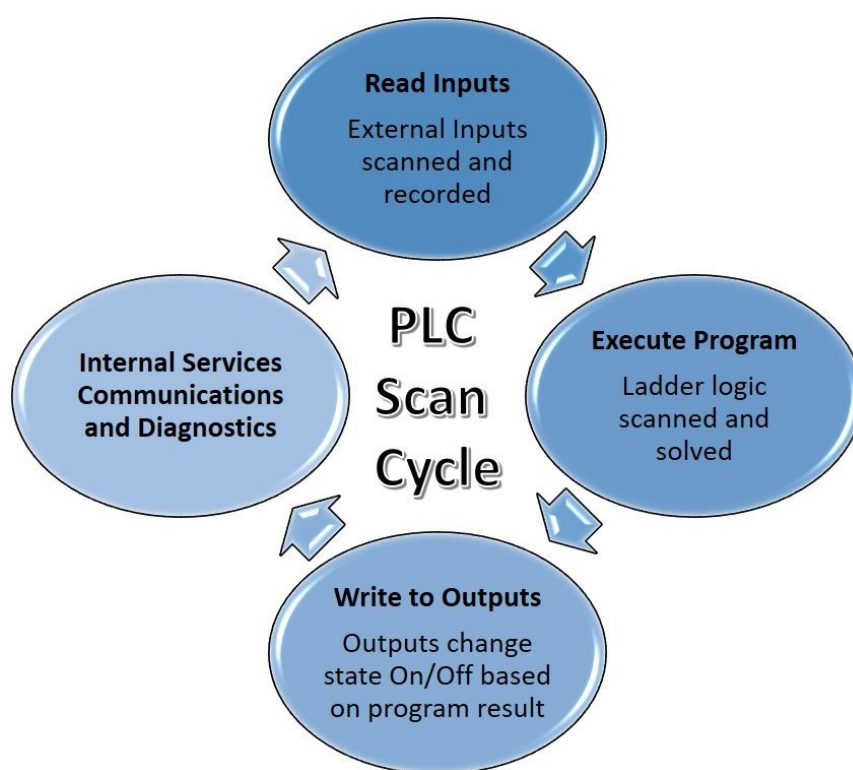


Kuva 2. PLC:n lohkokaavio (Blogger 2015).

Vanhoilla rele-logiikoilla ohjauksen muuttaminen oli vaikeaa, sillä jouduttiin vaihtamaan fyysisiä komponentteja. PLC-logiikat kehitettiin ratkaisuksi tähän ongelmaan. Niillä pystytään muuttamaan koneiden ohjauksia ilman suuria fyysisiä muutoksia.

Nykyään PLC:t ovat kuitenkin kehittyneet niin paljon monipuolisemmiksi ja tehokkaammiksi, että niitä ei voi enää verrata vanhoihin logiikoihin. Aluksi käytettiin rele-logiikoita muistuttavia ohjelmointikieliä kuten LD:tä (Ladder Diagram) sekä FBD:tä (Funktion Block Diagram). Myöhemmin kehitetyn lausekielisen ohjelmoinnin monipuolisuuden takia sillä toteutetaan useasti monimutkaisimmat sovellukset.

PLC ohjaa järjestelmää kuvan 3 mukaisesti sykleissä. Yksi sykli koostuu neljästä vaiheesta. Ensinnäkin luetaan kaikki sisääntulot (input). Sisääntulot tallennetaan niille varatulle muistialueelle eli input memory tableen. Toisessa vaiheessa PLC suorittaa sille tallennetun ohjelman. Ohjelmaa suorittaessa Output-muistialuetta päivitetään ohjeiden mukaisesti. Viimeiseksi ohjelman suorittamisen jälkeen kaikki ulostulot (output) päivitetään saman aikaisesti vastaamaan output-muistialuetta. PLC-sykliin kuuluu myös diagnostiikkaosuus, jossa se tarkistaa esimerkiksi muistin ja I/O-kortit mahdollisten virheiden varalta. (Hudemani;ym. 2017).



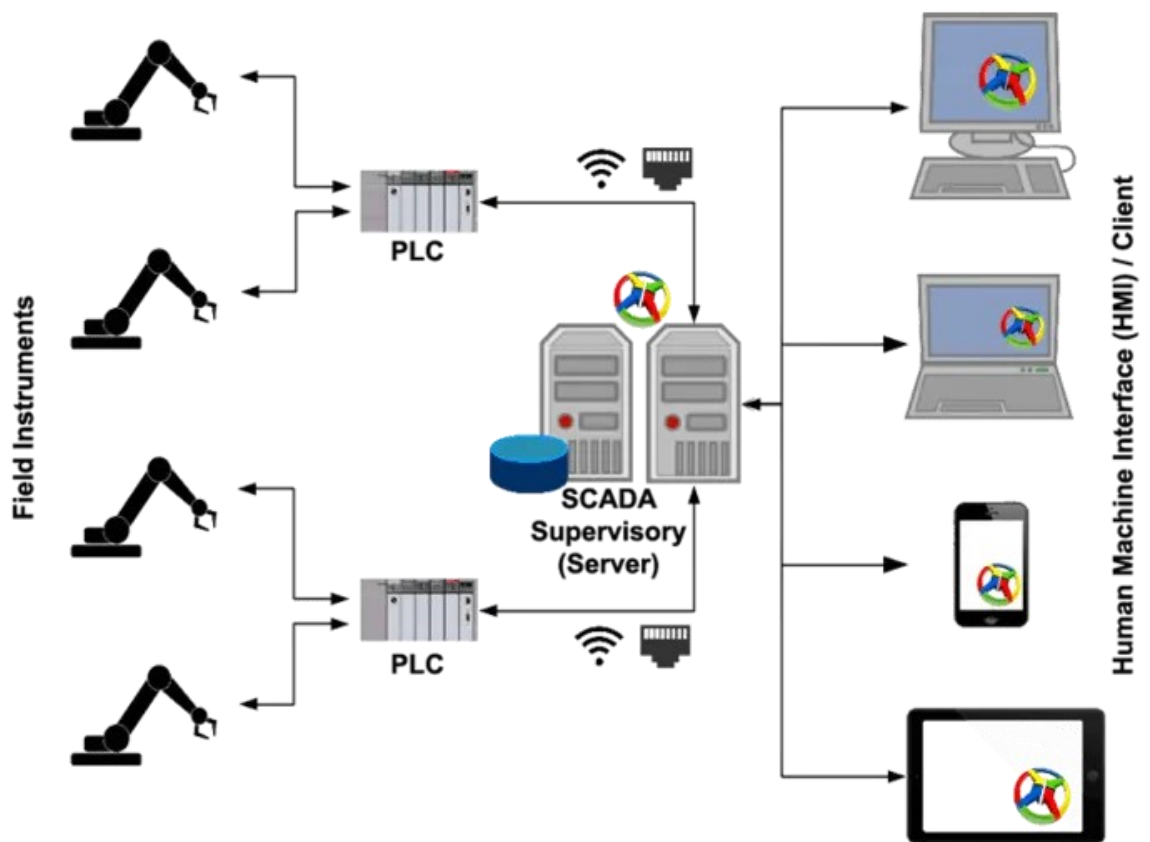
Kuva 3. PLC-syklin osat (PLCynergy 2021).

2.3 SCADA-Järjestelmä

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) tarkoittaa kokonaisvaltaista automaatiojärjestelmää, joka ohjaa laitoksen toimintaa prosessin ohjauksesta datan keräämiseen. Esimerkiksi kaukovalvonnan toteuttaminen, kauko-ohjaus, hälytysten hallinta ja mittausdatan seuranta sekä raportointi ovat SCADA-

järjestelmän tehtäviä. Järjestelmä kerää tietoja prosessiasemilta tietokantaan, ja se voidaan visualisoida esimerkiksi käyttöliittymään. PLC voi saada joitakin ohjeita järjestelmältä. (Väänänen 2015).

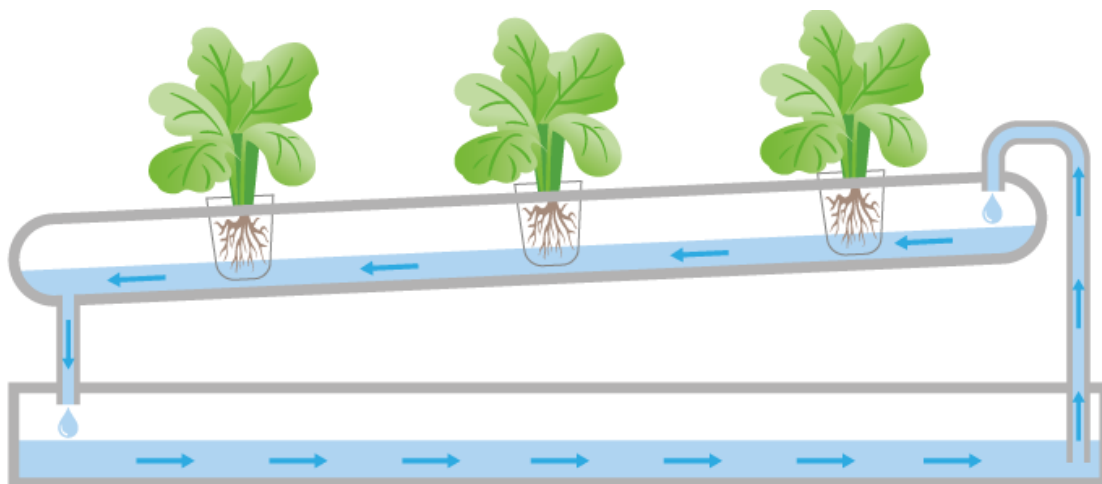
SCADA-järjestelmän avulla voidaan tuoda siihen yhdistetyistä PLC-logiikoista, roboteista ja tuotanto- ja mittauslaitteista mitä tahansa tietoja visuaalisessa ja helposti ymmärrettävässä muodossa. SCADA-tekniikan avulla voidaan kerätä tietoja yhdestä tai useammasta kaukaisesta tilasta ja lähettää rajoitettuja valvontamääräyksiä niille. (ABB 2017).



Kuva 4. SCADA-järjestelmä (Electrical 4 U 2021).

3 TÄYSAUTOMAATTINEN SALAATINKASVATUSJÄRJESTELMÄ

Green Automation Group Oy tarjoaa markkinoilla täysautomaattisia salaatinkasvatusjärjestelmiä. Järjestelmissä salaattia kasvatetaan hydroponisesti. Hydroponisella kasvatusmenetelmällä kasvi saa ravinteet veden mukana lannoitteesta mullan sijaan (kuva 5). Salaatin kasvualustana käytetään turvetta tai joissain tapauksissa kivivillaa.



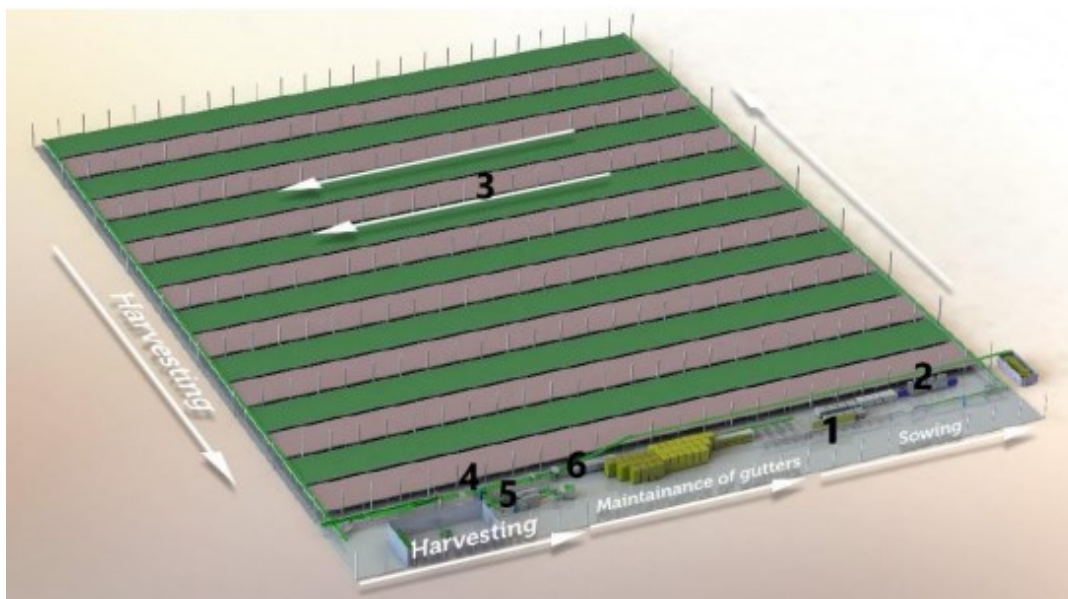
Kuva 5. Nutrient Film Technique -kastelutekniikka.

Salaatinkasvatusjärjestelmä on rakennettu patentoidun salaattikourun ympärille, joka liikkuu järjestelmän läpi kuljettimia pitkin. Kouru täytetään turpeella, ja siihen kylvetään halutut siemenet. Turve toimii salaatile pelkästään kasvualustana, sillä se ei itsessään sisällä ravinteita. Tämän jälkeen kouru siirtyy idätyksen kautta kasvatuslinjaan kasvamaan. Linjassa kourua kastellaan lannoitetulla vedellä, joka valuu kourun lävitse kaatokulman ansiosta. Salaatin kasvaessa kourujen väliä suurennetaan kasvutilan optimoimiseksi.



Kuva 6. Salaattikouru linjan loppupäässä.

Linjan loppupäästä (kuva 6) kouru siirtyy salaattileikkuriin (kuvassa 7, numero 4), ja täysikasvuinen salaatti leikataan kourusta pakkauskoneelle (numero 5), jossa salaatti pakataan sen lopulliseen pakkaukseen. Leikkauksen jälkeen kourusta poistetaan kasvualusta sekä salaatin jäänteet, kuten juuret. Roskakuljettimet kuljettavat jätteen isoon säiliöön, joka voi sijaita lähellä alustan poistoa tai jopa kasvihuoneen ulkopuolella. Kouru siirtyy lopuksi kourupesurin (numero 6) läpi odottamaan uudelleentäyttöä bufferiin, joka sijaitsee turvekoneen (numero 1) takana.

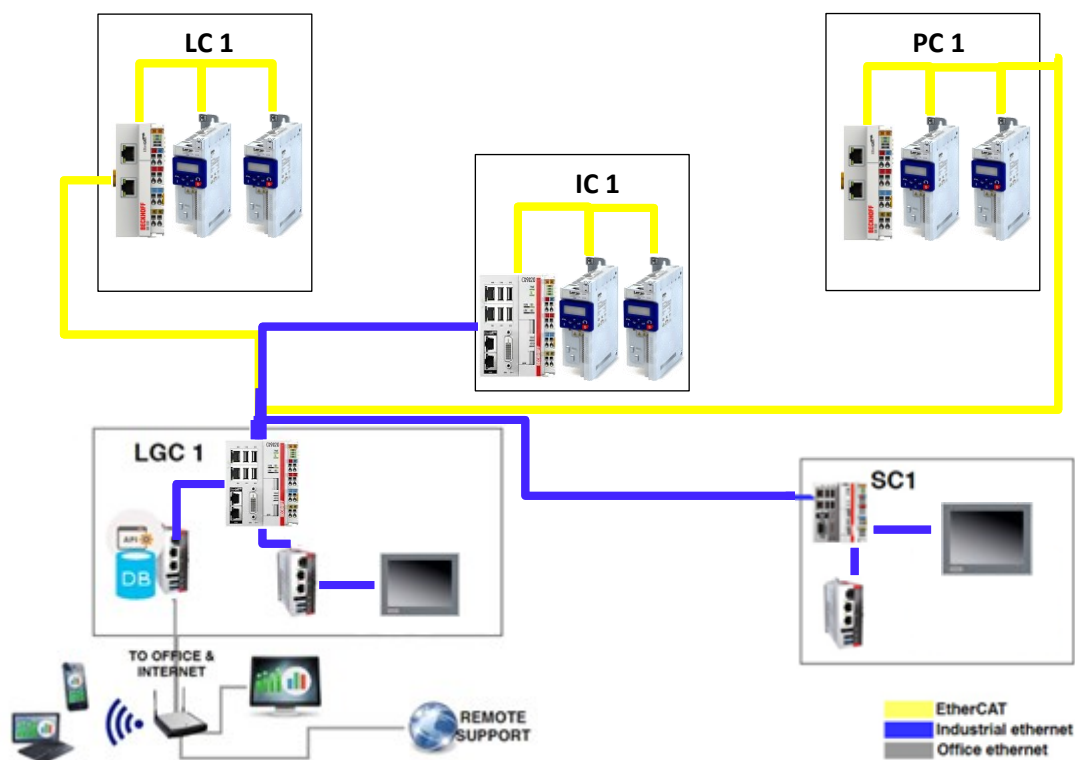


Kuva 7. Havainnekuva kasvatusjärjestelmän toiminnasta.

3.1 Kasvatusjärjestelmän ohjausjärjestelmä

Green Automation Group Oy:n kasvatusjärjestelmiä ohjataan PLC-logiikoiden avulla. Automaatiojärjestelmässä on aina PLC, joka ohjaa logistiikkaa eli sitä, miten salaattikourut liikkuvat kasvihuoneessa. Siihen kuuluu myös salaatin leikkaus, kourun puhdistus ja pesu sekä roskakuljettimien ohjaus. Toinen PLC ohjaa kourun täyttöä, kylvöä ja sen siirtoa kasvihuoneen alkupäähän. Näiden lisäksi joihinkin kasvihuoneisiin toimitetaan myös vesijärjestelmät, joilla on oma PLC. Vesijärjestelmien logiikalle kuuluu lannoitteen sekoittaminen ja annostelu, sekä kourujen kastelut.

Kasvihuoneiden suuren fyysisen koon takia kasvihuoneen ohjaus on ollut järkevää hajauttaa. Kasvihuoneessa on viety hajautettuja I/O-yksiköitä ja taajuusmuuttajia lähemmäs toimilaitteita sähkökeskuksiin.



Kuva 8. Järjestelmäkaavio.

Logistiikkakaapissa (LGC1) on kaksi teollisuus-PC:tä, jotka ovat yhteydessä logistiikan PLC:hen. Vesijärjestelmien (IC1) ja kylvön (SC1) PLC:t on myös yhdistetty logistiikkakaappiin teollisuus Ethernet:llä (kuvassa sinisellä).

Jokaiseen logiikkaan on kytketty hajautettua I/O:ta ja taajuusmuuttajia. Nämä toimivat EtherCAT-kenttäväylän välityksellä (kuvassa keltaisella).

Käyttöliittymää suoritetaan logistiikkakaapissa (LGC1) ja kylvökaapissa (SC1) olevilla PC:illä. Logistiikkakaapissa on vielä yksi etäyhteyden luomiseen ja datan keruuseen tarkoitettu PC.

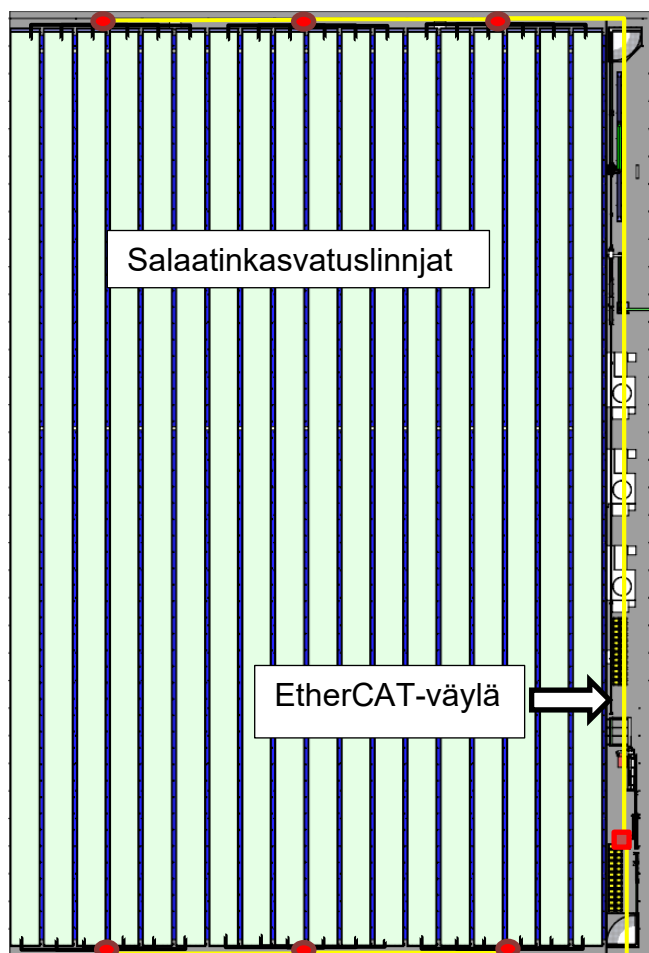
Järjestelmän hajautetussa I/O:ssa on kuitenkin ilmennyt vian diagnosointiin liittyviä ongelmia. Jos jokin EtherCAT-väylään liittyvä vika ilmenee, sen diagnosointiin on tarvittu PLC:n ohjelmointiin kykenevä henkilö. Diagnosointia haluttiin kehittää siten, että vikadiagnostiikka visualisoidaan käyttöliittymässä.

3.2 Kenttäväylä

Kasvatusjärjestelmän useimpien sensoreiden ja toimilaitteiden ollessa pitkien matkojen päässä PLC:stä on syytä miettiä, miten näitä ohjataan. Mikäli ohjaus toteutettaisiin keskitetysti, etäisyydet joillekin sähkömoottoreille ja sensoreille olisivat pitkät ja kaapelia kuluisi huomattava määrä. Se tulee kalliiksi isoissa mittakaavoissa, joten se ei ole hyvä vaihtoehto.

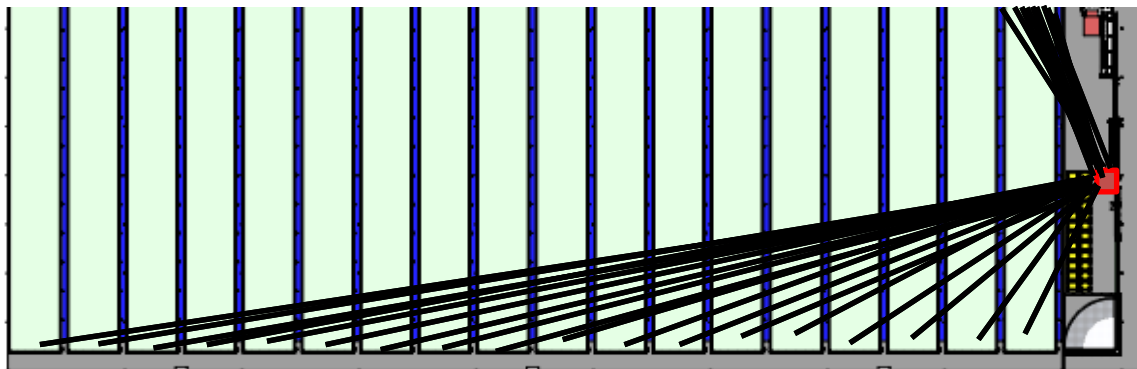
Toisena vaihtoehtona on ohjauksen hajautus kenttäväylän avulla. Tällä tavalla voidaan viedä toimilaitteiden ohjauksia kuten taajuusmuuttajia ja I/O-kortteja lähemmäs sijoitettuihin sähkökeskuksiin. Hajautettujen sähkökeskusten kautta järjestelmän ohjaamiseen tarvitaan huomattavasti vähemmän kaapelia.

Hajautetut keskukset saadaan osaksi järjestelmää yhden kenttäväyläkaapelin avulla. Ohjausyksiköiden kasvihuoneeseen hajauttamisen ansiosta kaapelikustannukset vähenevät huomattavasti.



Kuva 9. EtherCAT-väylä kasvihuoneessa.

Kasvatuslinjojen ohjaus on hajautettu kasvihuoneeseen sijoiteltuihin sähkökeskuksiin. Kuvassa 9 keltaisella kulkeva EtherCAT-väylä kulkee logistiikkakeskukselta (punainen neliö) kasvatuslinjojen molemmissa päissä sijaitseviin sähkökeskuksiin (punainen ympyrä), joista moottorien ohjauskaapelit (kuvassa mustalla) hajaantuvat linjoihin.

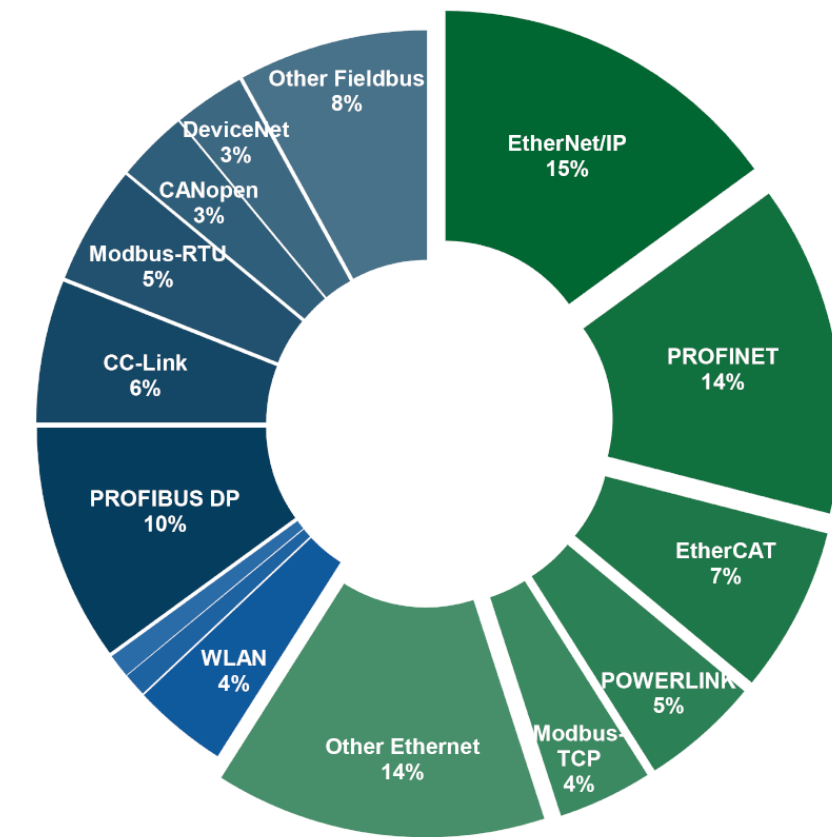


Kuva 10. Keskitetty moottoriohjaus.

Kuvassa 10 on esimerkki, miltä voisi näyttää, jos moottoriohjaus olisi toteutettu keskitetysti. Kauimpiin linjoihin ylettyvät kaapelit tulisivat olemaan turhan pitkiä, joten ohjauksen hajauttaminen on järkevää.

Useimmat kenttäväyläjärjestelmät perustuvat master-slave kommunikointiin. Master-laitteita on yleensä yksi, mutta joissain järjestelmissä, kuten CANopen tai DeviceNet, voidaan käyttää multi-master kommunikointia. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmässä on monta master-laitetta ja ne kommunikoivat väylän välityksellä vuorotellen.

Kommunikointitavan lisäksi kenttäväylät eroavat toisistaan topologin, nopeuden ja hinnan osalta. Kenttäväylää valittaessa pitää siis ottaa monia asioita huomioon.



Kuva 11. Kommunikointitekniikoiden markkinaosuuksien jakautuminen vuonna 2019 (Olson 2019).

Green Automation käyttää EtherCAT-kenttäväylää PLC:n ja toimilaitteiden väliseen kommunikointiin järjestelmissään. EtherCAT valittiin, koska se oli PLC-toimittajan selvästi parhaiten tuettu väylä, sekä sen joustavan topologian ja edullisuuden takia. Sillä päästään myös huomattavasti parempiin tiedonsiirtonopeuksiin ja nopeampiin sykli-aikoihin kuin useimmilla muilla kenttäväyläratkaisuilla.

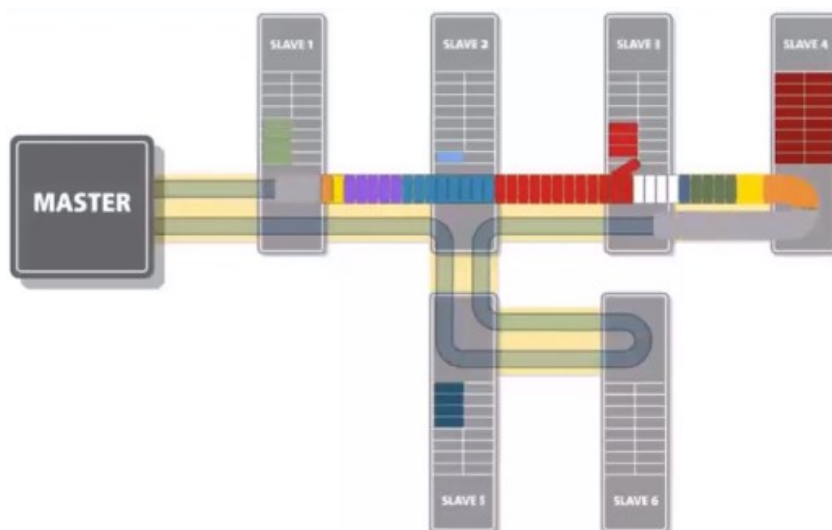
EtherCAT-väylän ja sensoreiden tai toimilaitteiden väliseen tiedonsiirtoon käytetään I/O-linkiä. Se on tietoliikenne standardi, joka mahdollistaa digitaalisen tiedonsiirron sensoreiden ja järjestelmän välillä. I/O-link sallii myös älykkäiden sensoreiden käytön järjestelmässä.

Ylemmällä tasolla on kahdenlaista kommunikointia. Master-laitteiden välinen kommunikointi toteutetaan EAP:tä (EtherCAT automation protocol) käyttäen.

TCP/IP-standardia käytetään Master-laitteiden ja muita järjestelmiä suorittavien PC:iden väliseen kommunikointiin.

EtherCAT eli ”Ethernet for Control Automation Technology on Ethernet-pohjainen reaaliaikainen kenttäväyläprotokolla. EtherCAT-teknologia on alunperin kehitetty Bechhoff Automationin toimesta. EtherCATin korkea tiedonsiirtonopeus ja reaaliaikaisuus mahdollistaa monien eri prosessien samanaikaisen käytön sekä suurien datamäärien nopean käsittelyn. (Nanotec).

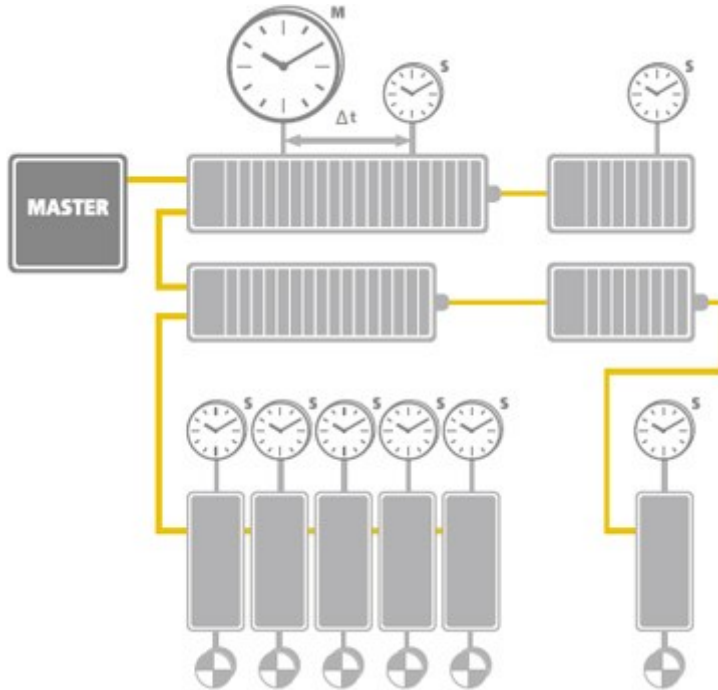
Pienten vasteaikojen ansiosta EtherCAT soveltuu erittäin hyvin liikkeenohjaukseen sekä I/O:hon. Reaaliaikaisuus on saavutettu ratkaisulla, jossa master-laite lähettää vain yhden kehyksen (eng. frame), joka kiertää jokaisen slave-laitteen läpi ja viimeinen slave-laite lähettää kehyksen takaisin. Kehyksen kulkiessa slave-laitteiden läpi laite lukee sille tarkoitetun datan ja kirjoittaa kehykseen dataa. (Sivola 2006).



Kuva 12. EtherCAT-kehyksen liikkuminen laitteiden läpi (Beckhoff 2022).

EtherCAT-järjestelmän hajautettu kello mahdollistaa erittäin pienen synkronointivirheen. Järjestelmässä ensimmäinen slave-laite toimii referenssikellona. Kehysten kulkiessa slave-laitteiden läpi vertaavat ne omaa

kelloaan referenssikelloon. Kehys kulkee slave-laitteiden läpi kahdesti syklin aikana; ensimmäisen kerran lähtiessä master-laitteelta ja toisen kerran palatessaan sinne. (Beckhoff 2022).



Kuva 13. EtherCAT-järjestelmän hajautetut kellot (Beckhoff 2022).

Vaikka EtherCAT-kenttäväylän ollessa nopeusominaisuuksiltaan erittäin hyvä vaihtoehto, ne eivät kuitenkaan olleet ratkaiseva tekijä väylän valinnassa Green Automation Group oy:lle. Järjestelmässä käytettävät PLC:t tukevat EtherCAT-väylää parhaiten, joten se oli luonnollinen valinta, vaikka prosessi ei sinänsä kaipaa nopeinta kenttäväylävaihtoehtoa.

3.3 Järjestelmän käyttöliittymä

Kasvatusjärjestelmää käytetään Green Automation Group Oy:n itse kehittämän käyttöliittymä ohjelmiston kautta. Useimmissa kasvatusjärjestelmissä kylvökoneen ja pakkaus koneen yhteyteen viedään kosketusnäyttö(kuva 14) , johon avataan kyseinen ohjelmisto. Vaikka periaatteessa käyttöliittymiä voidaan

avata rajaton määrä, järjestelmää ei tarvitse operoida muualta tuotannon toimiessa.



Kuva 14. Näyttö kylvökoneessa.

Käyttöliittymässä on visualisoitu eri sivuille kaikki järjestelmän laitteet. Sivuilta voidaan tarkkailla laitteiden toimintoja ja ohjata niitä manuaalisesti haluttaessa. Eniten kuitenkin tarvitaan pakkaussivua. Sieltä määritellään, mistä linjoista halutaan ottaa kouruja leikkaukseen. Linjojen tyhjentyessä niihin kylvetään automaattisesti lisää kouruja. Operaattorin tehtävä on määrittää käyttöliittymään mitä siemeniä halutaan kylvää mihinkin linjaan ja valvoa että kylvökoneessa on tarpeeksi siemeniä.

Käyttöliittymä on Green Automation Group Oy:n itse kehittämä ja ohjelmoima. Se hyödyntää Bechhoffin tarjoamaa ADS communication protocolia PLC:n kanssa kommunikointiin. Käyttöliittymä vastaanottaa PLC:ltä tilatietoja, jotka toimivat ehtoina laitteiden visualisoinneille. PLC:lle lähetettävät tiedot ovat yleensä laitteiden ohjauksia.

Järjestelmästä kerätään kasvatustietoa tietokantaan käyttöliittymä-ohjelmiston kautta. Tiedot visualisoidaan Green Automation Group Oy:n tarjoaman web-sovelluksen avulla, joka kommunikoi tietokannan kanssa php-rajapinnan välityksellä.

3.4 Logiikan ja käyttöliittymän ohjelmointi

PLC:n ohjelmointiin sekä konfigurointiin käytettiin TwinCAT 3 XAE(eXtended Automation Engineering) -ympäristöä. Käyttöliittymän muokkaaminen toteutettiin Visual Studio 2019 -ohjelmaa käyttäen.

PLC:tä ohjelmoidaan IEC61131-3-standardin mukaisella structured text (ST) -ohjelmointikielellä. Ohjelmat on luotu modulaarisesti, mikä tarkoittaa, että jokaiselle toiminnolle on luotu oma funktion block -moduuli. Moduuleita kutsutaan eri kohdissa ohjelmia ja samaa moduulia voidaan käyttää monissa kohdissa.

Visual studiolla ohjelmitava käyttöliittymä on myös toteutettu modulaarisesti. Käyttöliittymäsovellus toimii rajapintana PLC:n ja tietokannan välissä sillä PLC ja prosessi toimivat muista erillisessä verkkoavaruudessa.

4 VÄYLÄDIAGNOSTIIKAN SUUNNITTELU

Työ aloitettiin tekemällä diagnostiikan vaatimusmäärittely, jossa kuvattiin, mitä vaatimuksia lopputulokselle on. Suunnitteluvaiheessa käytiin läpi automaatiojärjestelmän puutteellista diagnostiikkaan. Työn tavoitteesta tuli kaksiosainen. Työssä haluttiin tutkia PLC:n puolella kenttäväylän diagnostiikkamahdollisuuksia sekä kehittää ratkaisu, jolla voitaisiin helpottaa kunnossapitoa ja vianetsintää. Työn toinen osa oli näiden tietojen kommunikointi rajapinnan ylitse sekä niiden visualisointi käyttöliittymässä.

Ethercat-väylän diagnosointia varten rakennettiin testauspiste, jossa väylään voitaisiin simuloida vikatilanteita. Testauspisteen PLC-logiikaksi valittiin CX9020 CPU -moduuli. Logiikkaan liitettiin kaksi EK1100 -moduulia EtherCAT-kaapelilla. EK1100 on EtherCAT-liitin, joka toimii linkkinä väylän ja EtherCAT-terminaalien, eli I/O-korttien ja toimilaitteiden välillä. Näihin moduuleihin liitettiin I/O-kortteihin kytkettiin optinen anturi ja kaksipainikkeinen painonappi, jossa molemmat napit olivat valaistuja. Väylään liitettiin myös kaksi Lenzen taajuusmuuttajaa.

4.1 EtherCAT-väylän diagnosointi

EtherCAT antaa mahdollisuuden verrata toteutunutta topologiaa suunniteltuun topologiaan käynnistyksen yhteydessä. Tämä helpottaa vian havaitsemista ja paikantamista huomattavasti. (EtherCAT Technology Group).

EtherCAT slave -laitteet vastaanottavat tietoa vain, jos kehys on vastaanotettu onnistuneesti. Jos slave-laite havaitsee virheitä, kirjoittaa se virhelaskuriin tiedon. Jokainen slave-laite, jonka läpi virheellinen kehys kulkee, kirjoittaa laskuriin tiedon. Virheellisen kehyksen saapuessa master-laitteelle sen viesti hylätään. Virhelaskuria hyödyntäen master-laite kykenee myös paikantamaan, mistä virhe on lähtöisin. (EtherCAT Technology Group).

EtherCAT-väylän ja laitteiden tilaa seuraavia Funktion blockeja löytyi Twincat 3 -kirjastoista valmiina. FB_EcGetAllSlaveStates seuraa slave-laitteen ja sen liitännän tiloja.

Constant	Value	Description
EC_DEVICE_STATE_INIT	0x01	Init State
EC_DEVICE_STATE_PREOP	0x02	Pre-Operational State
EC_DEVICE_STATE_BOOTSTRAP	0x03	Bootstrap State
EC_DEVICE_STATE_SAFEOP	0x04	Safe-Operational State
EC_DEVICE_STATE_OP	0x08	Operational State

Kuva 15. Slave-laitteiden mahdolliset tilat.

Slave-laitteiden on mahdollista saavuttaa kuvassa 15 esitetyt tilat. Operational Staten ollessa aktiivinen Slave toimii normaalisti. Mikäli slave pysyy Init-tilassa, se on epäkunnossa. Slave-laite käy muut listassa mainitut tilat läpi järjestelmän käynnistyessä. Laitteen link-tilasta voidaan selvittää, onko sen liitännät toiminnassa.

FB_EcGetConfSlaves kerää konfiguroitujen slave-laitteiden kuvan 16 mukaiset tiedot yhteen struct tyyppiseen muuttujaan. Struct on rakenne, joka voi sisältää eri tietotyyppisiä. Näistä tiedoista erityisesti sName eli Slave-laitteen nimi kiinnosti, sillä se haluttiin visuaaliseksi käyttöliittymään

```

nEntries: intern used!
nAddr: Address of one EtherCAT Slave.
sType: EtherCAT Type of one Slave.
sName: Name of one EtherCAT Slave.
nDevType: EtherCAT Device Type of one Slave.
stSlavelIdentity: Identity of one EtherCAT Slave (s. ST_EcSlavelIdentity).
nMailboxOutSize: Mailbox OutSize for one EtherCAT Slave.
nMailboxInSize: Mailbox InSize for one EtherCAT Slave.
nLinkStatus: Link Status for one EtherCAT Slave.

```

Kuva 16. FB_EcGetConfSlaves muuttujat.

Slave-laitteiden tilaa kuvastavat tiedot kerättiin Globaaleihin muuttujiin muuttujiksi SlaveName ja SlaveOK. Näiden lisäksi luotiin SystemOK muuttuja, johon kirjoitetaan, mikäli jokin Slave-laite ei ole Operational-tilassa.

4.2 Käyttöliittymän diagnostiikkasivu

Vanhaan käyttöliittymään lisättiin uusi ponnahdusikkuna, joka sisälsi kaikkien järjestelmään kuuluvien sähkökeskusten sisältämät master- ja slave-laitteet. Laitteet haluttiin visualisoida ja jaotella selkeästi. Visualisointi toteutettiin niin, että slave-laitteen vierestä nähtiin, missä tilassa se on.

Visualisoinnin alkuvaiheessa kävi ilmi, että kaikkia sähkökeskuksia ei saisi mahtumaan yhdelle sivulle. Sähkökeskukset lajiteltiin siten, että kaikki logistiikkakeskuksessa sijaitsevan master-laitteeseen yhteydessä olevat laitteet tulivat yhdelle sivulle ja muut toiselle.

The screenshot shows a diagnostic interface titled "Diagnostiikka". On the left, there is a "Logistiikkakeskus" table listing various devices with their status. The main area contains a grid of tables for "Istutus 1" through "Istutus 5" and "Pakkaus 1" through "Pakkaus 5". Each of these tables has columns for "Kortin nimi" and "Tila". The status "OK" is highlighted in green, while other statuses are in white. At the bottom, there are buttons for "Logistiikka", "Muut", and "Päivtä".

Kuva 17. Diagnostiikkaikkuna.

Diagnostiikkaikkunassa näkyy selkeästi jokaisen sähkökeskuksen sisältö listattuna. Tämän lisäksi jokaisen slave-laitteen vieressä on tilatieto. Tämä toteutettiin tietoruudukkona, jota voidaan selata alaspäin haluttaessa. Slave-laitteet järjestettiin ruudukkoihin nimijärjestyksessä, kuitenkin niin, että vikatilassa olevat slave-laitteet ovat aina listassa korkeimmalla. Ohjelma toteutettiin siten, että rivejä tulee tietoruudukkoihin aina oikea määrä, vaikka slave-laitteiden määrä on projektikohtainen.

Ohjelma rakennettiin siten, että tiedot luettiin PLC:ltä aina diagnostiikkasivua avattaessa SlaveOK- ja SlaveName-muuttujista. Diagnostiikkasivulle tehtiin vielä päivitys-painike, jolla pystyttiin lataamaan sivu uudelleen ja jolloin muuttujat päivittyivät. Hälytystietoja luettiin PLC:ltä alkuperäisessä ohjelmassa jo etusivulla, joten diagnostiikkahälytystä kuvaava SystemOK-muuttuja lisättiin luettavaksi.

4.3 Testaus ja käyttöönotto

PLC-koodiin tehtyjen muutosten jälkeen konfiguraatio ladattiin testauspisteellä olevalle CX9020-logiikalle. Käyttöliittymä avattiin tietokoneelle testauspisteen viereen. Uuden diagnostiikkasivun toiminnallisuutta testattiin käymällä kaikki toiminnot läpi. Testauspisteellä luotiin vikatilanteita väylälle ja seurattiin, miten se näkyy käyttöliittymään luodulla diagnostiikkasivulla.

Diagnostiikkalisäykset otettiin käyttöön projektityömaalla muun käyttöönoton yhteydessä. Lisäykset testattiin työmaalla simuloimalla vikatilanteita väylälle ja todettiin, että diagnostiikkasivu toimii määritellyllä tavalla.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Työn tarkoituksena oli kehittää automattisen kasvatusjärjestelmän diagnostiikkaa. Työ valmistui suunnitellussa aikataulussa ja nyt PLC-logiikkaan sekä käyttöliittymään tehdyt muutokset ovat käytössä juuri valmistuneessa kasvihuoneessa. Kyseiset lisäykset tulevat myös kaikkiin seuraaviin järjestelmiin, joita yritys toimittaa.

Työ tehtiin työn ajaksi saamieni vanhojen PLC:n ja käyttöliittymän ohjelmien pohjalta. Näin pystyin rakentamaan muutokset yhteensopiviksi vanhaan logiikkaan sekä käyttöliittymään. Yrityksen muista työntekijöistä oli apua, sillä heiltä saattoi saada eri näkökulmia ongelmiin. Myös internetistä löytyi apua joihinkin ongelmiin.

Hyvin tehdyn vaatimusmäärittelyn ansiosta työllä oli selkeä tavoite valmiina alusta alkaen. Työn vaiheita oli kuitenkin vaikea määritellä etukäteen tarkasti, joten ne selvisivät työn edetessä. Vaiheisiin vaikutti enimmäkseen se, mitä tietoja saatiin luettua väylästä ja miten. Kun tämä saatiin selvitettyä, oli tietojen käsittely käytännössä muuttujien luontia oikeisiin paikkoihin ja niiden käsittelyä sekä kommunikointia käyttöliittymän rajapinnan ylitse. Käyttöliittymään piti myös luoda oma pop-up-ikkuna, jossa väylästä luetut tiedot näytettiin. Tämä vaati jonkin verran testaamista, jotta siitä saatiin samalla visuaalisella tyyliä tehty kuin muukin käyttöliittymä ja jotta sivu olisi toiminnallisuudeltaan käyttäjäystävällinen.

Mielestäni lopputulos oli toimiva ja onnistunut. Käyttöliittymän diagnostiikkaikkuna tuo lisäapua vianetsintään käyttöönotto- ja tuotantovaiheessa, joten opinnäytetyön tavoitteet täytyivät. Erityisen tyytyväinen olen siihen että, käyttöliittymään ja PLC-logiikkaan tehtyjä muutoksia päästiin testaamaan työn loppuvaiheessa projektityömaalla. Tämä jopa ylitti tavoitteet, sillä oletuksena ei ollut päästä testaamaan sitä vielä käyttöönotettavassa järjestelmässä.

Diagnostiikan kehittämistä voitaisiin jatkaa laajentamalla väylän diagnosointia myös I/O-link-laitteisiin. Tämän lisäksi voisi selvittää, onko mahdollista laajentaa

sitä vielä esimerkiksi ylemmälle tasolle teollisuus-ethernetin diagnosointiin. Slave-laitteen liitäntöjä seuraavan link-tilan voisi lisätä käyttöliittymään. Se mahdollistaisi slave-laitteen vian ja laitteen liitännän vian erottelun.

Lähteet

ABB 2017. SCADA. *ABB*. 8. 12 2017. [Viitattu: 20. 12. 2021]

<https://new.abb.com/news/fi/detail/20212/abb-nimetty-maailman-johtavaksi-energia-alan-scada-jarjestelmien-toimittajaksi>.

Beckhoff 2022. EtherCAT - The Ethernet Fieldbus. *Bechhoff sivut*. 2022.

[Viitattu: 2. 3. 2022] <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat/>.

Beckhoff 2022. EtherCAT Distributed Clocks. *Bechhoff*. 2022. [Viitattu: 11. 2. 2022]

[https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ethercatsystem/2469102219.html&id=.](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ethercatsystem/2469102219.html&id=)

Blogger 2015. Blogger: PLC-solutions. *Blogger:n sivusto*. 2015. [Viitattu: 6. 1.

2022] <http://plc-solutions.blogspot.com/p/block-diagram-of-plc.html>.

Electrical 4 U 2021. Scada system: What is it? *Electrical 4 U sivusto*. 4. 4

2021. [Viitattu: 6. 1. 2022] <https://www.electrical4u.com/scada-system/>.

EtherCAT Technology Group EtherCAT. *EtherCAT Technology Group:n*

sivusto. [Viitattu: 1. 2. 2022.] <https://www.ethercat.org/en/technology.html#total>.

Hudemani, Mallikarjun G;yam. 2017. Programmable Logic Controller(PLC) in

Automation. *Advanced journal of gratuate research*. 24. 5. 2017 [Viitattu: 5. 1.

2022] <https://journals.aijr.org/index.php/ajgr/article/view/185/77>.

IQS directory 2021. Automation system. *IQS directory*. IQS directory, 20. 12.

2021 [Viitattu: 20. 12. 2021] <https://www.iqsdirectory.com/articles/assembly-machinery/automation-system.html>.

Nanotec. Ethercat. *Nanotec*. [Viitattu: 2. 1. 2022.]

<https://en.nanotec.com/knowledge-base-article/ethercat-motors-controllers>.

OAMK 2021. Prosessiautomaatio. *OAMK*. [Online] 20. 12. 2021 [Viitattu: 20.

12. 2021]

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/24_Prosessiautomaatio.pdf.

Olson, Eric 2019. What is the most popular industrial network protocol? *Engineering 360*. 28. 5. 2019 [Viitattu: 10. 1. 2022]
<https://insights.globalspec.com/article/11936/what-is-the-most-popular-industrial-network-protocol>.

Oulun yliopisto. Prosessitekniikan perusta. [Viitattu: 17. 2. 2022]
https://www.oulu.fi/sites/default/files/content/PTperusta_automaatio.pdf.

PLCynergy 2021. What is PLC? *PLCynergy:n sivusto*. 21. 1. 2021 [Viitattu: 6. 1. 2022] <https://plcynergy.com/what-is-plc/>.

Sivola, Risto 2006. Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet -ratkaisut automaatiojärjestelmissä. *Tampereen Teknillinen Yliopisto*. 16. 8. 2006 [Viitattu: 15. 1. 2022] <https://docplayer.fi/5426449-Reaaliaikaiset-teollisuus-ethernet-ratkaisut-automaatiojarjestelmissa.html>.

Turun ammattikorkeakoulu 2021. Opetusmateriaali. *Itslearning*. 2021. [Viitattu: 6. 1. 2022] <https://turkuamk.itslearning.com/>.

Väänänen, Ilkka 2015. Scada-järjestelmän kehityssuunnitelma. *Opinnäytetyö*. 2015. [Viitattu: 20. 12. 2021]
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92298/Vaananen_Ilkka.pdf?sequence=1&isAllowed=y.