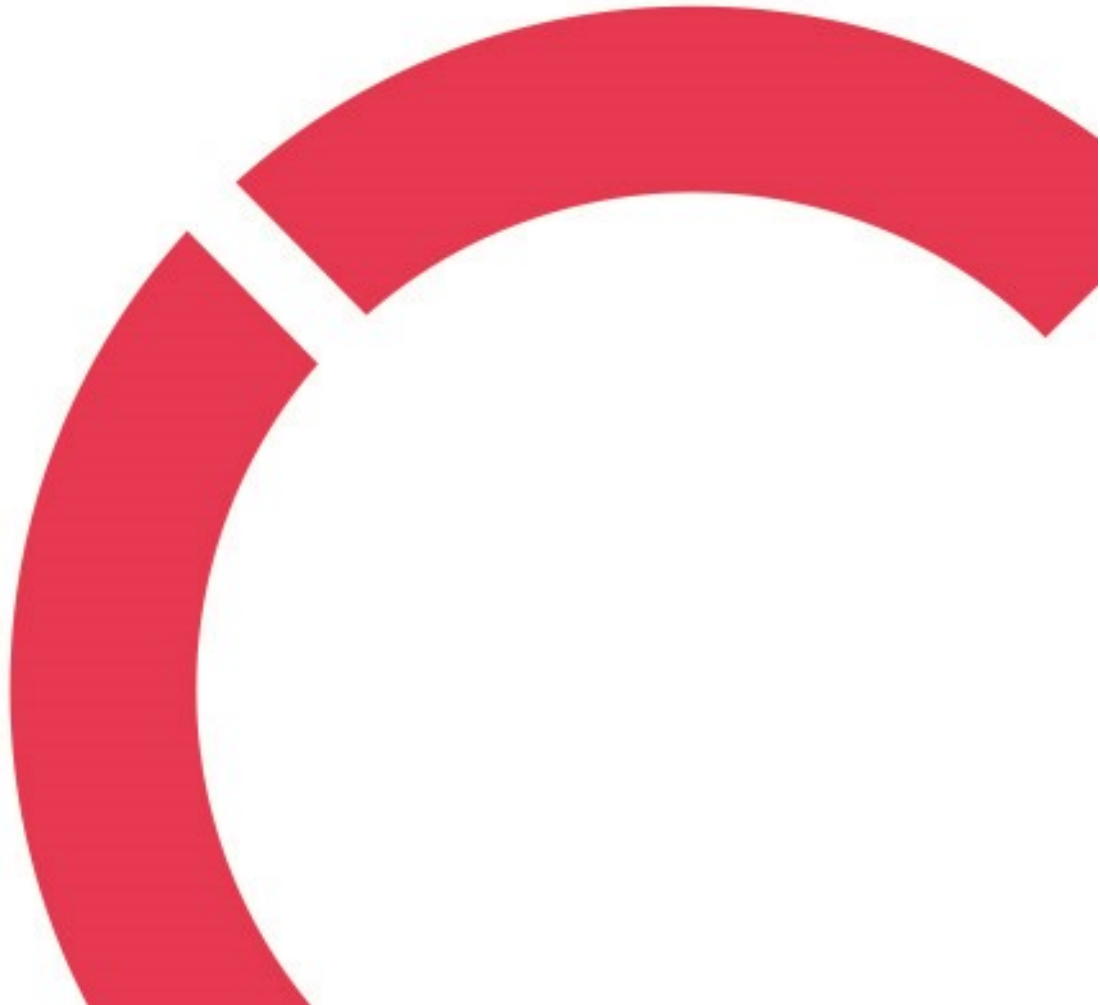


Juha Eskola

VIRTUAALILIITYNTÄ

Virtuaalilaitteiston yhdistäminen aitoon ohjauslaitteistoon

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Marraskuu 2023**



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Marraskuu 2023	Tekijä/tekijät Juha Eskola
Koulutus Insinööri, Sähkö- ja automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi VIRTUAALILIITYNTÄ. Virtuaalilaitteiston yhdistäminen aitoon ohjauslaitteistoon		
Työn ohjaaja Joni Jämsä		Sivumäärä 25 + 1
Työelämäohjaaja		
<p>Opinnäytetyössä rakennettiin ja testattiin virtuaaliliityntä, jonka avulla virtuaalista eli tietokoneohjelmalla simuloitua laitteistoa voidaan ohjata samanlaisella automaatiolaitteistolla ja kytkennällä kuin oikeaakin laitteistoa.</p> <p>Virtuaaliliityntä on mikro-ohjaimen avulla toteutettu laitteisto, jossa on sähköiset liitynnät mallintamassa simuloitavan virtuaalilaitteiston sähköisiä liityntöjä. Lisäksi sillä on ohjelmistokutsurajapinta, jonka kautta se on verkon kautta yhteydessä virtuaalilaitteistoon välittäen virtuaaliset mittaussignaalit sähköiseen rajapintaan sekä sähköiset ohjaussignaalit virtuaalilaitteistolle.</p> <p>Opinnäytetyön aihe syntyi henkilökohtaisesta kiinnostuksesta kehittää ammattiopiston automaatio-opetuksen harjoitusympäristöä. Tavoitteena oli tutkia kustannustehokkaita tapoja monipuolistaa ja myös monistaa harjoituksissa tarvittavia laitteistoympäristöjä.</p> <p>Työssä rakennettiin virtuaalinen nosto-ovea simuloiva malli eli virtuaalilaitteisto sekä todellisen nosto-oven ohjauslaitteistoa vastaava ohjauslaitteisto. Näiden avulla testattiin virtuaaliliitynnän toimintaa ja suorituskykyä.</p>		

Asiasanat
Automaatio, PLC, simulointi, virtuaalilaitteisto.

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date November 2023	Author Juha Eskola
Degree programme Bachelor of Engineering, Electrical and Automation engineering		
Name of thesis VIRTUAL CONNECTOR. Controlling virtual device using a real controller		
Centria supervisor Joni Jämsä	Pages 25 + 1	
Instructor representing commissioning institution or company		
<p>In the thesis, a virtual interface was built and tested, which allows virtual, i.e. computer simulated, equipment to be controlled with the same automation hardware and wiring as real equipment.</p> <p>A virtual interface is a microcontroller implemented hardware with electrical interfaces to model the electrical interfaces of the simulated virtual hardware. It also has a software call interface through which it communicates with the virtual hardware via a network, passing virtual measurement signals to the electrical interface and electrical control signals to the virtual hardware.</p> <p>The topic of the thesis arose from a personal interest in developing a training environment for automation teaching at a vocational college. The aim was to investigate cost-effective ways to diversify and also replicate the hardware environments needed for the exercises.</p> <p>The work involved building a virtual model simulating a lifting door, i.e. a virtual hardware system, and a control system corresponding to the control hardware of a real lifting door. These were used to test the operation and performance of the virtual interface.</p>		

Key words

Automation, PLC, simulation, virtual hardware.

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

AD-muunnos

Analogisen signaalin muunnos digitaaliseksi.

Analoginen

Signaali tai mitta-arvo, jonka tila voi olla mitä tahansa määriteltyjen ääriarvojen välillä. Esimerkiksi jännite väliltä 0–10V.

CC BY-SA

Creative Commons BY-SA on lisenssi, joka sallii alkuperäisen materiaalin vapaan kopioinnin, muokkaamisen ja hyödyntämisen. Ehtona on alkuperäisen lähteen nimeäminen ja tehtyjen muutosten merkitseminen. Oma tuotos on myös jaettava samalla lisenssillä eteenpäin.

DA-muunnos

Digitaalisen signaalin muuttaminen analogiseksi.

Digitaalinen

Signaali tai ilmiö, jolla vain kaksi mahdollista tilaa. Termillä voidaan myös viitata analogisen tiedon käsittelemistä numeroarvoina.

Galvaaninen erotus

Sähköisen laitteen osien täydellistä eristämistä toisistaan niin, että vaikka tieto tai energia siirtyykin niiden välillä, ei sähköistä yhteyttä ole.

IO

Input/Output on sähköinen tulo tai lähtö.

IP

Internet Protocol on tietoverkoissa käytetty reititysprotokolla, jonka avulla tietopakettit reititetään ip-osoitteen perusteella oikeaan kohteeseen lähiverkossa ja internetissä.

Kehitysympäristö

Tietokoneohjelmien kehitystyössä käytetty ohjelmistokokonaisuus, joka tyypillisesti sisältää sovellukset ja toiminnot ohjelman muokkaamiseen, kääntämiseen kohdelaitteistolle, testaamiseen ja dokumentointiin.

Optoerotin

Elektroninen komponentti, jossa tuloliittimet on sähköisesti eristetty lähtöliittimistä ja tieto niiden välillä siirtyy valon avulla.

PLC

Programmable Logic Controller on ohjelmoitava automaatiojärjestelmien ohjauslaite, käytetään myös termiä ohjelmoitava logiikka tai ohjelmoitava rele.

Protokolla

Tiedonsiirtokäytäntö, joka määrittää siirrettävän tiedon sisällön esittämisen- ja lähetystavan siten, että tieto tavoittaa vastaanottajan oikeanlaisena.

PWM

Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio, on modulointitapa, jossa digitaalisen tasajännitesignaalin pulssisuhdetta, eli ylä- ja alatilän kestoajan suhdetta muuttamalla voidaan jännitteen keskiarvo asettaa halutuksi maksimi- ja minimiarvon välille. PWM mahdollistaa yksinkertaisen tehonsäätötavan tai jännitesignaalin DA-muunnoksen.

Rajapinta

Kahden järjestelmän tai laitteen välisen liittymän määrittely. Voi olla laitteistojen sähköinen liityntä tai ohjelmistojen välinen tiedonvälityслиityntä.

UDP

User Datagram Protocol on tietoverkon kevyt kuljetusprotokolla, jonka avulla tieto voidaan lähettää paketteina verkon yli IP-protokollan avulla. Tiedon perillemeno ei varmisteta.

Virtuaalinen

Näennäinen asia, usein kyseessä on jokin todellista esinettä tai laitteistoa jäljittelevä ja toimintaa mallintava sähköinen kopio.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ	4
2.1 Teollisuusautomaatio	4
2.2 Rakennusautomaatio	4
2.3 Automaatiojärjestelmän rakenne	5
3 TYÖN RAJAPINTOJEN MÄÄRITTELY	7
3.1 Digitaaliset liitynnät	7
3.2 Analogiset liitynnät	8
3.3 Kenttäväyläliitynnät	8
3.4 Tietoliikenneprotokolla.....	9
3.5 Sovellusprotokolla	9
4 JÄRJESTELMÄN OSAT	10
4.1 Virtuaaliliityntä	10
4.1.1 Esimerkkilaitteisto	11
4.1.2 Ohjelmointiympäristö.....	13
4.1.3 Kirjastot	13
4.1.4 Laitteohjelmisto	14
4.2 Virtuaalilaitteisto.....	14
4.2.1 Kehitysympäristö	14
4.2.2 Rajapintakomponentit.....	15
4.3 Automaatiolaitteisto	16
4.4 Esimerkkijärjestelmä.....	16
5 TESTAUKSET	18
5.1 Toiminnallisuustestit.....	19
5.2 Suorituskykytestit	20
6 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Automaatiojärjestelmän rakenne.....	5
KUVIO 2. Periaatekuva järjestelmän rakenteesta.....	10
KUVIO 3. Virtuaaliliitynnän osat.....	11
KUVAT	
KUVA 1. Arduino Nano33 IoT	12
KUVA 2. Virtuaalinen nosto-ovi.....	16
KUVA 3. Kuva PLC-ohjelmakaaviosta.....	17
KUVA 4. Testilaitteisto	18

KUVA 5. PLC:n online -testaus	19
KUVA 6. PLC:n ja releiden aiheuttaman viiveen mittaus oskilloskoopilla	21
KUVA 7. Takaisinkytkentäsilman viiveen mittaus	21

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Datapaketin rakenne	9
---------------------------------------	---

1 JOHDANTO

Vuonna 2018 uudistettu Laki ammatillisesta koulutuksesta (11.8.2017/531) käynnisti ammatillisen koulutuksen reformin. Uudistuksen myötä koulutusta ja myös osaamisen arviointia pyritään aikaisempaa enemmän toteuttamaan työelämäyhteistyönä työpaikoilla. Monissa perustutkinnoissa vain osa tutkinnon perusteissa olevasta osaamisesta voidaan osoittaa käytännön työtehtävissä työpaikoilla. Koulutuksen järjestäjällä on siten tarve täydentäville oppimisympäristöille, joissa osaaminen voidaan täydentää ja osoittaa tutkinnon perusteiden mukaisesti.

Sähkö- ja automaatiotekniikan perustutkinnon opetuksessa tarvitaan automaatio-opetukseen oppimisympäristöjä, joissa on mahdollista opiskella erilaisten automaatiojärjestelmien rakennetta, toimintaa, asennuksia ja myös ohjelmointia. Koska työpaikkojen oppimisympäristöt ja mahdollisuudet oppia ja osoittaa automaatio-osaamista ovat hyvin vaihtelevia, on oppilaitoksen oman oppimisympäristönsä avulla kyettävä täydentämään osaaminen tutkinnon perusteiden mukaisesti. Monipuolinen automaatiotekniikan oppimisympäristö koostuu erityyppisistä ohjattavista laitteistoista ja prosesseista sekä niitä ohjaavasta automaatiosta.

Varsinkin pienemmälle koulutuksenjärjestäjälle on haastavaa toteuttaa riittävän monipuolisesti tarvittavia oppimisympäristöjä. Virtuaalisen oppimisympäristön avulla on mahdollista käyttää rajallisia resursseja tehokkaammin. Vaikka osa virtuaalisesta oppimisympäristöstä toteutetaan simuloinnin avulla, se voi kuitenkin sisältää myös todellisista laitteista vastaavia osia. Esimerkiksi kaapeloinnit ja mitaukset toteutetaan oikeilla komponenteilla, mutta muu laitteiston toiminta todetaan simuloinnin avulla. Varsinainen laitteisto tai prosessi ei ole automaatioasentajan kannalta kovin oleellinen, vaikkakin sen toiminta ja toiminnan ymmärtäminen on tärkeää automaation ohjelmoinnin kannalta.

Virtuaalinen laitteisto on ohjelmisto, joka jäljittelee oikeaa laitteistoa kenttälaitteet mukaan lukien. Sen avulla on mahdollista kustannustehokkaasti rakentaa automaatiojärjestelmiä, joiden toteuttaminen ei oppilaitoksen resursseilla muuten ole mahdollista tai järkevää. Laitteistojen monistaminen vaatii vain vähän lisää laiteresursseja (Väänänen 2012, 108). Virtuaalinen laitteisto mahdollistaa myös sellaisten prosessien automatisoinnin harjoittelua, joita ei turvallisuussyistä voida muuten tehdä.

Väänänen (2012) väitöskirja käsittelee virtuaaliympäristön rakentamista ja integroimista PLC-ohjelmointiympäristöön. Väänänen tutkimuksessa rakennettiin monitasoinen oppimisympäristö PLC-ohjelmoinnin opettamiseen ja selvitettiin opiskelijoiden ja opettajien kokemuksia sen käytöstä. Tuloksena todettiin kehittyneen virtuaaliympäristön käyttämisen soveltuvan erityisesti PLC-opiskeluun. Kohderyhmien kokemukset osoittivat sen tehokkaaksi menetelmäksi. Lähes kaikki tutkimukseen osallistuneet opiskelijat kokivat, että ovat oppineet PLC-ohjelmoinnin perusteet erittäin hyvin käyttämällä virtuaalisia malleja. Opiskelijoiden mielestä ympäristön käyttö oli myös erittäin helppoa ja rakennetut virtuaalimallit havainnollistavia. Asennuksen kannalta olennaista oli, että varsinainen PLC-ohjelmointijärjestelmä oli aito PLC-ohjelmointisovellus ja virtuaalimallia ohjattiin aidolla SoftPLC:llä. (Väänänen 2012, 108.)

Oppimisympäristöissä usein käytetyistä simulaattoreista virtuaalinen laitteisto eroaa fyysisen rajapinnan vuoksi. Virtuaalisen laitteiston automatisoinnissa voidaan käyttää samoja ohjauslaitteita ja ohjelmistoja kuin oikeallakin laitteilla, ohjaimet kytketään kenttäkaapelointiin kuten oikeinkin laitteiston yhteydessä. Kenttäkaapelointi ei kuitenkaan mene kenttälaitteille, vaan päättyy virtuaaliliityntään.

Virtuaalinen laitteisto koostuu ohjattavan laitteiston ja siihen liittyvien kenttälaitteiden toimintaa mallintavasta ja havainnollistavasta ohjelmistosta sekä fyysisestä rajapinnasta, jonka kautta virtuaalisesta prosessista tulevat ohjelmiston mallintamat mittaustiedot tulevat ohjaavalle automaatiolaitteistolle ja vastaavasti automaatiolaitteiston tuottamat ohjaustiedot välittyvät virtuaalisille toimilaitteille niin, että mallinnettu prosessi reagoi annettuihin ohjauksiin.

Virtuaalilaitteisto on graafinen tietokonesovellus, joka on lähiverkon kautta yhteydessä fyysiseen rajapintaan, josta tässä käytetään nimitystä virtuaaliliityntä. Virtuaalilaitteiston muodostava ohjelmisto koostuu kahdesta osasta, varsinaisen käyttöliittymän ja virtuaalisen laitteiston toimintalogiikan sisältävästä sovelluksesta sekä yhteyden virtuaaliliityntään muodostavasta palvelurajapinnasta.

Virtuaaliliityntä on lähiverkkoon liitettävä mikro-ohjainpohjainen laitteisto, joka sisältää sekä digitaaliset että analogiset tulo- ja lähtöliitynnät, joilla se jäljittelee virtuaalilaitteistossa sijaitsevien kenttälaitteiden tulo- ja lähtösignaaleja.

Tässä työssä oli tarkoitus rakentaa prototyyppi virtuaaliliitynnästä sekä ohjelmistorajapinnasta, joka yhdistää sen virtuaalilaitteistoon. Toiminnan testaamiseksi laadittiin sekä digitaalisia että analogisia

antureita ja toimilaitteita sisältävä virtuaalilaitteisto ja sitä virtuaaliliittynän kautta ohjaava PLC-laitteisto ohjelmineen. Varsinainen virtuaalilaitteistojen rakentaminen rajattiin työn ulkopuolelle. Rakennettava virtuaalilaitteisto tehtiin vain rajapinnan toimintojen testaamiseksi, eikä sen tarvinnut kaikilta osilta vastata reaali maailman laitteistoa eikä sisältää kaikkia lopullisessa laitteistossa tarvittavia käyttöliittymäelementtejä tai toimintoja. Vastaavasti ohjaava automaatiolaitteisto sisälsi vai testaamisen kannalta tarvittavat toiminnot. Myös lähiverkon tietoliikenteen tietoturvan varmistaminen rajattiin työn ulkopuolelle. Laitteisto on tarkoitettu suljetussa sisäverkossa käytettäväksi, eikä sillä ohjata tai valvota mitään henkilö- tai muun turvallisuuden kannalta kriittisiä toimintoja.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ja testata toimiva malli virtuaalisen laitteiston ohjaamiseen todellisilla ohjauslaitteilla. Taustalla oli tarve löytää tapoja automaatiotekniikan opiskelu ympäristön monipuolistamiseen kustannustehokkaasti virtuaalilaitteistojen avulla.

2 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Automaatio-termillä tarkoitetaan kokonaan tai osittain itsenäisesti tapahtuvaa laitteiston tai prosessitoiminnan ohjausta. Alun perin automatisointi liittyi lähinnä koneiden ja laitteistojen ohjaamiseen teollisessa tuotannossa. Tekniikan kehittymisen ja erityisesti digitalisaation ja mikroprosessorien myötä automaatiota on kuitenkin nykyään lähes kaikissa laitteissa ja prosesseissa. (Koskinen 2018, 8.)

Tietokoneiden laskentatehon kasvun ja sensoritekniikan kehityksen myötä koneet ovat monissa tehtävissä yliveraisia ihmiseen verrattuna. Tekoäly ja hahmontunnistus ovat mahdollistaneet sellaistenkin tehtävien automatisoinnin, joita vielä muutama vuosikymmen sitten pidettiin mahdottomana. Verkko-yhteyden ja pilvilaskennan avulla tekoäly voidaan toteuttaa hyvinkin vaatimattoman suorituskyvyn laitteistossa. Tässä työssä keskitytään kuitenkin perinteisiin automaatiojärjestelmiin, joista esimerkkeinä kuvaillaan teollisuusautomaation järjestelmiä ja rakennusautomaatiojärjestelmiä.

2.1 Teollisuusautomaatio

Teollinen automaatio jakaantuu kahteen päähaaraan, prosessiautomaatioon ja kappaletavara-automaatioon. Usein kyseessä on niiden yhdistelmä tai välimuoto. Prosessiautomaatiossa ohjataan jatkuvana virtauksena etenevää prosessia pyrkien pitämään sen tila ja tuote halutunlaisena. Säädön on reagoitava asetusarvojen, olosuhteissa ja materiaalissa tapahtuviin muutoksiin siten, että prosessin tila pysyy halutunlaisena. Tyypillisiä esimerkkejä ovat teollisuuden jalostusprosessit ja voimalaitokset. Kappaletavara-automaatiossa ohjataan tuotannossa tai varastossa esineiden käsittelyä, valmistusta, tarkastusta tai pakkausta kuljettimien, manipulaattoreiden ja robottien avulla, esimerkkeinä tuotantolinjat ja logistiikkakeskukset.

2.2 Rakennusautomaatio

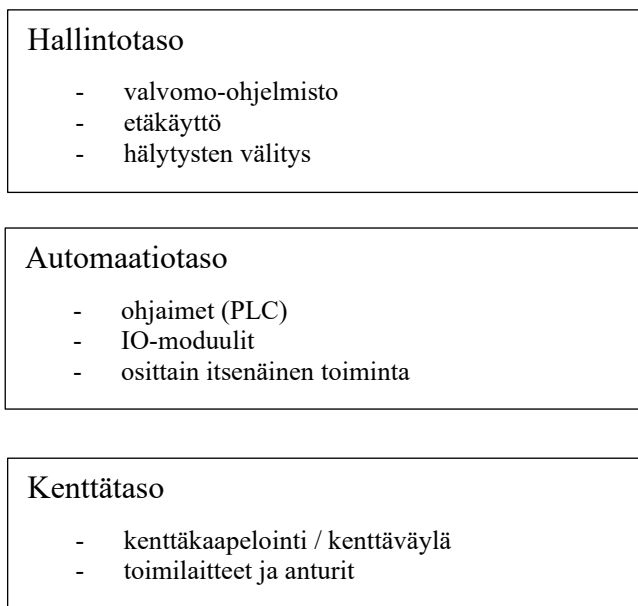
Rakennusautomaatio on hyvin laaja käsite. Sen tarkoituksena on rakennuksen olosuhteiden pitäminen tarkoituksenmukaisena energiatehokkaasti. Yleisimmin se sisältää rakennuksen lämmityksen ja ilman-

vaihdon ohjauksen olosuhteiden muutoksiin mukautuen. Pohjimmiltaan on kysymys lämmitys- ja ilmanvaihtoprosessien automaatiosta. Siinä mielessä rakennusautomaatio on lähellä prosessiautomaatiota. (Leppänen 2023, 11.)

Rakennusautomaatioon voi liittyä myös valaistuksen ja muiden kiinteistön toimintoihin liittyvien asioiden ohjausta. Esimerkiksi lukituksia voidaan ohjata aikataulujen mukaan tai seurata energian- ja vedenkulutusta ja tehdä hälytyksiä epäilyttävän kulutuksen nousun vuoksi.

2.3 Automaatiojärjestelmän rakenne

Vaikka automaatiojärjestelmä voidaan toteuttaa hyvin monella tavalla, voidaan siitä yleensä erottaa kolme eri tasoa; hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso. Laajoissa ja hajautetuissa järjestelmissä jakolinjat ovat vaikeammin hahmotettavissa. (Spangar 2019, 60.)



KUVIO 1. Automaatiojärjestelmän yleinen rakenne (mukaillen Spangar 2019, 60)

Automaatiojärjestelmän **kenttätasolla** on varsinainen ohjattava prosessi tai laitteisto. Sen tilaa havainnoidaan antureiden avulla ja toimintaa ohjataan toimilaitteiden avulla. Antureita ja toimilaitteita kutsutaan kenttälaitteiksi. Anturit muuttavat mittaustiedot sähköisiksi mittausviesteiksi ja kenttälaitteet

vastaavasti muuttavat sähköiset ohjausviestit mekaanisiksi tai sähköisiksi ohjaustoimenpiteiksi. Kenttäkaapelointi puolestaan välittää mittaus- ja ohjausviestit kenttälaitteiden ja automaatiolaitteiden välillä. Kaapeloinnin toteutus vaihtelee kohteittain. (Spangar 2019, 61.)

Kiinteistöautomaatiossa käytetään yleisesti kenttälaittekohtaisia kaapeleita keskukselta kenttälaitteille, kun taas teollisuusautomaatiossa toteutustavat vaihtelevat voimakkaasti. Yksi ääripää on keskitetty järjestelmä, jossa automaatiokeskuksen tai prosessiaseman liityntäyksiköiltä lähtevät runkokaapelit kentälle. Ristikytkentäkaapeissa kaapelointi haaroitetaan yhdessä tai useammassa vaiheessa kenttälaitteille. Toinen ääripää on hajautettu automaatio, jossa kenttälaitteet ovat älykkäitä, kenttäväylään liitettyjä, osittain autonomisia laitteita. Näiden välimuotona voi olla järjestelmä, jossa liityntäyksiköt on hajautettu kentälle kenttäkaapeloinnin helpottamiseksi ja kenttäväylä yhdistää ne keskuksiin.

Automaatiotasolla ovat laitteistoa tai prosessia ohjaavat automaatiolaitteet. Käytännössä ne ovat tietokoneita, jotka saavat tuloliitännöjen kautta antureilta tiedon laitteiston kulloisesta tilasta. Ohjelmiston ja säätöparametrien perusteella ne määrittävät lähtöliitännöjen kautta toimilaitteille lähetettävän ohjaustiedon. Yksinkertaisimmillaan automaatiolaite on kaikki toiminnot samassa yksikössä sisältävä kompaktisäädin tai se voi olla modulaarinen kokonpano sisältäen teholähteen, yhden tai useamman prosessoriyksikön sekä erillisiä tulo- ja lähtöyksiköitä. Automaatiotason laitteet voivat sijaita yhdessä keskuksessa tai järjestelmä voi olla hajautettu useisiin alakeskuksiin. Hajautetussa järjestelmässä automaatiolaitteet ovat osittain kenttälaitteisiin integroituna tai niiden läheisyyteen tuotuna. (Spangar 2019, 60.)

Hallintotason avulla seurataan ja ohjataan automaatiojärjestelmän toimintaa. Valvomo-ohjelmisto tallentaa valitut järjestelmän tapahtumat ja mittaustiedot mahdollistaen jälkikäteen tapahtuvan vianhaun ja toiminnan analysoinnin. Valvomo voi myös välittää hälytyksiä poikkeustilanteista tai huoltotarpeesta eteenpäin. Hallintotaso voidaan toteuttaa valvomo-ohjelmistolla palvelimessa tai se voi toimia osittain tai kokonaan pilvipalvelussa. (Spangar 2019, 59.)

3 TYÖN RAJAPINTOJEN MÄÄRITTELY

Automaatiolaitteiston rajapinta virtuaalilaitteistoon on sama kuin automaatiolaitteiston rajapinta kenttälaitteisiin. Perinteinen liityntä tehdään suoralla kenttälaittekaapeloinnilla automaatiolaitteistolta kenttälaitteille. Liitynnät ovat analogisia tai digitaalisia. Toinen vaihtoehto on kenttäväylän käyttö, jolloin useampia kenttälaitteita ohjataan ja seurataan saman liitynnän kautta. Modbus TCP -kenttäväylärajan lisääminen on mahdollista ohjelmistoa laajentamalla. Tässä työssä liitynnät toteutettiin pelkästään perinteisen kenttäkaapeloinnin rajapinnoilla. Rajapintana virtuaalilaitteistoon toimi lähiverkko ja sen tietoliikenne- ja sovellusprotokolla.

3.1 Digitaaliset liitynnät

Digitaaliset liitynnät ovat on/off-tyyppisiä tuloja ja lähtöjä. Hyvin yleisesti käytetään mekaanista (galvaanista) kosketinta tulona tai lähtönä. Lähtöliitynnässä on releen kosketin, joka toimii osana ohjattavaa virtapiiriä. Koskettimen etuna on yksinkertaisen toteutuksen lisäksi helposti toteutettava galvaaninen erotus ohjaavan ja ohjattavan laitteiston välillä. Heikkoutena on mekaaninen kuluminen ja rajallinen toimintanopeus. (Spangar 2019, 72–73.)

Digitaalinen lähtöliityntä voidaan toteuttaa myös puolijohdeilla, jolloin kytkimenä voi toimia transistori tai tyristori (triakki). Optoerotinta käyttämällä saadaan myös galvaaninen erotus toteutettua. Puolijohdeiden etuna on käytännössä kulumattomuus sekä lähes viiveetön toiminta. (Spangar 2019, 72.)

Digitaalinen tuloliitettä havaitsee kenttälaitteelta tulevan jännitteen ja virran. Kynnysarvon ylittävä/alittava signaali tulkitaan binäärisesti arvoltaan todeksi tai epätodeksi. Toimiakseen digitaalinen tulo tarvitsee kenttälaitteen kanssa yhteisen potentiaalin. Jos kenttälaitteessa on kytkinlähtö, se yhdistää tuloliitynnän tähän yhteiseen potentiaaliin. Kenttälaitte ilmaisee tilamuutoksen avautuvalla tai sulkeutuvalla koskettimella.

3.2 Analogiset liitynnät

Analoginen liityntä on käytännössä joko jännite- tai virtaviestiin pohjautuva. Rakennusautomaatiassa käytetään myös resistanssiviestiä, joka on tavallaan niiden yhdistelmä. Näistä jänniteviesti on yleisimmin 0–10 tai 2–10 voltin tasajännite, jossa 0V (2V) vastaa säätö- tai mittausalueen minimiä ja 10V sen maksimia. Jänniteviestin etuna on yksinkertainen toteutus. Virtaviesti puolestaan on yleensä 4–20 mA tasavirta, jossa 4 mA vastaa säätö- tai mittausalueen minimiä ja 20 mA sen maksimia. Vastaanottava laite syöttää liityntään tasajännitteen, jota lähettävä laite kuormittaa viestiä vastaavalla virralla. Virtaviestin etuna on tunteettomuus kohtuullisille kaapelipituuden vaihteluille ja yksinkertaisempi kaapelointi kun anturi saa toimintaansa tarvitsemansa energian virtasilmukasta.

Resistanssiviestissä liityntään syötetään jännite kiinteän resistanssin kautta. Anturina on esimerkiksi NTC- tai LDR-vastus, jonka resistanssimuutos aiheuttaa kuormitusmuutoksen, joka taas näkyy jännitemuutoksena liitynnässä. Kun anturin resistanssikäyrä tunnetaan, voidaan mittaustulos laskea jännitemuutoksesta. Anturin resistanssi on hyvin suuri verrattuna kaapeloinnin resistanssiin, joten kaapeloinnin aiheuttama virhe on merkityksetön. (Spangar 2019, 73–74.)

3.3 Kenttäväyläliitynnät

Kenttäväylä on digitaalinen tiedonsiirtoväylä, jonka avulla automaatiojärjestelmän ohjaus- ja mittausviestit kulkevat automaatiolaitteiden ja kenttälaitteiden välillä. Samaan väylään voidaan liittää useita laitteita, jotka tunnistetaan yksilöllisen laiteosoitteen perusteella. Kenttäväylä mahdollistaa paitsi mittaus- ja ohjausviestien välittämisen, myös laitteiden konfiguroinnin saman liitynnän kautta. Haittana on mutkikkaampi rakenne; kenttälaitteen on hallittava kenttäväylässä käytettävä protokolla. Yleisimmät kenttäväyläratkaisut ovat alun perin yhden suuren automaatiovalmistajan kehittämiä ja sittemmin muiden laitevalmistajien käyttöönottamia teollisuusstandardeja. (Spangar 2019, 108.)

3.4 Tietoliikenneprotokolla

Virtuaalilaitteen ja virtuaaliliittymän välisenä tietoliikenneprotokollana on UDP/IP. IP-protokolla on lähiverkossa ja internetissä käytettävä reititettävä verkkoprotokolla, joka huolehtii datapakettien kuljetamisesta oikealle vastaanottajalle IP-osoitteen perusteella. Protokolla ei ota kantaa pakettien sisältöön eikä siirron onnistumiseen.

Kuljetusprotokolla UDP lähettää ja vastaanottaa sovelluksen määrittämiä sanomia IP-protokollan avulla. UDP mahdollistaa vastaanotetun sanoman virheentarkistuksen, mutta ei varmista paketin perillemeno, kuten TCP-protokolla tekee. UDP on kevyempi sekä ohjelmiston että verkkokuormituksen kannalta ja soveltuu tilanteisiin, joissa kaikkien sanomien perillemeno ei ole kriittisen tärkeää.

3.5 Sovellusprotokolla

Sovellusprotokolla määrittelee virtuaaliliittymän ja virtuaalilaitteiston välillä lähetettävien UDP-pakettien rakenteen ja koodauksen. Tätä opinnäytetyötä varten määriteltiin oma sovellusprotokolla, jonka datapaketin rakenne on esitetty taulukossa 1.

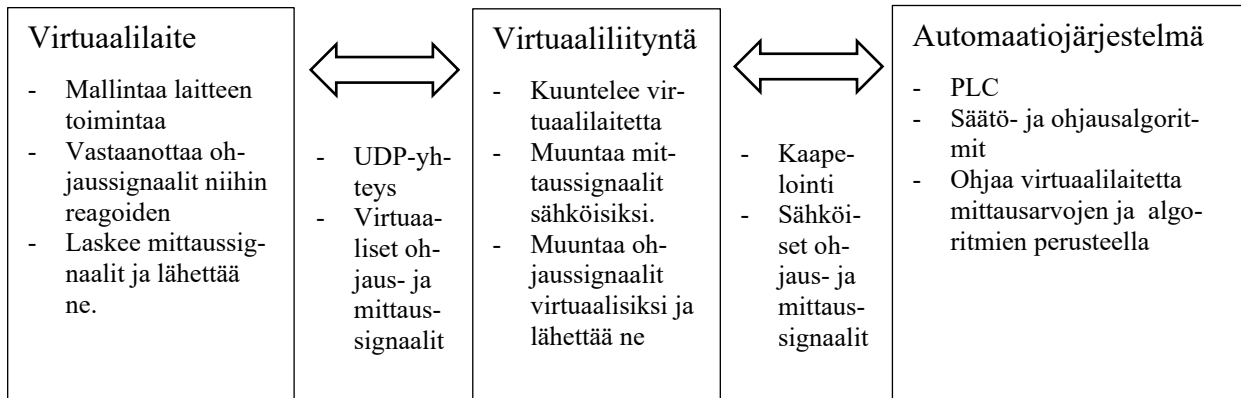
TAULUKKO 1. Datapaketin rakenne

Datapaketin pituus 8 tavua							
1	2	3	4	5	6	7	8
TUN- NISTE 0x05	PI- TUUS 0x08	IO-NU- MERO / KO- MENTO	DATA	DATA	DATA	DATA	EI KÄY- TÖSSÄ

UDP paketti sisältää 8 tavun datalohkon, jonka alussa on aina 0x5a ja 0x08. Kolmas tavu määrittää paketin sisällön: 0x00 – 0x7f ovat analogisten ja digitaalisten tulo-, ja lähtöliittymien tilaa välittäviä paketteja. Seuraavat kaksi tavua sisältävät varsinaisen datan. Jos kolmas tavu on 0x80 tai suurempi, kyseessä on ohjauskomento, jota käytetään tilakyselyihin ja niiden vastauksiin sekä verkko-osoitteen asettamiseen. Silloin tietotavuja voi olla useampiakin.

4 JÄRJESTELMÄN OSAT

Valmiin järjestelmän ytimenä on virtuaaliliityntä, joka muuntaa automaatiojärjestelmän ohjaus- ja mittaussignaalit virtuaaliselle laitteistolle lähetettäväksi ja sieltä vastaanotettaviksi digitaalisiksi viesteiksi. Kuvio 2 esittää periaatekuvan järjestelmän rakenteesta.



KUVIO 2. Periaatekuva järjestelmän rakenteesta

Automaatiojärjestelmän näkökulmasta virtuaaliliityntä on analogisten ja digitaalisten tulo- ja lähtöliityntöjen muodostama laitteisto. Virtuaalista prosessia simuloivan ohjelmiston näkökulmasta se on verkossa oleva palvelin, jolle prosessin mittaustulokset lähetetään ja josta tulevat ohjauskomennot prosessille. Virtuaalilaite on tietokoneohjelmisto, joka on yhteydessä virtuaaliliityntän kautta automaatiojärjestelmään.

4.1 Virtuaaliliityntä

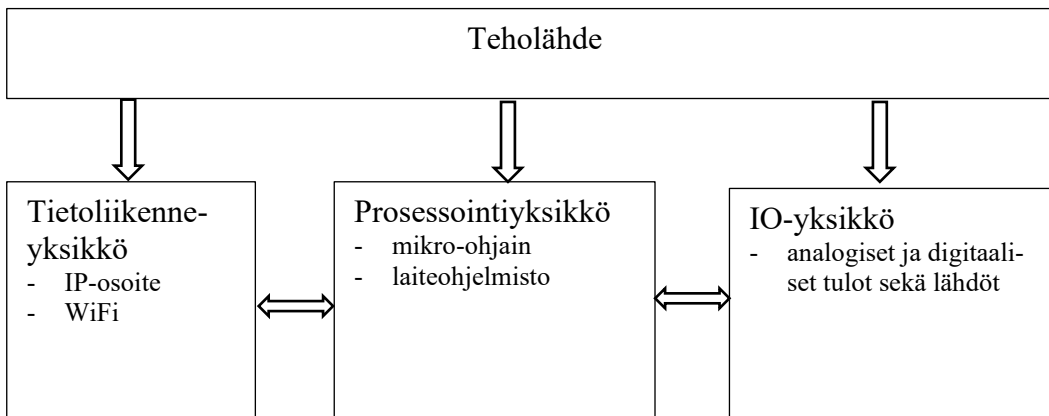
Toiminnallisesti virtuaaliliityntä on automaatiojärjestelmää ohjaavan automaatiolaitteiston peilikuva. Siinä on vastaava IO-liityntä varustettu tietokonelaitteisto ja sitä ohjaava ohjelmisto sekä tietoliikenneyhteys hallintotasoon. Toiminta on kuitenkin päinvastainen.

Virtuaaliliityntä ottaa tuloliityntöillään vastaan automaatiolaitteiston kentälaitteille lähettämät analogiset ja digitaaliset ohjaukset sekä välittää ne tietoliikenneyhteyden kautta virtuaalilaitteistolle. Virtuaalilaitteiston muodostava ohjelmisto laskee ohjauksien prosessin aiheuttamat muutokset ja välittää

virtuaaliset mittaustulokset virtuaalilaitteistolle, joka muuntaa ne analogisiksi ja digitaalisiksi mittaustuloksiksi. Nämä lähetetään virtuaaliliittymän lähtöliittymöiden kautta automaatiolaitteiston tuloliittymöihin.

4.1.1 Esimerkkilaitteisto

Virtuaaliliittymän laitteisto koostuu 1) teholähteestä, 2) prosessointiyksiköstä, 3) tietoliikenneyksiköstä sekä 4) IO-yksiköstä. Käyttöliittymä voidaan toteuttaa tietoliikenneyhteyden kautta tai käyttöliittymäyksiköllä, kuten näytöllä ja näppäimistöllä.



KUVIO 3. Virtuaaliliittymän osat

Prosessointiyksikön on kyettävä tarvittaviin reaaliaikaisiin laskutoimituksiin samanaikaisesti, kun se huolehtii sekä tietoliikenteestä virtuaalilaitteiston suuntaan että tulo- ja lähtöliittymöiden riittävä nopeasta lukemisesta ja kirjoittamisesta. Tietoliikenneyksikön on kyettävä lähettämään ja vastaanottamaan UDP-paketteja ilman että tietoja katoaa. IO-yksiköissä pitää olla automaatiolaitteiston IO-liittymöitä vastaavat liittymät. Niiden tyyppi ja määrä tulisi olla valittavissa kulloisenkin tarpeen mukaan. Käytännössä monikäyttöisyys edellyttää modulaarista rakennetta, jossa IO-yksiköitä on mahdollista vaihtaa tarpeen mukaan.

Testilaitteisto rakennettiin Arduino Nano 33 IoT -kehityskortin ympärille. Kortti valittiin ensisijaisesti sen vuoksi, että sellainen oli valmiiksi saatavilla ja se alustavissa kokeissa soittautui suorituskyvyltään

testilaitteistoon soveltuvaksi. Tärkeä ominaisuus oli myös kortille integroitu WiFi-moduuli, jolla tietoliikenneyhteys oli helppo järjestää ilman lisälaitteistoa. Kortin prosessorina on 32-bittinen SAMD21 Arm Cortex M0+ -suoritin. Ohjelmamuistia on 1 MB ja käyttömuistia 256 kB. Kortilla on USB-liityntä, jonka kautta kortille voidaan syöttää käyttöjännite ja siirtää käyttäjän sovellusohjelma. Käyttöjännite voidaan syöttää myös suoraan kortin liittimiin.



KUVA 1. Arduino Nano33 IoT

Kortilla on digitaalisten IO-liityntöjen lisäksi myös AD-muunnin ja PWM-lähtöjä, jotka mahdollistavat analogiset lähtöjen toteuttamisen. Tulo- ja lähtöliitynnät vaativat kuitenkin puskuroinnin jännitetasojen sovittamiseksi automaatiolaitteistojen suuntaan. Digitaaliliityntöjen jännitetasot ovat 0–3,3 voltia.

Testilaitteistossa digitaalilähdöt toteutettiin valmiilla relekortilla, josta voi kytkeä 1–8 relettä prosessorin lähtöihin. Releistä otettiin käyttöön kuusi. Tuloliityntöjen puskurointi tehtiin automaatiolaitteiston potentiaalivapaiden relelähtöjen avulla.

Analogisia lähtöliityntöjä ei puskuroitu lainkaan. Prosessorin tuottama PWM-signaali kytkettiin alipäästösuotimen kautta automaatiolaitteiston 0–10 voltin tulokanavaan. Sen jännitealueesta 2/3 jäi käyttämättä, mutta ohjelmallisella skaalauksella saatiin sama lopputulos tarkkuuden kustannuksella. RC-alipäästösuotimen komponenttiarvot $R = 1\text{k}\Omega$ ja $C = 4,7\ \mu\text{F}$ tuottavat ylärajataajuuden 34 Hz. Koska kortin PWM-taajuus on 732 Hz, siitä johtuvat häiriöt suodattuvat pois riittävästi. Suotimen las-kennallinen vaimennus 732 Hz taajuudella on 26,7 dB. Matalan ylärajataajuuden avulla saadun vakaan signaalin hintana on analogisen signaalin pienentynyt muutosnopeus. Muutos minimiin ja maksimin välillä on suurimmillaan $R \cdot C = 4,7\ \text{ms}$.

Automaatiolaitteessa ei ollut analogisia lähtökanavia lainkaan, joten niitä jäljiteltiin testeissä tulokanaviin kytketyillä potentiometreillä. Testeissä käytettiin myös silmukkakytkentää, jossa analogialähtö kytkettiin takaisin analogiatuloon. Testilaitteiston virtuaalilaitteeksi rakennettiin virtuaalinen nosto-

ovi, joka ei tarvinnut analogisia ohjauksia. Testilaitteistossa oli lisäksi pieni näyttö, joka näytti laitteiston langattomalta reitittimeltä saaman ip-osoitteen.

4.1.2 Ohjelmointiympäristö

Arduino Nano 33 IoT -kortin luontainen kehitysympäristö on Arduino IDE. Sovellusten tekeminen on mahdollista myös muita kehitysympäristöjä käyttäen, mutta Arduino IDE soveltui tähän työhön mainiosti, joten sitä käytettiin. Käytössä oli aluksi versio 1.8.19, joka ehti loppuvaiheessa päivittyä versioon 2.2.1. Versiomuutos ei vaikuttanut testilaitteiston ohjelmakoodiin ja laitteiston toimintaan mitenkään. Kehitysympäristön käyttöliittymä muuttui joiltain osin merkittävästi vaikuttamatta kuitenkaan tämän työn toteuttamiseen.

Arduino on sekä laitealusta että ohjelmointiympäristö, jonka taustalla on avoimeen sovelluskehitykseen nojaava kehittäjäyhteisö. Kaikki korttien kytkennät ja sovellusympäristön lähdekoodit ovat julkisia ja vapaasti käytettävissä CC BY-SA -lisenssillä. Niitä saa siis hyödyntää vapaasti myös kaupallisiin tarkoituksiin lähteet mainiten, mutta vastaavasti kaikki omatkin tuotokset pitää jakaa edelleen samalla lisenssillä myös muiden edelleen hyödynnettäväksi.

Arduino-kehitysympäristössä eri prosessoreiden eroja pyritään häivyttämään siten, että sovellukset olisivat mahdollisimman laiteriippumattomia. IO-ohjelmointiin on luku- ja kirjoitusfunktiot, joita käytetään samalla tavalla eri valmistajien prosessoreilla. Arduino-korteissa prosessorien IO-liitynnät nimitään yhtenevästi ja prosessorin portteihin perustuvaa ohjelmointia ei ole pakko käyttää. Rekistereiden käyttö on mahdollista, mutta se rajoittaa sovelluksen siirrettävyyttä muille alustoille.

4.1.3 Kirjastot

Lisäkortteja ja muita toiminnallisuuksia voidaan ottaa käyttöön kirjastojen avulla. Yhteisö ylläpitää laajaa ohjelmakirjastoa ja oheiskorttivalmistajat ovat tehneet käyttöä helpottavat kirjastot omille kortteilleen. Arduino Nano 33 IoT -kortin NINA-W102 -radiomoduulia käytetään WifiNINA-kirjaston avulla. UDP-protokollan tuki saadaan WifiUDP-kirjaston avulla. Myös monille sellaisille prosessorikortteille, jotka alun perin on tehty muille kehitysympäristöille, on tehty Arduino-sovite niin että niiden sovelluskehitystä voidaan tehdä Arduino-ympäristössä.

4.1.4 Laiteohjelmisto

Laiteohjelmisto on sovellus, joka ohjaa prosessoripohjaisen laitteen toimintaa. Esimerkkilaitteistolle tehtiin laiteohjelmisto eli Arduino-sovellus, joka huolehtii laitteen kaikista toiminnoista. Laitteen käynnistyessä alustus etenee kahdessa vaiheessa. Ensin ohjelmisto luo yhteyden langattomaan verkkoon. Testilaitteistossa verkon SSID ja salausavain on koodattu kiinteästi laiteohjelmistoon. Kun yhteydenmuodostus on onnistunut ja laite on saanut tukiasemalta ip-osoitteen, se näytetään laitteen näytöllä. Ohjelmisto jää kuuntelemaan UDP-yhteydenottoja.

Kun virtuaalilaitteistolle annetaan virtuaaliliittynnän ip-osoite, se avaa yhteyden samalla ilmoittaen oman ip-osoitteen. Virtuaaliliittynnän laiteohjelmisto tallentaa sen ja toiminta alkaa. Laiteohjelmisto skannaa laitteiston tulojen tilaa ja lähettää vuorotellen jokaisen tuloliittynnän tilan virtuaalilaitteistolle. Samalla se seuraa saapuvia UDP-paketteja ja mikäli siellä on lähtöliittytöjen tilaan liittyvä komento, ko. lähdöt asetetaan komentojen mukaisesti.

4.2 Virtuaalilaitteisto

Virtuaalilaitteisto on graafinen tietokonesovellus, joka simuloi todellisen laitteiston toimintaa ja näyttää sen visuaalisesti tietokoneen näytöllä. Samalla se vastaanottaa automaatiolaitteistolta virtuaaliliittynnän kautta tulevat ohjaukset sekä huomioi niiden vaikutuksen simuloituun prosessiin. Prosessista tulevat laskennalliset mittaustiedot välitetään virtuaaliliittynnän kautta automaatiolaitteistolle. Virtuaalilaitteisto voi sisältää myös käyttöliittymäelementtejä, joissa käyttäjän toimien seurauksena syntyneet virtuaaliset signaalit niin ikään välitetään automaatiolaitteistolle. Virtuaalilaitteisto voi sisältää myös mahdollisuuden prosessiin vaikuttavien ulkoisten olosuhteiden säätämiseen.

4.2.1 Kehitysympäristö

Virtuaalilaitteiston sovelluskehitys tehtiin Embarcadero Delphi -kehitysympäristössä. Käytössä oli aluksi Community Edition 10.4. Se on ei-kaupallisessa käytössä ilmainen versio. Kehitystyön aikana se päivittyi versioon 11.3. Embarcadero Delphi on aikaisemmin Borland Delphinä tunnettu, kaikkiin yleisimpiin PC-käyttäjärjestelmiin satavilla oleva kehitysympäristö, jolla voi tehdä sovelluksia myös mobiiliympäristöihin. Delphissä ohjelmointi pohjautuu Object-Pascal kieleen. Kehitysympäristössä on

kattava komponenttikirjasto, joka mahdollistaa vaivattoman käyttöliittymän rakentamisen ja verkkoyhteyksien ja -palvelujen käytön.

4.2.2 Rajapintakomponentit

Virtuaalilaitteiston rajapinta virtuaaliliittymään rakennettiin luomalla uudelleenkäytettävät ohjelma-komponentit. Ohjelmakomponentit koottiin kehitysympäristön komponenttipaketiksi. Tätä komponenttipakettia käyttämällä uuden virtuaalilaitteen rakentaminen voidaan tehdä poimimalla tarvittavat komponentit sovellukseen ja määrittämällä niiden väliset yhteydet simuloitavaan prosessiin sekä virtuaaliliittymään. Lisäksi tarvitaan simulointimalli, joka on simuloitun virtuaalilaitteen toiminnan määrittävä ohjelmakoodi. Mallin toimintaan vaikuttavat Output-komponenteilta tulevat ohjaukset ja simuloinnin tuottamat laskennalliset muutokset prosessin tilassa välittyvät Input-komponentille.

- VirtualConnector-komponentti vastaa UDP-pakettien lähettämisestä ja vastaanottamisesta.
- VCDigitalInput- ja VCDigitalOutput-komponentit ovat binäärisiä komponentteja, joilla on kaksi tilaa, True ja False. Komponenttiin voidaan liittää kummallekin tilalle oma kuva, jolloin ulkonäkö käyttöliittymässä muuttuu automaattisesti tilan muuttuessa. Kun komponentit linkitetään VirtualConnector-komponenttiin, VCDigitalInput-komponentin tilanmuutos välittyy automaattisesti virtuaaliliittymälle. Vastaavasti virtuaaliliittymästä tullut tilatieto päivittyy automaattisesti VCDigitalOutput-komponenttiin.
- VCAnalogInput- ja VCAnalogOutput-komponentit välittävät analogisen mittaus- / ohjaustiedon. Analogisille komponenteille voidaan asettaa myös mittayksikkö- ja skaalaustieto, jolloin muunnos mitta- tai ohjausviestiksi tapahtuu automaattisesti.

Käyttöliittymää rakennettaessa sovellukseen lisätään VirtualConnector-komponentti. Se on ei-visuaalinen komponentti, joka ei näy suorituksenaikaisessa käyttöliittymässä. Tulo- ja lähtökomponeetit linkitetään VirtualConnector-komponenttiin ja niille asetetaan numero, joka kertoo mihin virtuaaliliittymän kanavaan ne linkittyvät. Analogisille komponenteille asetetaan myös mittayksikkö ja muunnoskertoimet. Komponenttien tilanmuutoksiin voidaan linkittää prosessin simulointiin vaikuttavaa koodia tai simuloiva ohjelma voi käydä lukemassa kunkin komponentin tilan itse.

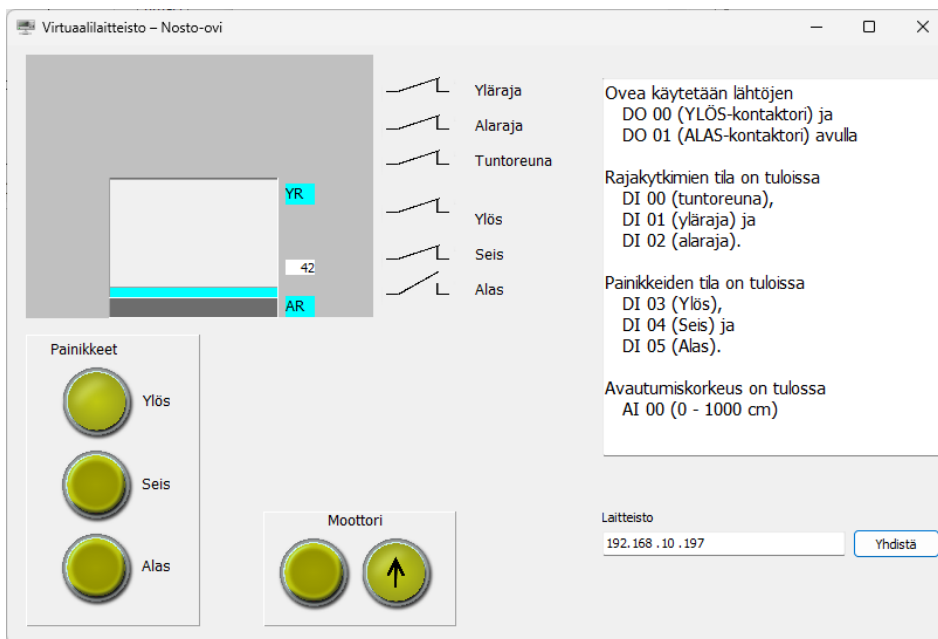
4.3 Automaatiolaitteisto

Automaatiolaitteistona käytettiin Siemens Logo8 sarjan PLC-mallia DC12/24 RC. Valintaa yksinkertaisti se, että kyseinen malli oli valmiiksi hankittuna. Lisäksi laitteen käyttöjännite 12 V DC sopi hyvin yhteen muun laitteiston kanssa. Laitteessa suoraan prosessoriyksikössä integroituna 4 potentiaalivapaata relelähtöä ja 8 digitaalista tuloa, joista neljää voidaan käyttää myös analogisena tulona. Analogisia lähtöjä ei tässä mallissa ole, mutta niitä voidaan lisätä tarvittaessa lisämoduulien avulla. Laitteessa on näytön ja muutaman painikkeen muodostama käyttöliittymä, jota myös sovellusohjelma voi käyttää. Lisäksi laitteessa on RJ-45 liitin Ethernet-verkkoon liittämistä varten.

Laitteen ohjelmointi tehtiin LOGO!Soft Comfort kehitysympäristön avulla. Kehitysympäristö mahdollistaa PLC-ohjelman tekemisen joko toimilohkokaaviona tai tikapuukaaviona. Ohjelman toimintaa voi simuloida kehitysympäristön sisällä. PLC-laitteeseen siirretyn ohjelman toimintaa voi seurata reaaliaikaisesti Online-Test -tilassa.

4.4 Esimerkkijärjestelmä

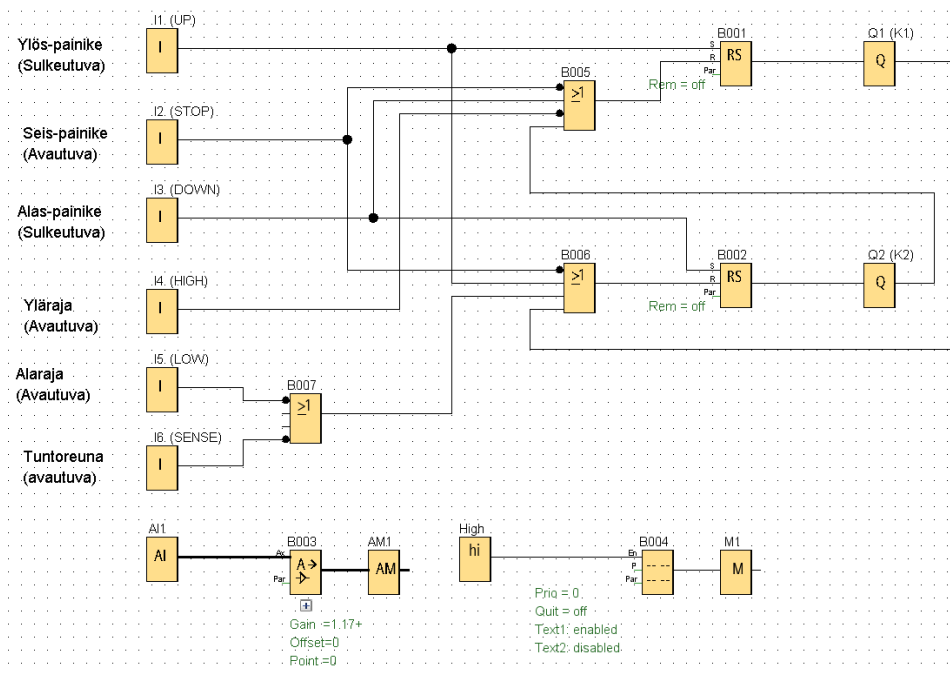
Esimerkkilaitteistoksi rakennettiin virtuaalinen nosto-ovi (KUVA 2). Virtuaaliovi-sovelluksessa on oviaukossa nouseva ja laskeva ovi, jonka alareunassa on paineherkkä tuntoreuna. Oviaukossa on liikkeen pysäyttävät ylä- ja alarajakytkimet. Oven käyttöliittymään kuuluvat kolme ohjauspainiketta ja



KUVA 2. Virtuaalinen nosto-ovi

oven avautumiskorkeutta ilmaiseva numeronäyttö. Painikkeiden ja rajakytkimien tila ilmaistaan kytkinsymbolien avautumisella tai sulkeutumisella sekä värimuutosten avulla. Rajakytkimien turkoosi väri muuttuu avautuessa punaiseksi. Painikkeiden tumma vihreä muuttuu painettaessa vaaleammaksi. Moottorikontaktoreja ohjaavat digitaalitulot ovat ulkonäöltään painikkeiden kaltaisia, mutta niihin ilmestyy suuntanuoli ilmaisemaan kontaktorin toimintaa. Avautumiskorkeutta mitataan analogisella anturilla. Lisäksi sovelluksessa on kytkentäohje virtuaaliliittymän kytkemiseen sekä tekstikenttä virtuaaliliittymän ip-osoitteelle yhteyden muodostamista varten.

Virtuaalisen oven ohjausta varten tehtiin PLC-ohjelma, jossa on tavanomainen rajakytkimillä ja ohjauspainikkeilla toteutettu suunnanvaihto-ohjauskytkentä. Lisäksi siinä on analogisen tulon mittaus, jonka antama tulos skaalataan vastaamaan oven avautumiskorkeutta. Lukema näytetään laitteen näytöllä. Kuvassa 3 on esitetty ruutukaappaus LOGO!Comfort- ohjelmasta (KUVA 3).



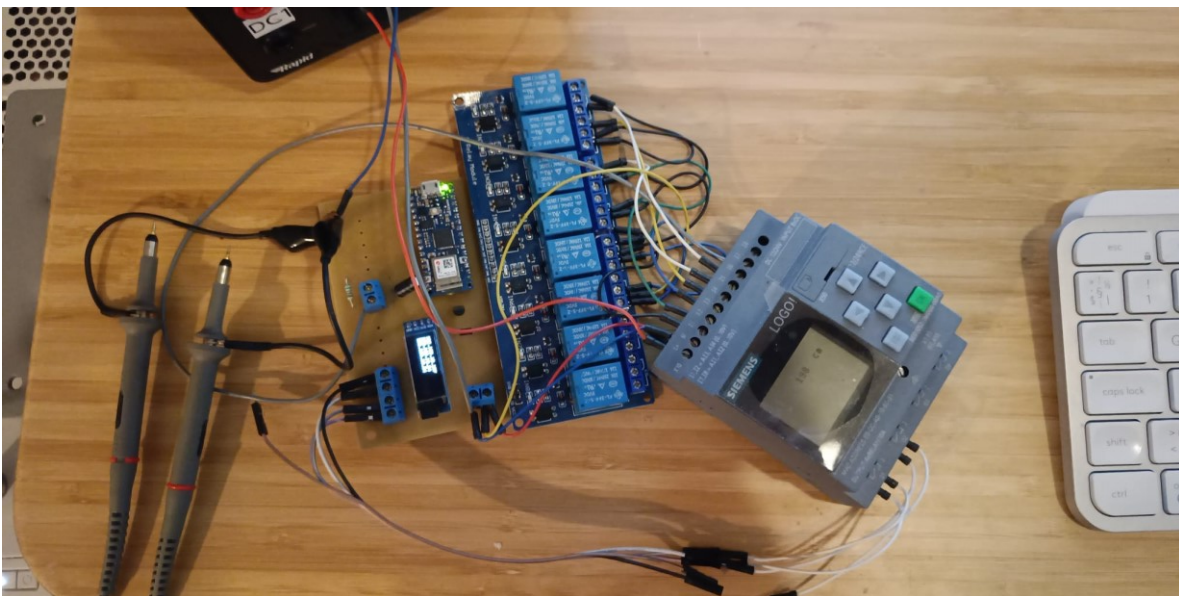
KUVA 3. Kuva PLC-ohjelmakaaviosta

5 TESTAUKSET

Toimintaa testattiin kahdella eri laitteistokokoonpanolla. Pelkistetty koekytkentäalustalle rakennettu testilaitteisto sisälsi painonappeja ja ledejä digitaalisten toimintojen testaamiseen sekä potentiometrejä ja numeronäyttöjä analogisten toimintojen testaamiseen.

Toinen laitteisto oli varsinainen prototyyppi, jossa oli kuusi potentiaalivapaata relelähtöä, neljä digitaalituloa sekä analogisia tuloja ja lähtöjä kaksi kumpiakin. Lisäksi mukana oli pieni graafinen OLED-näyttö. Piirilevyn prosessorina oli Arduino Nano33 IOT -kehityskortti, jossa on varsinaisen prosessorin lisäksi Wifi-moduuli verkkoyhteyttä varten. Tällä laitteistolla tehtiin lopulliset testaukset ja suorituskyky mittaukset. Laitteiston io-kapasiteetti oli riittävä nosto-ovi -esimerkkilaitteistoon, jolla havainnollistettiin virtuaalilaitteiston ohjausta oikealla automaatiolaitteella, tässä tapauksessa Siemens Logo! -PLC:llä.

Kytkenän ja piirilevyn suunnittelu tehtiin Autodesk Eagle -ohjelmalla. Liitteenä on kuva suunnitelmista (LIITE 1). Piirilevy valmistettiin piirilevyjyrsimen avulla. Kuvassa näkyy valmis testilaitteisto (KUVA 4). Kuvassa näkyy myös piirilevyyn liitetty valmiina hankittu relekortti.



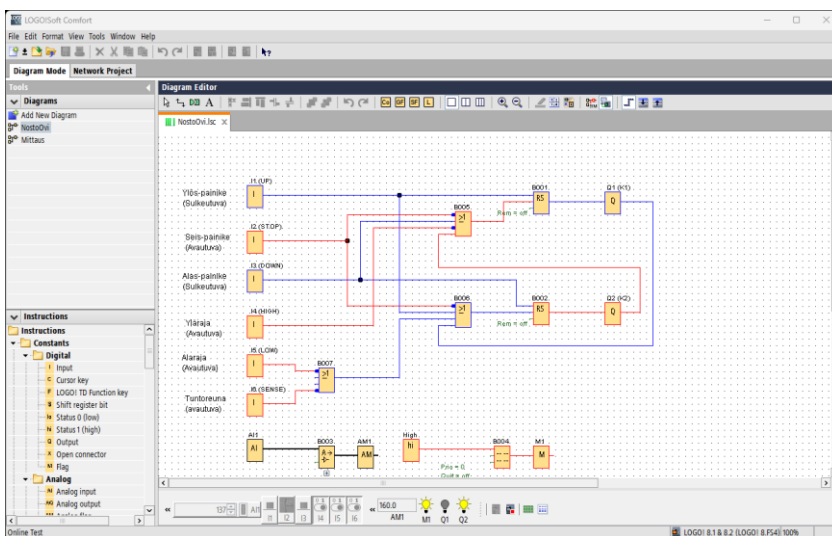
KUVA 4. Testilaitteisto

5.1 Toiminnallisuustestit

Ensimmäisen vaiheen testeissä virtuaaliliittynän toimintoja rakennettiin vaihe vaiheelta ja samalla virtuaalilaitteeseen lisättiin ominaisuuksia. Kun pelkistetyn testilaitteiston avulla oli saatu kaikki toiminnot rakennettua, siirryttiin toiminnallisiin testeihin varsinaisella nosto-ovi -testiympäristöllä.

Vaikka laitteisto toimikin heti aluksi hyvin, käyttöliittymäkomponenteissa riitti hiottavaa. Tavoitteena oli tehdä helposti uudelleenkäytettävät komponentit, joiden avulla erilaisten virtuaalilaitteiden tekeminen olisi vaivatonta. Toimintojen muutoksista seuranneet sivuvaikutukset aiheuttivat välillä yllätyksiä ja paljon lisätyötä. Lopulta kuitenkin lopputulos vastasi tavoitteita.

Toiminnallisuustestissä PLC:n sisäistä toimintaa seurattiin Online-tilassa, jolloin LOGO!Soft Comfort -sovellus näyttää ohjelmalohkojen sekä tulojen ja lähtöjen tilat reaaliaikaisena (KUVA 5). Toiminnallisuustestauksessa verrattiin virtuaalilaitteen ja online-testin näkymiä ja kokeiltiin kaikkia virtuaalilaitteen toimintoja sekä poikkeustilanteita testaten.



KUVA 5. PLC:n online-testaus

5.2 Suorituskykytestit

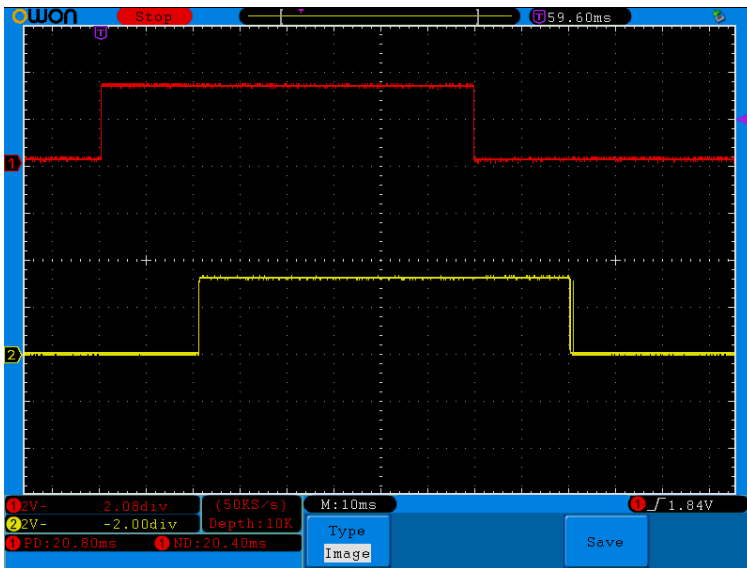
Suorituskykytesteillä mitattiin virtuaaliliitynnän aiheuttamaa ohjaus- ja mittausviivettä ja sen vaihtelua. Lisäksi testattiin lähiverkon kuormituksen vaikutusta suorituskykyyn sekä myös tietokoneen muun kuormituksen vaikutusta.

Koska mittaus- ja ohjaussignaalien toinen osapuoli on aina PC-ohjelmassa oleva muuttuja tai funktio ja toinen osapuoli fyysinen laite, on niiden välisen viiveen mittaaminen hankalaa. Siksi mittaus tehtiin muodostamalla takaisinkytkentäsilmukka, jonka kokonaisviive voitiin mitata samasta päästä järjestelmästä. Tässä tapauksessa mittaus tehtiin virtuaalilaitteessa. Testiä varten tehtiin virtuaalilaitte, joka kytki yhtä lähtöä päälle ja pois. PLC:lle tehtiin ohjelma, jossa tulo ohjasi suoraan lähtöä, joka yhdistettiin virtuaalilaitteen tuloon. Virtuaalilaitte mittasi ohjaussignaalin viiveen sekä päälle että pois kytkennässä. Virtuaalilaitteessa ajanmittaus perustuu käyttöjärjestelmältä saatuun aikatietoon, jonka tarkkuus riippuu laitteistosta ja käyttöjärjestelmästä. Mittauksissa käytetyllä kokoonpanolla aikatiedon resoluutio oli 0,1 μ s. Kuitenkin käyttöjärjestelmän ja muiden sovellusten prosessien vuorottelusta johtuvat ennakkoimattomat viiveet aiheuttavat sen, että mittauksista tulee tätä suurempia vaihteluja.

Virtuaaliliityntä ja PLC käyttävät molemmat mittaussilmukkaa, joka skannaa tulojen tiloja tekee tarvittavat laskelmat ja asettaa lähdöt vastaavasti. Tästä seuraa, että mikäli testissä käytetään kiinteää taajuutta, voi mittaustulos olla harhaanjohtava riippuen siitä, miten se tahdistuu laitteistojen päivityssilmukan kanssa. Tämän vuoksi virtuaalilaitteen lähdön kytkentähetkeä muutettiin satunnaisesti. Lähdön tila vaihdettiin 50–150 ms edellisen tilanvaihdon kierrettyä silmukan kautta takaisin.

Mittaussilmukassa viivettä aiheuttaa virtuaalilaitteen itsensä ohjelmistoviive, verkkoyhteyden viive, virtuaaliliitynnän laiteohjelmiston viive, virtuaaliliitynnän rele sekä PLC:n ohjelma ja lähdön rele. Näistä kolmen viimeisen yhteisvaikutus voidaan mitata erikseen oskilloskooppia käyttäen. (KUVA 6.)

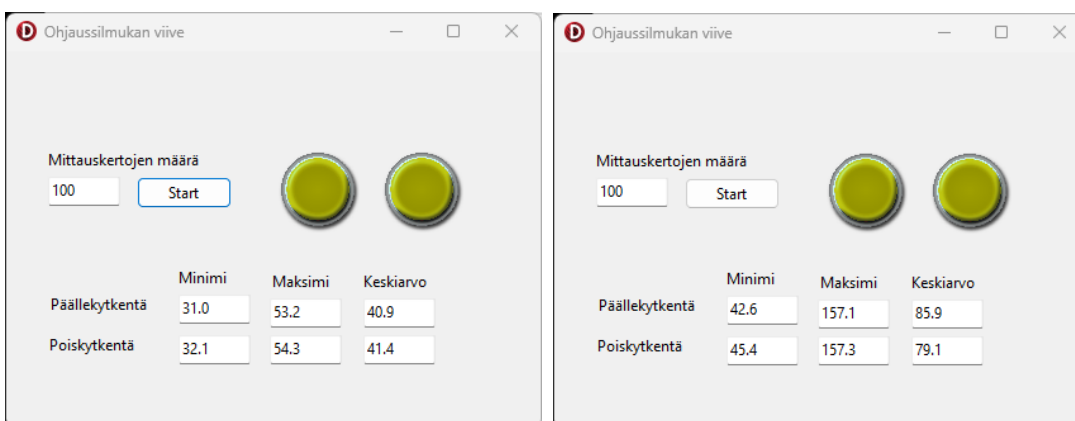
Mittaus tehtiin virtuaaliliitynnän releelle menevästä signaalista (CH1) ja PLC:n lähtöreleeltä (CH2). Viive oli sekä päälle- että pois kytkennässä n. 20 ms (PD- ja ND- arvot kuvassa 6). Eri mittauskertojen välillä oli maksimissaan 3 ms vaihtelua aikaisemmin mainitun tahdistumisen vuoksi.



KUVA 6. KUVA 6. PLC:n ja releiden aiheuttaman viiveen mittaus oskilloskoopilla

Verkon aiheuttamaa viivettä arvioitiin PING-testillä tietokoneelta virtuaaliliitynnälle. Kuormittamattomassa verkossa ping-arvo oli 2–3 ms. Kuormittamalla verkkoa yhtäaikaisilla tiedostokopioinneilla ping-arvo kasvoi 15–20 ms:iin.

Kokonaisviiveen mittaukset tehtiin mittauksista varten tehdyllä testiohjelmalla. Se kytkee lähdön päälle ja pois asetetun määrän kertoja, mittaa jokaisen ohjauksen takaisinkytkentäviiveen, rekisteröi pisimmän ja lyhimmän viiveen sekä laskee niiden keskiarvon. Kuvassa näkyy kuormittamattoman ja kuormitetun verkon ero mittaustuloksissa. (KUVA 7.)



KUVA 7. Takaisinkytkentäsilman viiveen mittaus

Mittaustuloksissa oli pientä vaihtelua mittauskertojen välillä. Kuormittamattoman verkon tapauksessa minimiviive oli aina n. 30 ms. Siitä 20 ms selittyi releiden ja PLC:n viiveellä. Todellinen viive siis

vaihtelee 10–40 ms keskiarvon ollessa n. 20 ms. Raskaasti kuormitettuna maksimiviive kasvaa n. 100 ms:n verran ja keskiarvokin n. 40 ms.

Mittauksissa havaittiin myös yksittäisiä viivepiikkejä. Nämä toistuivat hyvin satunnaisesti johtuen ilmeisesti käyttöjärjestelmän ja muiden käynnissä olevien sovellusten tai taustaprosessien aiheuttamista viiveistä. Niiden esiintyminen ilmeni yksittäisinä maksimiviiveen hyppäyksinä samaa mittausta toistettaessa. Keskiarvossa ja minimissä ei tapahtunut merkittävää muutosta, mutta suurin mitattu viive saattoi olla kaksinkertainen muihin mittauskertoihin verrattuna.

6 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli kehittää ja testata toimiva malli, jolla virtuaalista laitteistoa voisi ohjata todellisia ohjauslaitteita käyttäen. Työssä rakennettiin prototyyppi virtuaaliliitynnästä ja ohjelmistorajapinnasta, joka yhdistää sen virtuaalilaitteistoon. Toiminnan testaamiseksi laadittiin digitaalisia ja analogisia antureita ja toimilaitteita sisältävä virtuaalilaitteisto ja sitä virtuaaliliitynnän kautta ohjaava PLC-laitteisto ohjelmineen. Rajapinnan toimintojen testaamiseksi rakennettiin virtuaalilaitteisto, joka sisälsi vain testaamisen kannalta tarvittavat toiminnot.

Toiminnallisten testien ja suorituskykymittausten perusteella virtuaaliliityntä toimi niin kuin oli ajateltukin. Suurin ongelma toiminnassa oli viiveiden vaihtelu satunnaisesti ja kuormitustilanteen mukaan. Tilanteissa, jossa ohjausten tarkka ajoitus on tärkeää, havaittu epätarkkuus voi olla liikaa. Laitteiston käyttöön opetustarkoituksessa mitatun suuruusella viiveellä ja sen vaihtelulla ei kuitenkaan ole vaikutusta, kunhan mahdollisten viiveiden merkitys tiedostetaan oppimisympäristöjä suunnitellessa.

Verkon ruuhkautuminen on odotettu tapahtuma, johon voi jonkin verran vaikuttaa laitteisto- ja ympäristövalinnoilla. Langallisessa verkossa viiveet ovat paremmin hallinnassa. Myös verkon rakenteella ja kytkinlaitteilla voidaan ruuhkan vaikutusta vähentää. Laitteistovalinnoilla voi myös vaikuttaa suorituskykyyn esimerkiksi vaihtamalla releiden tilalle optoerottimet ja valitsemalla tehokkaamman prosessorin. Myös laiteohjelmistoa parantamalla voidaan viiveitä pienentää. PLC:n viiveellä ei ole virtuaaliliitynnän toiminnan kannalta merkitystä, sillä se on vastaava kuin todellisellakin laitteistolla, joten sillä kuulukin olla viivettä.

Toinen havaittu puute oli analogisten signaalien epätarkkuus. Suurimpana syynä on käytetyn laitteiston heikot analogiaominaisuudet. Virtuaaliliitynnän DA-muunnos tehtiin 3,3V PWM-muunnoksella, kun todellisuudessa tarvittaisiin 10V:n oikea DA-muunnin. AD-muunnos piti kutistaa 0–3,3V:n alueelle. Vaikka Arduinon A/D-muunnin on 10-bittinen, se käyttää referenssijännitteenä prosessorin käyttöjännitettä, joka ei ole täysin vakaa.

Laitteisto osoitti kuitenkin toimivuutensa ja tällaisenaakin se olisi suorituskyvyltään ja perusominaisuuksiltaan moneen opetusympäristöön riittävä. Kun vaihdetaan tehokkaampi prosessori, lisätään lan-

gallinen 1Gb:n verkkoyhteys, optoerottimilla varustetut digitaaliliitynnät ja oikeilla muuntimilla varustetut 0–15V:n analogiset liitynnät, tällä samalla konseptilla näyttäisi saavan jo todella monikäyttöisen virtuaaliliitynnän.

Ohjelmistorajapinta toimi odotetusti. Laiteohjelmistoa kehittämällä sen käyttökelpoisuutta voisi parantaa monin tavoin. Ensimmäisenä vaatimuksena olisi kiinteän ip-osoitteen asettamismahdollisuus sekä tulojen ja lähtöjen konfigurointimahdollisuus ilman uudelleenohjelmointia. Ainakin analogiakanaavien jännitealueita olisi hyvä voida muuttaa ja myös virtasilmukan käyttömahdollisuus olisi tarpeen. Myös kenttäväylien käyttömahdollisuus, vähintäänkin Modbus TCP olisi hyvä lisä.

Virtuaaliliitynnässä signaalit kulkevat samalla tavalla molempiin suuntiin virtuaalisen ja todellisen laitteiston välillä. Siksi järjestelyä voidaan yhtä lailla käyttää todellisen laitteiston valvomona, joka näyttää laitteiston tilan. Myös ohjaaminen on mahdollista, mutta turvallisuussyistä tällaisen käytön turvallisuus ja luotettavuus pitää varmistaa huolellisesti.

Opinnäytetyölle alussa asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin. Kehitetty toimintamalli osoittautui toimivaksi. Rakennetun testilaitteiston ei ollut tarkoituskaan olla ominaisuuksiltaan ja suorituskyvyltään sellaisenaan suoraan käyttöön otettavissa, mutta sen toiminnalliset osat saatiin toimimaan suunnitellusti. Suorituskykytesteissä havaitut puutteet olivat ennakoitujen kaltaisia ja poistettavissa käyttämällä järjestelmän rakentamisessa paremmin valittuja komponentteja.

Monet tämän opinnäytetyön aikana kohdatuista ongelmista olisi ollut helpompi ratkaista, jos alkukartoituksen jälkeen olisi otettu käyttöön hieman järeämpi ja monipuolisempi laitealusta. Valitulla toimintatavalla, jossa käytettiin ensisijaisesti aikaisemmin hankittuja osia, päädyttiin ratkomaan laitteiston puutteita ohjelmiston keinoin ja se aiheutti paljon ylimääräistä työtä ja tarpeetonta mutkikkautta ohjelmistoihin.

LÄHTEET

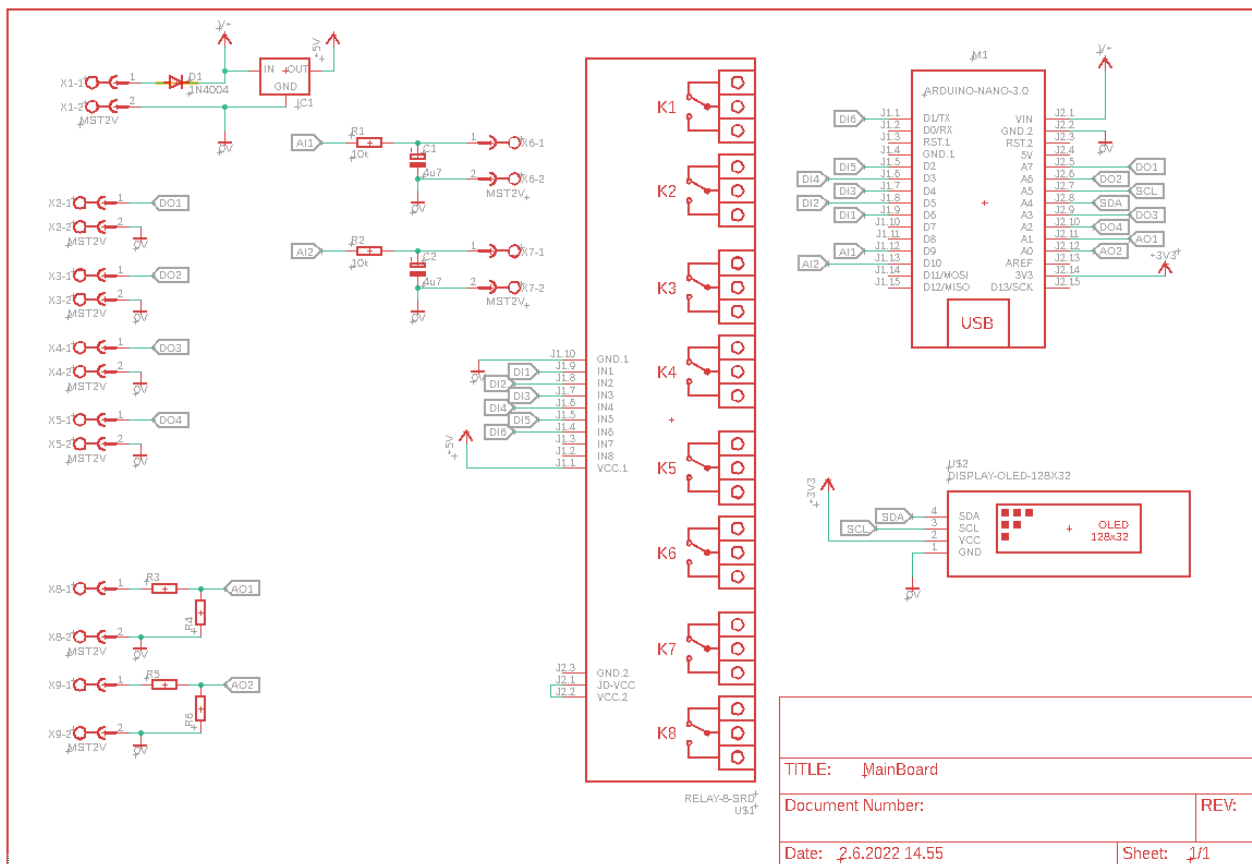
Koskinen, K. 2018. *Automaation historia, nykytila ja tulevaisuus*. Artikkelisarja Automaatioväylä-lehdessä. Digitaalinen eripainos 2018. Automaatioväylä Oy.

Leppänen, N. 2023. *Rakennusautomaatio energiatehokkuuden näkökulmasta*. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu.

Spangar, T. & Sandström, B. 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne. Teoksessa: Liedes, R. (toim), *Rakennusautomaatiojärjestelmät*. ST-käsikirja 17. 6. uudistettu painos. Sähkötieto ry, 59–104.

Väänänen, M. 2012. *Implementing PLC Programming Training of Automation Engineering Education in Virtual Environment*. Väitöskirja. Tampere teknillinen korkeakoulu.

Virtuaaliliittynnän piirikaavio



Virtuaaliliittynnän piirilevy

