



Karelia-ammattikorkeakoulu
Talotekniikka (AMK)

Vianetsintä Modbus-väylässä

Atte Käyhkö

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Atte Käyhkö

Nimeke
Vianetsintä Modbus-väylässä

Toimeksiantaja
Schneider Electric Finland

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millainen on asianmukainen ja toimiva Modbus-väylä ja kuinka väylässä ilmeneviä vikoja voisi etsiä ja korjata. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Schneider Electric. Modbus-protokolla on laajasti käytössä teollisuudessa sekä rakennusautomaatiossa.

Opinnäytetyössä käytettiin Schneider Electricin ohjelmistoja ja ohjelmointiympäristöä Modbus-rajapintojen luontiin ja niiden käyttöön. Modbus-väylän analysoinnissa käytettiin Schneider Electric Link 150-palvelinta ja Picoscope PC-oskilloskooppia. Toteutusosiossa esitetään ja analysoidaan, millaista dataa Modbus-väylässä liikkuu. Opinnäytetyön alkuosassa käsitellään rakennusautomaation ja Modbus-väylätekniikan perusteita, josta siirrytään väylän analysointiin ja vianetsintään ensin testiympäristössä ja lopuksi todellisessa kohteessa. Opinnäytetyössä keskityttiin erityisesti Modbus-väylän asianmukaiseen rakenteeseen ja vianetsintään.

Lopputuloksena syntyi selvitys siitä, kuinka Modbus-väylän vianetsintää voisi toteuttaa opinnäytetyössä käytetyillä laitteilla. Vianetsintää on käsitelty selvityksessä ensin teorian tasolla ja lopuksi käytännön esimerkkien avulla.

Kieli
suomi

Sivuja 54
Liitteet 4

Asiasanat
Schneider Electric, rakennusautomaatio, Modbus



THESIS
May 2023
Degree Programme in Building Services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Atte Käyhkö

Title
Troubleshooting the Modbus Network

Commissioned by
Schneider Electric

Summary

The purpose of the thesis was to find out what the proper and functional Modbus network is and how faults in the network could be found and repaired. The mandator of the thesis is Schneider Electric. The Modbus protocol is widely used in industry and building automation.

Schneider Electric's software and programming environment were used in this thesis to create and use Modbus interfaces. Schneider Electric Link 150 server and a Picoscope PC oscilloscope were used for analysing the Modbus network. The implementation section presents and analyses the data on the Modbus network. The first part of the thesis covers the basics of building automation and Modbus protocol. The second part consist of Modbus network analysis and troubleshooting first in the test environment and finally in the actual site. The thesis focused especially on the proper structure and troubleshooting of the Modbus network.

The result was an overview of how the troubleshooting of the Modbus network could be carried out with the equipment used in the thesis. The troubleshooting process has been handled on a theoretical level and finally with the help of practical examples.

Language
Finnish

Pages 54
Pages of Appendices 4

Keywords
Schneider Electric, Building automation, Modbus protocol

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Automaatio talotekniikassa.....	5
2.1	Standardit ja määräykset.....	5
2.2	Automaation vaikutukset rakennuksen energiatehokkuuteen	7
2.3	Tiedonsiirto.....	9
2.4	RS-485-standardi	10
3	Modbus	12
3.1	Yleisesti.....	12
3.2	Modbus ja OSI-viitemalli	13
3.3	Modbus RTU	14
3.4	Modbus TCP/IP	15
3.5	Modbus-viestikehys.....	15
3.6	Funktiokoodit.....	16
3.7	Rekisterit	18
4	Väylän kaapelointi ja häiriönsuojaus	19
4.1	Kaapelointi	19
4.2	Häiriönsuojaus	20
4.3	Biasointi.....	21
4.4	Ethernet-kaapelointi	23
5	Laitteet ja ohjelmistot.....	25
5.1	Schneider Electric Link 150-palvelin	25
5.2	Schneider Electric SE8300-huonesäädin	27
5.3	Schneider Electric AS-P-palvelin.....	28
5.4	EcoStruxure Building Operation workstation	28
5.5	Picotech PC-oskilloskooppi	29
5.5.1	Picoscope 2204A	29
5.5.2	PicoScope 7 T&M-ohjelmisto	29
6	Toteutus	30
6.1	Pohjustus Modbus-väylän analysointiin	30
6.2	Modbus-väylän analysointi Link 150-palvelimella.....	32
6.2.1	Kytkenät	32
6.2.2	Väylän toiminnan analysointi.....	33
6.3	Picoscopen käyttö testausympäristössä	35
6.3.1	Väylän analysointi testiympäristössä.....	35
6.3.2	Vikatilanteen simulointi.....	38
6.4	Väylän analysointi Picoscopella	42
6.4.1	Kohteen lähtötiedot	42
6.4.2	Lähtötilanne ja korjaukset.....	43
6.4.3	Korjaustoimenpiteiden vaikutukset.....	46
7	Pohdinta	47
	Lähteet	49

Liitteet

Liite 1	Vianetsinnän tarkastuslista
Liite 2	Sarjaliikenteen koodinpurun kysely- ja vastaussanoma
Liite 3	Simuloitu vikatilanne väylässä
Liite 4	Suodatettu näkymä väylän tiedonsiirrosta

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, kuinka rakentaa Modbus-verkko niin, että verkkoon kytketyt laitteet toimivat oikein laitevalmistajien ohjeiden mukaisesti. Opinnäytetyössä selvitetään myös, kuinka korjata Modbus-väylässä ilmeneviä vikoja ja häiriöitä. Tavoitteena on, että vianetsintä olisi helpompaa ja vähemmän aikaa vievää.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Schneider Electric, joka toimii Suomessa nimellä Schneider Electric Finland. Yritys valmistaa sähkötekniikan laitteita ja komponentteja, ja se on perustettu vuonna 1836 Ranskassa. Yritys tarjoaa automaattioratkaisuja, joiden tavoitteena on hyödyntää käytettävissä oleva energia ja resurssit mahdollisimman tehokkaasti, kestävää kehitystä unohtamatta.

Modbus on sarjaliikenneprotokolla, joka on laajasti käytössä teollisuudessa sekä rakennusautomaatiossa. Opinnäytetyön alussa käsitellään Modbus-väylätekniikan ja rakennusautomaation perusteita, jonka jälkeen käsitellään Modbus-väylän analysointia ja vianetsintää. Väylässä ilmeneviä vikoja analysoidaan Schneider Electric Link 150-palvelimen ja Picoscope PC-oskilloskoopin avulla.

Opinnäytetyössä käytetään pääasiassa toimeksiantajan omia laitteita ja ohjelmistoja, jotka ovat yrityksellä laajasti käytössä. Modbus-väylän tarkempaan analysointiin opinnäytetyötä varten käyttöön hankittiin Picoscope PC-oskilloskooppi.

2 Automaatio talotekniikassa

2.1 Standardit ja määräykset

Rakennusautomaatiolla on suuri rooli talotekniikan prosessien mittaamisessa, ohjaamisessa, säädössä, valvonnassa ja ylläpidossa. Rakennusautomaatioon ei suoranaisesti ole kohdistettu paljoakaan määräyksiä, mutta kaikki talotekniikkaan liittyvät määräykset koskevat kuitenkin myös automaatiota. Tällaisia säädöksiä ja määräyksiä ovat muuan muassa laki sähköajoneuvon latauspisteistä ja latauspiste valmiuksista rakennuksissa sekä rakennusten automaatio- ja ohjausjärjestelmistä, Suomen rakentamismääräyskokoelma, sähköturvallisuuteen

liittyvä säädäntö ja erillisjärjestelmistä esimerkiksi palo- ja turvajärjestelmien omat määräykset. (ST-710.2020,1-2.)

EU:n direktiivien kautta kansalliseen lainsäädäntöön on lisätty paljon tietoa liittyen rakennusautomaation vaikutuksista energiatehokkuuteen. Viime vuosina suoraan rakennusautomaatioon liittyvien standardien ja ohjeiden määrä on ollut kasvussa ja lähes jokainen talotekniikkaan liittyvä julkaisu vaikuttaa myös rakennusautomaation toimintaan. Talotekniikkaan ja rakennusautomaatioon liittyviä standardeja on monenlaisia, jotka voivat olla suoraan tekniikkaan, haluttuihin olosuhteisiin, lopputulokseen tai turvallisuuteen liittyviä. Standardointia on tehty ISO:ssa, IEC:ssä ja CENELEC:ssä, jotka ovat maailmanlaajuisia standardointijärjestöjä. Näistä kolmesta IEC ja CENELEC keskittyy sähköalan standardien laatimiseen. (ST-710.2020,1-2.)

Sähköturvallisuuden osalta automaatiojärjestelmän katsotaan täyttävän laissa määrätyt pykälät, kun kaikissa pienjännitesähköasennuksissa käytetään voimassa olevaa SFS 6000-standardia. SFS-standartit ovat julkaisuja, joihin on kirjattu yhteisesti sovittuja vaatimuksia ja suosituksia. Standardit lisäävät tuotteiden laatua, turvallisuutta ja yhteensopivuutta. Kahdeksanosaisessa standardisarjassa SFS 6000 kerrotaan pienjänniteasennuksiin vaikuttavat turvallisuusvaatimukset. (ST-710.2020,1-2.)

Työtä suorittaessa noudatetaan työturvallisuuslakia (23.8.2002/738), jos työntekijälle voi aiheutua sähköiskun tai valokaaren vaaraa. Työturvallisuuslain tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työntekijöiden työkyvyn turvaamiseksi ja ylläpitämiseksi sekä ennaltaehkäistä ja torjua työtapaturmia, ammattitauteja ja muita työssä, työstä ja työympäristöstä johtuvia työntekijöiden fyysiseen ja henkiseen terveyden, jäljempänä terveys, haittoja. (Työturvallisuuslaki 738/2020.)

Sähkötyön, käyttötyön ja sähkölaitteiston lähellä tehtävän työn katsotaan täyttävän riittävät turvallisuusvaatimukset, jos toimitaan soveltaen sähköturvallisuuslain (1135/2016) 84§:ssä tarkoitettuja standardeja tai julkaisuja. Sähköturvallisuuslain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteen ja -laitteiston käytön pitäminen turvallisena ja estää sähkön käytöstä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset sekä turvata sähkölaitteen tai -laitteiston

sähkövirran tai magneettikentän välityksellä aiheuttamasta vahingosta kärsineen oikeudet. Lisäksi lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus ja vapaa liikkuvuus. Laissa säädetään myös sähkölaitteille ja -laitteistoille asetettavista vaatimuksista, sähkölaitteiden ja -laitteistojen vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja vaatimustenmukaisuuden valvonnasta, sähköalan töistä ja niiden valvonnasta sekä sähkölaitteen ja -laitteiston haltijan vahingonkorvausvelvollisuudesta. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016.)

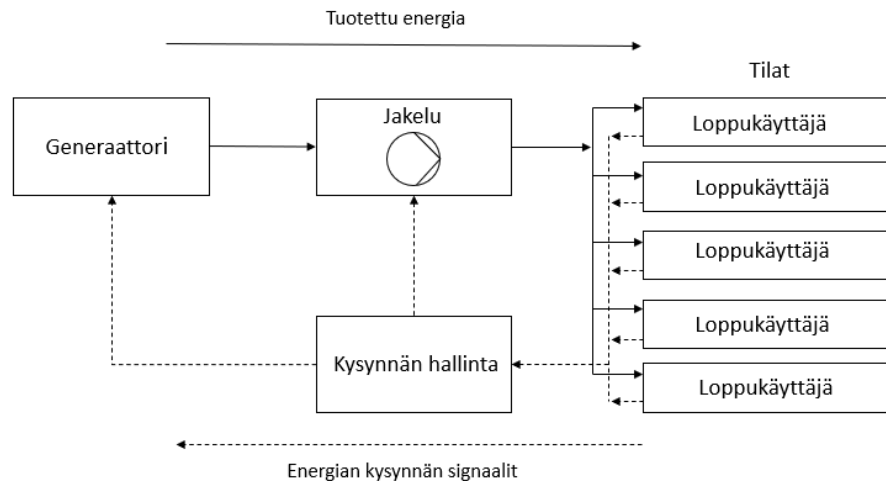
Energiatehokkuusvaatimuksia käsitellään ympäriministeriön asetuksessa eräiden rakennusten teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista (718/2020). Asetus astui voimaan syksyllä 2020 ja siinä säädetään muun muassa rakennuksen automaatio- ja ohjausjärjestelmien kokonaisenergiatehokkuutta, asianmukaista mitoitusta, oikea oppista asentamista, asianmukaista käyttöönottoa ja asianmukaista ohjaamista. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016.)

Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta määrittelee mm. lämpöhäviöiden laskentaa, koneellisen ilmavaihtojärjestelmän ominaissähkötehoa, energiakäytön mittausta ja energiaselvitystä. Esimerkkinä rakennusautomaatioprojekteissa on otettava huomioon ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho SFP-luku (Specific Fan Power), eli sähköverkosta otettu teho, jolla saadaan liikutettua yksi kuutio ilmaa rakennuksen läpi. Lisäksi on huomioita ilmanvaihtokoneen hyötysuhde ja mitoitus kohteeseen sopivaksi. (ST-710.2020,3.)

2.2 Automaation vaikutukset rakennuksen energiatehokkuuteen

Rakennusautomaatiojärjestelmät tarjoavat tehokkaat hallintatoiminnot kaikille talon energijärjestelmille kuten lämmitykseen, ilmanvaihtoon, viillennykseen, lämpimänkäyttöveden tuottamiseen ja valaistuksen eri sovelluksiin. Nämä hallintatoiminnot parantavat rakennuksen käyttö- ja energiatehokkuutta. Kuvassa 1 on esitetty energianhallinnan periaatekuva, jossa energianjaon määrä on asetettu vastaamaan energian määrän vaatimuksia niin, että tilan sisäilmasto on halutulla tasolla. Tilasta voidaan mitata antureiden avulla esimerkiksi huonelämpötilaa, CO₂-arvoja tai kosteutta. Energiansäästötoimintoja voidaan määrittää rakennuksen todellisen käytön perusteella eli käyttäjien todellisten tarpeitten

mukaan turhan energiankäytön ja hiilidioksidipäästöjen välttämiseksi. (SFS-EN ISO 52120-1 2022,13.)



Kuva 1. Energian kysyntä- ja tarjontamalli. (Mukaillen SFS-EN ISO 52120-1 2022, 14.)

SFS-EN ISO 52120-1-standardissa on lueteltu laajasti keinoja, jotka vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen. Standardissa energiansäästötavat on luokiteltu 0–3 tasoon eri osa-alueille, joissa energiaa voidaan säästää automaation avulla (taulukko 1). (SFS-EN ISO 52120-1 2022,23.)

	Tuloilman säätö huonetasolla	
0	Ei automaatiohjausta: Järjestelmä käy jatkuvasti (esim. käsinohjattu kytkin)	
1	Aikaohjelma: Järjestelmä käy annetun aikaohjelma mukaisesti	
2	Käyttöasteen mukainen ohjaus: Järjestelmä käy riippuen siitä, kuinka paljon tilassa on henkilöitä. (läsnäolotunnistin, valokatkaisijat, infrapuna-anturit)	
3	Kysyntäpohjainen ohjaus: Järjestelmä käy ilmanlaatuvaatimusten mukaisesti (CO ₂ ja VOC mittaukset)	

Taulukko 1. Energiansäästö keinoja ilmanvaihdossa. (Mukaillen SFS-EN ISO 52120-1 2022, 20.)

Asteikon nollassa oletuksena energiajärjestelmissä ei käytetä automaatiota lainkaan ja mitä korkeammalle tasolle mennään energiansäästön määrä kasvaa. Ilmanvaihdon osalta energiatehokkuutta voidaan tehostaa ilmanvaihtokoneiden pyörimisnopeutta säätämällä aikaohjelman mukaan niin, että tilojen tyhjänä ollessa ilmanvaihtokoneet pyörivät pienemmällä teholla. Ilmanvaihtoa voidaan myös ohjata läsnäolotunnistimien avulla, jolloin ilmavirtoja voidaan säätää tilan todellisen käyttöasteen mukaan. Yhtenä keinona on myös kysyntäpohjainen ohjaus, jossa ilmanvaihtoa ohjataan ilmanlaadun kysynnän perusteella.

Tätä ohjauskeinoa käyttäessä tilasta mitataan antureiden avulla CO₂ ja VOC-arvoja ja näiden mittausten perusteella ilmavirtoja säädetään. (SFS-EN ISO 52120-1 2022, 23.)

Lämmitysverkoston energiansäästömahdollisuudet ovat menoveden lämpötilan säätäminen ulkolämpötilan mukaan. Vielä tehokkaampi vaikutus saadaan käytämällä kysyntäpohjaista ohjausta sisälämpötilan perusteella. Lämmitysverkoston pumppuja voidaan ohjata päällä/pois sen sijaan, että pumput pyörisivät täydellä teholla vuorokauden ympäri. Energiansäästön kannalta tehokkaampia keinoja ovat pumpun pyörimisnopeuteen vaikuttavat ohjaukset. Automaation avulla pumppujen pyörimisnopeutta voidaan muuttaa portaittain tarpeen mukaan tai portaattomasti 0–100 % ohjausviestillä pumpun tyyppin mukaan. (SFS-EN ISO 52120-1 2022, 23.)

Valaistuksen ohjaus ilman automaatiota tapahtuu perinteisten kytkimien avulla. Näin valot jäävät helposti epähuomiossa turhaan palamaan. Erilaisilla valaistuksen ohjausjärjestelmillä valaistusta voidaan ohjata monipuolisesti esimerkiksi aikaohjelmalla tai käyttöasteen mukaan läsnäoloantureilla. Valaistuksen tasoa voidaan myös säädellä himmennuksen avulla, jos valoja ei haluta sammuttaa kokonaan. Valaistuksen ohjaukseen käytettäviä väyläratkaisuja ovat esimerkiksi KNX ja DALI. (SFS-EN ISO 52120-1 2022, 25.)

2.3 Tiedonsiirto

Tietoverkot ja niiden avulla tapahtuva tiedonsiirto on merkittävässä roolissa talotekniikassa ja sen jokaisessa osa-alueessa: LVI-, sähkö- ja automaatiotekniikassa. Tietoverkkojen ja rakennusautomaation avulla pystytään ohjaamaan ja säätämään toimilaitteita rakennuksessa. Automaatiolla saavutetaan rakennuksessa energiatehokkuutta, rakennuksen valvontaa ja helppokäyttöisyyttä (esimerkiksi etäohjauksen avulla). Tietoverkkojen sisäisen tiedonsiirron lisäksi käytetään ulkoista tiedonsiirtoa etähallinnan mahdollistamiseen, tämä ominaisuus helpottaa rakennuksien järjestelmien säätämistä, koska säädöt ja ohjaukset voidaan tehdä pilvipalvelun kautta sijainnista riippumatta. (ST-21.2022, 7.)

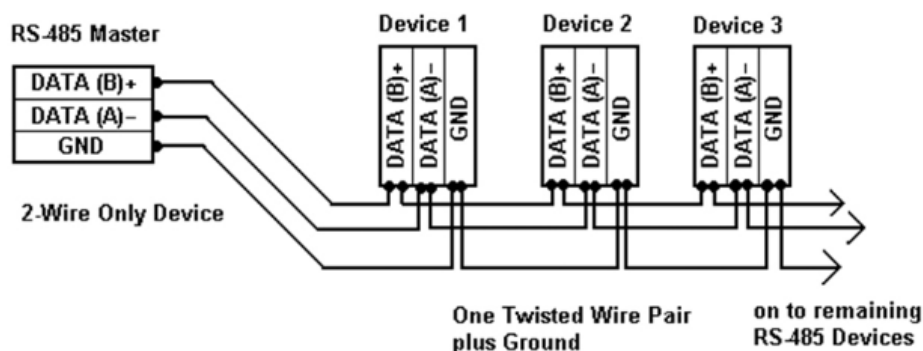
Rakennusautomaatiojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen päätasoon, johon kuuluvat hallinta-, automaatio- ja kenttätaso. Jokaisen rakennusautomaation tason välille tarvitaan tiedonsiirtoa toimiakseen oikein. Hallintatasolta voidaan säätää

rakennuksen energianhallintaa, valvomotasolta automaatiojärjestelmän optimointia ja valvontaa, automaatiotasolla säädetään yksilöllisen osa-alueen ohjauksia esimerkkinä lämmityksen, valaistuksen ja ilmanvaihdon säätäminen. Kenttätasolla sijaitsevat fyysiset kenttälaitteet, joiden toimintaa ohjataan. Näistä esimerkkejä ovat liiketunnistimet, lämpötila-anturit, taajuusmuuttajat ja venttiilit. (ST-17.2022, 59.)

Rakennusautomaatiojärjestelmällä ohjataan monenlaisia järjestelmiä rakennuksen sisällä ja monesti samassa rakennuksessa käytetään erityyppisiä tiedonsiirtoprotokollia, jotka kuitenkin yhdistetään samaan rakennusautomaatiojärjestelmään, joita voidaan valvoa ja ohjata valvomosta. Rakennuksessa voidaan käyttää valaistuksen ohjaukseen esimerkiksi KNX-järjestelmää, lämpöenergian mittaukseseen M-Bus-järjestelmää ja Modbus-järjestelmää voidaan käyttää tiedonsiirtoon ja ohjaukseen muitten kenttälaitteiden välillä, kuten esimerkiksi iv-koneet tai taajuusmuuttajat. (ST-21.2022, 7–8.)

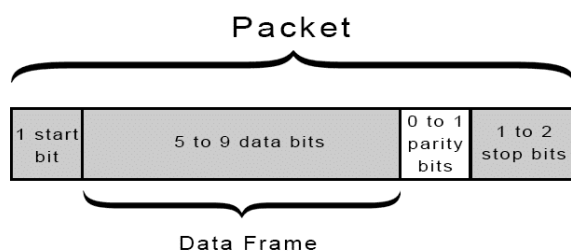
2.4 RS-485-standardi

RS-485-standardi on sähköinen standardi sarjaliikenneväylälle, johon voidaan liittää useita väylälaitteita yhtä aikaa. Väylässä tieto siirtyy sarjamuotoisena väylään kytkettyjen laitteiden välillä (kuva 2). Väylän napaisuuden merkintätavat vaihtelevat eri laitevalmistajien välillä, joten on varmistuttava mitä merkintätapaa milloinkin käytetään. Yleisesti käytössä olevia napaisuuden merkintätapoja ovat: +/-, A/B, A+/B- ja TX+/TX-. RS-485-väylässä on yksi master, joka ohjaa maksimissaan 32 slave-laitetta. Toistimilla väylään liitettävien slave-laitteiden määrää saadaan kasvatettua 247 laitteeseen. Jokaiselle väylään kytketyllä laitteella on oma yksilöllinen osoite, jonka avulla laite tunnistetaan. Kaapeloinnissa käytetään suojattua parikaapelia, jonka maksimi pituus voi olla 1200 metriä (ST-701.60.2022, 6.)



Kuva 2. RS-485-väylän periaatekuva. (Advantech.com/RS-485 connections.2022.)

Sarjaliikenteessä tärkeitä asetuksia ovat baudinopeus ja stop-bitit ja pariteetti. Baudinopeudella tarkoitetaan sitä, kuinka nopeasti tieto liikkuu väylässä. Stop-bitti löytyy jokaisen lähetetyn tai vastaanotetun viestikehyksen lopusta ja se kertoo viestin tai datan loppumisesta. Sarjamuotoisessa tiedonsiirrossa data siirtyy datapaketteina, joka sisältää tietyn määrän bittejä. (kuva 3). (Käyttöliittymät ja tiedonsiirto Karelia-AMK 2021.)



Kuva 3. Sarjamuotoisen liikenteen kehys. (Circuitbasics.com. 2023)

Pariteetti ilmaisee onko yksittäisen viestin binääriluvussa parillinen vai pariton määrä ykkösiä. Vaihtoehtoina on parillinen (EVEN), pariton (ODD) ja ei kumpikaan näistä (NONE). Nämä parametrit asetetaan kytkettäviin laitteisiin erikseen. Laite, jossa on poikkeavat parametrit, ei pysty vastaamaan masterin lähettämiin käskyihin, näin ollen laite ei toimi väylässä oikein. Väylä tulisi päättää 120 Ω tai 150 Ω terminointivastukseen, näin vältetään heijastumien syntyä väylässä. Heijastumat voivat aiheuttaa tiedonsiirtovirheitä. (Käyttöliittymät ja tiedonsiirto Karelia-AMK 2021.)

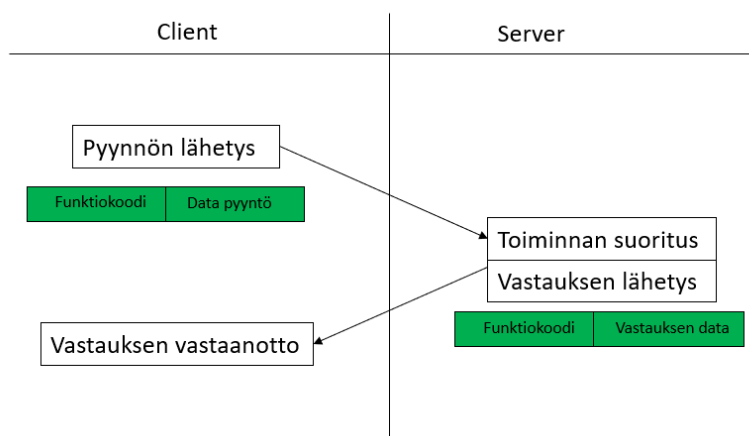
3 Modbus

Modbus-organisaation käytännön mukaisesti master-slave termit on korvattu termeiksi client-server. Opinnäytetyössä on kuitenkin käytetty vanhoja sekä uusia termejä riippuen siitä mitä termejä lähdemateriaalissa on käytetty, mutta ensisijaisesti käytetään termejä client-server. (Modbus organization press release 2020)

3.1 Yleisesti

Modbus on avoin tiedonsiirtoprotokolla, joka otettiin käyttöön vuonna 1979. Alun perin protokollan käyttötarkoitus oli ohjelmoitavien logiikkojen yhdistäminen avoimessa tiedonsiirtoväylässä. Nykyisin Modbus-protokollaa käytetään laajasti teollisuuden- ja rakennusautomaation sovelluksissa. (modbus.org 2022.)

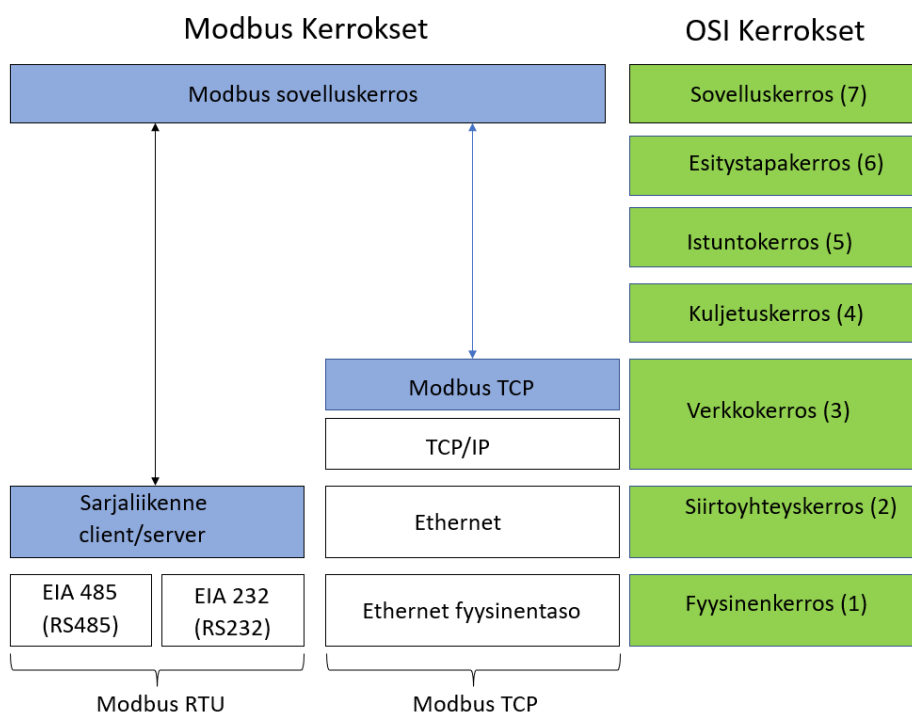
Modbus on sovelluskerrosten tiedonsiirtoprotokolla, joka perustuu client/server -tyyppiseen tiedonsiirtoon (kuva 4). Tieto siirtyy eri laitteiden välillä, jotka ovat kytketty samaan väylään. Tiedonsiirto väylässä tapahtuu siten, että client lähettää luku- tai kirjoituspyynnön server-laitteelle ja server lähettää vastauksen takaisin clientille, kun haluttu toiminta on suoritettu. Tiedonsiirto alkaa aina clientin suorittamasta luku- tai kirjoituspyynnöstä pyynnöstä. (modbus.org 2022.)



Kuva 4. Modbus-protokollan tiedonsiirron periaate. (Mukaillen modbus.org 2022.)

3.2 Modbus ja OSI-viitemalli

OSI-viitemalli (Open Systems Interconnection Reference Model) on seitsemän portainen käsitteellinen malli. Jokaisella portaalla on oma tehtävänsä tietoliikenneverkon toiminnassa. OSI-viitemalli (kuva 5) kuvaa tietoliikenneverkon arkkitehtuuria, joka mahdollistaa tiedonsiirron tietokonejärjestelmien välillä. Viitemalli toimii periaatteella, jossa jokainen porras käyttää yhtä alempana olevan kerroksen dataa ja siirtää sen siitä aina ylemmille portaille. Modbus-protokolla käyttää tiedonsiirrossaan portaita, joita ovat fyysinen kerros, siirtoyhteyskerros ja sovelluskerros. (ST-21 2022, 22–24.)



Kuva 5. OSI-viitemallin rakenne ja Modbus-kerrokset. (Mukaiillen Modbus.org 2022.)

Ensimmäinen kerros OSI-viitemallissa määrittää nimensä mukaan fyysiset tekijät, kuten laitteiston ja verkkotopologian. Tässä tilanteessa laitteisto käsittää myös käytetyt tietoliikennekaapelit ja niiden liittimet. Topologialla tarkoitetaan, kuinka laitteiston välinen kaapelointi on toteutettu. Modbus-protokollaa käytävässä järjestelmässä käytetään väylätyyppistä topologiaa, jossa kaikki laitteet kytketään samaan runkokaapeliin. Toinen kerros OSI-viitemallissa on siirtoyhteyskerros, joka on ensimmäisen fyysisen kerroksen ja ylempänä olevien

kerrosten välissä. Tämän kerroksen tehtävänä on kehystää ylempien kerrosten datapaketit alemmaa fyysistä kerrosta varten. Siirtoyhteyskerroksen muita tehtäviä on virheiden tarkastus ja korjaus. Sovelluskerroksen tehtävänä on tiivistetyksi sanottuna ottaa käyttäjältä vastaan dataa ja ohjauksia, jotka sitten välitetään OSI-viitemallista alempiin kerroksiin aina ensimmäiselle fyysiselle kerrokselle asti. (ST-21 2022, 22–24.)

3.3 Modbus RTU

RTU (Remote Terminal Unit) on yksi Modbus-kehyksistä, jota käytetään perinteisessä sarjaliikenteessä ja on selvästi suosituin tapa datan siirtoon eri laitteiden välillä. Modbus RTU-pohjautuvassa tiedonsiirrossa laitteiden välinen data siirtyy laitteelta toiselle binäärisessä muodossa. Kaikkien väylään kytkettyjen laitteiden on oltava RTU yhteensopivia, että data käsitellään oikein. Data siirtyy laitteelta toiseen RTU-kehysten rajaamissa paketeissa. (Modbus.org 2022.)

Modbus RTU-viestin rakenne on seuraavanlainen: osoite- ja toimintokenttä muodostuu yhdestä tavusta ja tarkastussumma kahdesta tavusta (taulukko 2). Sama RTU-kehys toimii myös RS 232-järjestelmässä, mutta vain siten että siihen on kytketty yksi client-laite ja yksi server-laite. (ST-21 2022, 78–79.)

Aloitus	Osoite	Toiminto	Data	Tarkistussumma, CRC	Lopetus
vähintään 3,5 tavua pitkä tauko	1 tavu	1 tavu	0–252 tavua	2 tavua	vähintään 3,5 tavua pitkä tauko

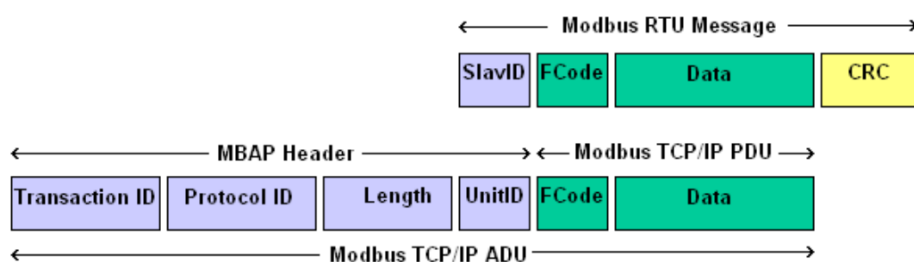
Taulukko 2. Modbus RTU-viestin rakenne. (ST-21 2022, 78.)

Osoitekentästä selviää server-laitteen ID-osoite väylässä, toimintokentästä haluttu toiminto esimerkiksi rekisterin luku tai rekisterin kirjoitus. Toiminto määräytyy funktiokoodin mukaisesti. Datakentästä löytyy data tästä halutusta toiminnosta, joka voi olla korkeintaan 252 tavua pitkä. Tarkastussumma on kaksi tavua pitkä ja tällä tarkistetaan, että data ei ole muuttunut tiedonsiirron aikana. Kehystyyypeissä riippuen tarkastussumma voi olla eri mittainen. Jokainen RTU-viesti alkaa 3,5 tavun pituisella aloituksella ja loppuu saman mittaiseen

lopetukseen. Kahden eri kehyksen välillä on oltava minimissään 3,5 tavun mitainen tauko. (ST-21 2022, 78–79.)

3.4 Modbus TCP/IP

TCP/IP (Transmission Control Protocol ja Internet Protocol) on protokolla, jota käytetään verkkoliikennettä hyödyntävien laitteiden tiedonsiirrossa. Termejä Modbus TCP/IP ja Modbus TCP käytetään vaihtelevasti, mutta tarkoittavat tässä yhteydessä samaa asiaa. Protokolla kehitettiin, koska teollisuudessa verkkoliikenteen avulla kommunikoidut laitteet alkoivat yleistyä. TCP on yhteyspohjainen protokolla ja sen on muodostettava yhteys ennen tietojen siirtoa. Modbus-master muodostaa yhteyden slave-laitteeseen sen jälkeen master odottaa saapuvaa yhteyttä slave-laitteelta. Kun yhteys on luotu, slave-laite vastaa kyselyihin, kunnes master katkaisee yhteyden. Yksinkertaistettuna nämä ovat RTU-viestejä, jotka lähetetään TCP/IP muodossa ja tieto liikkuu Ethernetin kautta perinteisen sarjaliikenne väylän sijaan (kuva 6). Palvelimella ei ole ID-osoitetta, koska se käyttää sen sijaan IP-osoitetta. (Simplymodbus.ca/TCP 2022.)

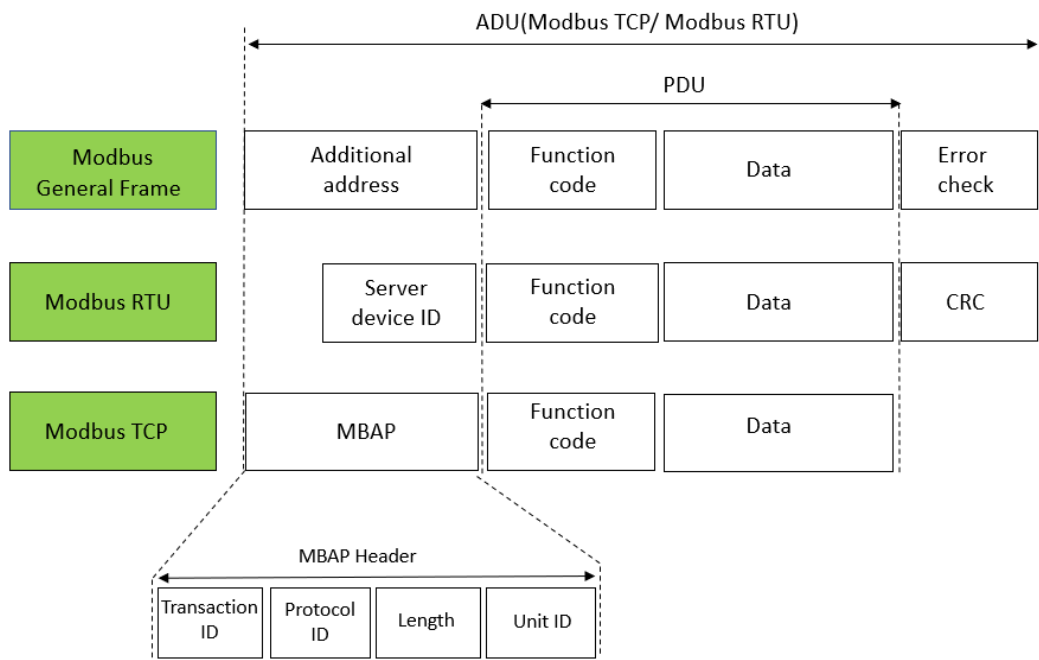


Kuva 6. TCP/IP-viestin rakenne. (Simplymodbus.ca/TCP 2022.)

3.5 Modbus-viestikehys

Modbus-viestikehys muodostuu sovelluksen datasta (Application Data Unit) ja protokollan datasta (Protocol Data Unit). Viestikehys jakaantuu neljään osaan: lisäosoite, funktiokoodi, lähetettävä data ja tarkastussumma. Sovelluksen data (Application Data Unit) on client-laitetta varten, jolla se voi aloittaa luku- tai kirjoitustoiminnon, joka lähetetään serverille.

Kuvassa 7 on esitetty yleinen Modbus-viestikehys ja sen alla viestikehykset, joita käytetään Modbus RTU- ja Modbus TCP-protokollassa. Näiden kahden lisäksi on myös ASCII-protokolla, jota käytetään harvemmin. ASCII-protokollan toiminta on hyvin samankaltainen kuin Modbus RTU, mutta data on esitetty binaärilukujen sijaan merkistönä, joka sisältää kirjaimia ja numeroita. (modbus.org 2022.)



Kuva 7. Modbus-viestikehykset. (Mukaillen modbus.org 2022.)

3.6 Funktiokoodit

Modbus on pyyntö/vastaus -protokolla, joka toimii funktiokoodien määrittämällä tavalla ja ovat yksi osa väylän viestikehystä. Funktiokoodi kertoo serverille, mikälaista toimintaa suorittaa. Taulukossa 3 on esitetty Schneider Electric -järjestelmän käyttämät funktiokoodit. (Schneider Electric väyläkoulutus 2023.)

Funktiooodit	
Read coil	01
Read discrete input	02
Read holding registers	03
Read input registers	04
Write single coil	05
Write multiple coils	15
Write multiple holding registers	16

Taulukko 3. Schneider Electric -järjestelmän funktiokoodit (Mukaillen Schneider Electricin väyläkoulutus 2023)

Modbus-organisaation kaikki standardin mukaiset funktiokoodit on esitetty kuvassa 8, mutta niitä kaikkia ei kuitenkaan käytetä. Schneider Electric -järjestelmän käyttämät funktiokoodit löytyvät samoilla kooditunnuksilla kuin Modbus-organisaation listauksesta (taulukko 3).

				Function Codes			
				code	Sub code	(hex)	Section
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs	02		02	6.2
		Internal Bits Or Physical coils	Read Coils	01		01	6.1
			Write Single Coil	05		05	6.5
	Write Multiple Coils		15		0F	6.11	
	16 bits access	Physical Input Registers	Read Input Register	04		04	6.4
		Internal Registers Or Physical Output Registers	Read Holding Registers	03		03	6.3
			Write Single Register	06		06	6.6
			Write Multiple Registers	16		10	6.12
			Read/Write Multiple Registers	23		17	6.17
			Mask Write Register	22		16	6.16
		Read FIFO queue	24		18	6.18	
	File record access		Read File record	20		14	6.14
			Write File record	21		15	6.15
	Diagnostics		Read Exception status	07		07	6.7
			Diagnostic	08	00-18,20	08	6.8
		Get Com event counter	11		0B	6.9	
		Get Com Event Log	12		0C	6.10	
		Report Slave ID	17		11	6.13	
Other		Read device Identification	43	14	2B	6.21	
		Encapsulated Interface Transport	43	13,14	2B	6.19	

Kuva 8. Modbus-väylän funktiokoodit. (modbus.org 2022.)

Funktiokoodit ovat yhden tavun mittaisia käskyjä, joilla voidaan toteuttaa toimintoja rekisterin halutusta kohdasta. Funktiokoodilla voidaan määrittää seuraavia asioita: rekisterintyyppi, kirjoitetaanko vai luentaanko rekisteriä ja kuinka monelle rekisterille luku tai kirjoitus suoritetaan.

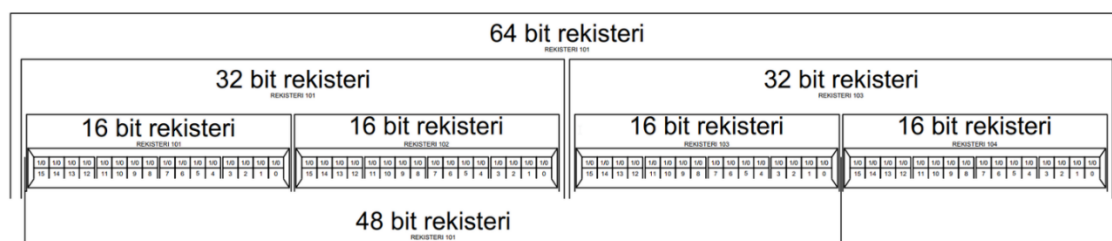
Kun viesti lähetetään clientiltä serverille, funktiokoodikenttä kertoo serverille, millaisen toiminnan sen tulee suorittaa, funktiokoodi 0 ei ole voimassa. (modbus.org 2022.)

3.7 Rekisterit

Modbus-rekisteri sisältää 16-bittiä dataa ja rekistereitä on neljää eri tyyppiä (taulukko 4). Jokaisella rekisterityypillä on oma osoiteavaruus 0–65535. Rekisterin lukua tai kirjoittamista varten on oltava tiedossa mistä rekisterityypistä on kyse. Kun oikea rekisterityyppi on valittu sitä, luetaan tai kirjoitetaan käyttämällä Modbus-funktiokoodia. Joissain tapauksissa käytetään 32-bittistä rekisteriä ja tässä tapauksessa 32-bittinen rekisteri saadaan aikaan, kun laitetaan kaksi 16-bittistä rekisteriä peräkkäin. Kuvassa 9 on esitetty kuinka eri kokoiset rekisterit rakentuvat. (Schneider Electricin väyläkoulutus 2023.)

Rekisterityypit	Koko	Toiminto	Osoiteavaruus
Coil	1 bitti	vain kirjoitus	0-65535
Discrete input	1 bitti	vain luku	0-65535
Input register	16 bittiä	vain luku	0-65535
Holding register	16 bittiä	vain kirjoitus	0-65535

Taulukko 4. Modbus-rekisteri. (Schneider Electricin väyläkoulutus 2023.)



Kuva 9. Modbus-rekisterin koko. (Schneider Electricin väyläkoulutus 2023.)

Rekisterityypit Coil ja Discrete input on yhden bitin kokoista dataa, jota voidaan käyttää esimerkiksi ohjauksissa tai tilatiedon indikoinnissa. Käytännössä näillä yhden bitin kokoisilla rekisterityypeillä voidaan ilmaista, onko jokin laite toiminnassa vai ei (tila 0 tai 1). Input register ja Holding register sisältävät 16-bittiä dataa ja esittävät etumerkitöntä (0...65535) tai etumerkillistä (-32768...32767) kokonaislukua. Etumerkitöntä datatyyppiä käytetään silloin, kun kokonaisluku ei

voi mennä miinusmerkkiseksi, kun taas etumerkillistä datatyyppiä käytetään, kun kokonaisluku voi mennä miinuksen puolelle. Esimerkiksi ulkolämpötilan mitauksessa on käytettävä etumerkillistä datatyyppiä, koska ulkolämpötila menee talvella pakkasen puolelle. (Schneider Electric väyläkoulutus 2023.)

4 Väylän kaapelointi ja häiriönsuojaus

4.1 Kaapelointi

Rakennusautomaatiojärjestelmissä yksittäisten kenttälaitteiden kaapeloinnissa käytetään yleisesti KLMA 4x0,8+0,8-kaapelia tai NOMAK-instrumentointikaapelia, kun kytkettäviä pisteitä on paljon. NOMAK-tyyppinen kaapeli soveltuu myös hyvin runkokaapeliksi esimerkiksi valvonta-alakeskuksen ja iv-koneen välille. Väylän kaapeloinnissa käytetään suojattua parikaapelia. Näin estetään sähkömagneettisten häiriöiden pääsy kaapeliin. Parikaapelin jokainen kierretty pari on vielä suojattu omalla erillisellä suojalla ja tällä ehkäistään muiden parien välisiä häiriöitä kaapelin sisällä. Usein väylän runkokaapelina käytetään JAMAK 4 x (2+1) *0,5 parisuojattua kaapelia (kuva 10). (ST-21 2022, 78.)



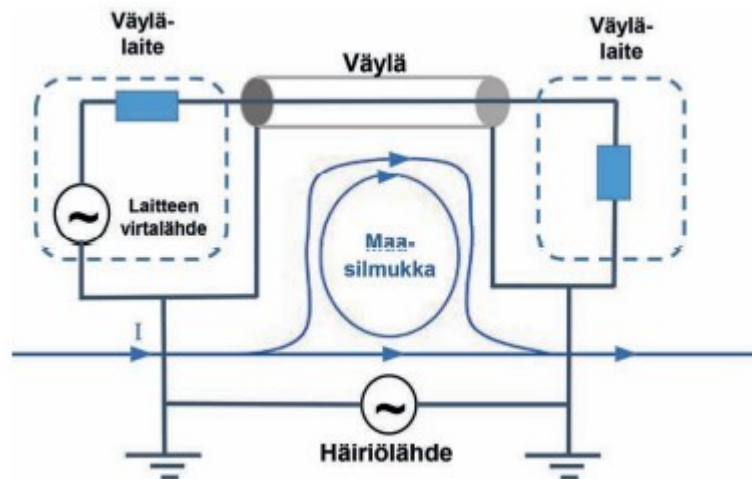
Kuva 10. JAMAK 4 x (2+1) *0,5 instrumentointikaapeli. (Prysmiangroup.com 2023.)

Nykyisin harvemmin käytössä olevan RS-232-väylän runkokaapeli voi olla enintään 15 metriä pitkä, kun taas RS-485-väylän runkokaapelin enimmäispituus voi olla jopa 1,2 kilometriä. Runkokaapeli terminoidaan päätevastuksilla molemmista päistä 150 Ω tai 120 Ω vastuksilla. Runkokaapelin suojavaippa maadoitetaan vain yhdestä pisteestä. Runkokaapelin maadoituspiste sijaitsee tyypillisesti client-laitteen kohdalla. (ST-21 2022, 78.)

4.2 Häiriösuojaus

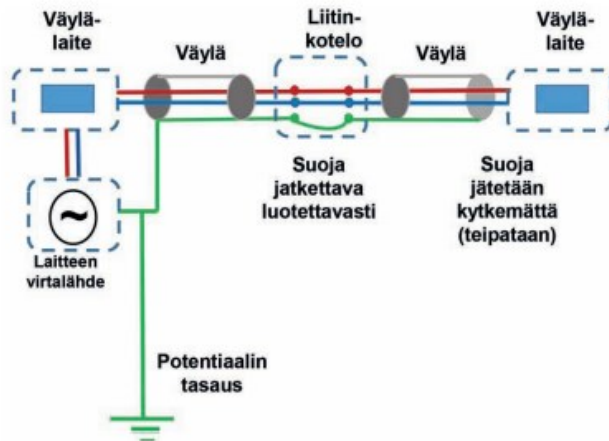
Kaapeloinnin häiriösuojauksessa on tärkeää ottaa huomioon seuraavia ohjeistuksia: kaapeloinnissa käytetään pelkästään kyseisen järjestelmän vaatimukset täyttäviä rakenneosia, asennustöiden aikana noudatetaan kaapelivalmistajan kaikkia asennusohjeita, kaapelin rakenteen on säilyttävä muuttumattomana koko asennuksen matkalta ja kytkettäessä kaapelin vaippaa kuoritaan vain tarvittava määrä. (ST-21 2022, 90–91.)

Suojattujen kaapeleiden suojat on jatkettava huolellisesti ja luotettavasti kaikissa mahdollisissa jatkoksissa, jotta vältytään maasilmukoilta, tällöin kaapelin suojaus maadoitetaan vain yhdestä pisteestä. Väärin kytketystä maadoituksesta aiheutuu ”maasilmukka” eli häiriötekijöitä tiedonsiirtoverkkoon (kuva 11). Maasilmukka syntyy, kun kaksi samassa verkossa olevaan laitetta on kytketty eri maadoituspotentiaaliin. Rakennusten välisiin tiedonsiirtokaapelointeihin on käytettävä vain ulkokäyttöön tarkoitettuja kaapelityyppejä. (ST-21 2022, 90–91.)



Kuva 11. Maasilmukka. (ST-21 2022, 91.)

Järjestelmiä kaapeloitaessa tulee huomioida, että kaapelointiin ei unohdu kytkemättömiä johtoja tai laitteita. Avoimet johtojen päät aiheuttavat väylään paljon häiriöitä ja hankaloittavat ylläpitoa ja käyttöönottoa huomattavasti. Hyvä keino välttää häiriöitä on rakentaa ns. kelluva maadoitus, jonka toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12. (ST-21 2022, 91–92.)



Kuva 12. Kelluva maadoitus. (ST-21 2022, 91.)

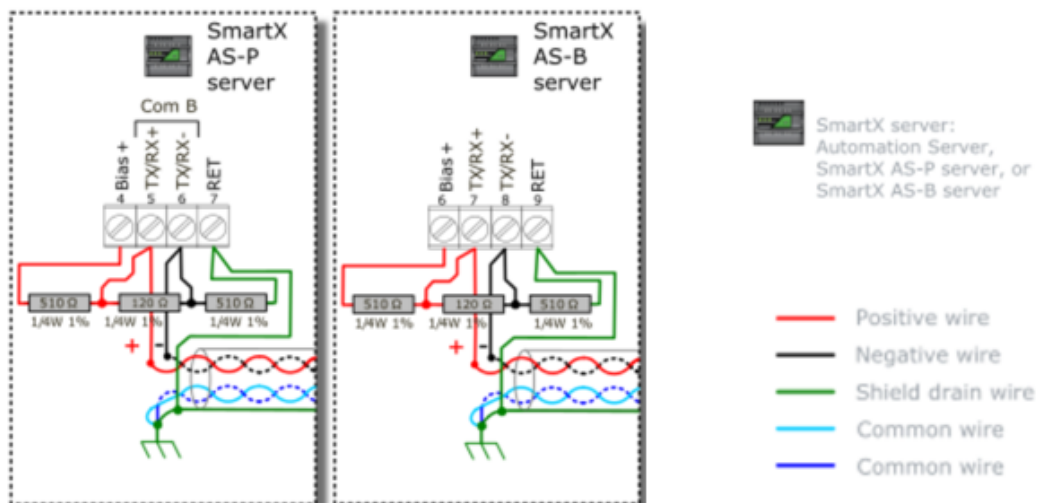
Kaapelin suoja kytketään toisesta päästä yhteen pisteeseen. Kaapelin suojan toinen pää jätetään kytkemättä kokonaan ja teipataan niin, että se ei aiheuta vahingossa häiriöitä maadoituksen suhteen.

Kun kaapelin suoja on oikein kytketty ja päätelty, se antaa hyvän suojan ulkoisia häiriöitä vastaan. Tiedonsiirtoverkon kaapelit tulisi asentaa mahdollisimman kauas pienjännitekaapeleista ja muista mahdollista häiriönlähteistä. Usein tiedonsiirtoverkon kaapelit ja pienjännitekaapelit risteävät jossain kohtaa johtorei-tillä, joten tässä tilanteessa olisi hyvä asentaa kaapelit kohtisuoraan toisiinsa nähden risteäväksi. Näin kaapeleiden risteyskohdassa magneettikenttä leikkaantuu vain yhdestä kohdasta ja häiriöt jäävät olemattoman pieniksi. (ST-21 2022, 92.)

4.3 Biasointi

Biasoinin tarkoitus on tasapainottaa väylän signaalitasot ja pakottaa referenssi-tason pysymään tietyssä tasossa, silloinkin kun yksikään väylään kytketty laite ei kommunikoi. Esimerkissä (kuva 13) on esitetty kuinka biasointi toteutetaan, jos käytössä on Schneider Electric AS-P tai AS-B-palvelin, josta väylä lähtee kenttälaitteille. AS-P ja AS-B ovat Schneider Electricin valmistamia ja käyttämiä automaatiopalvelimia, johon rakennusautomaatio yhdistetään joko omana yksittäisenä ohjauspisteenä tai väylänä. Palvelimet toimivat automaatiojärjestelmän ”älynä”, joka mahdollistaa tiedonsiirron aina kenttälaitteelta etävalvomoon saakka. (Schneider Electricin väyläkoulutus 2023.)

Kun käytetään Schneider Electric AS-P tai AS-B-palvelimia biasointi-vastusten koko on 510 Ω ja 120 Ω . 120 Ω :n vastuksena voidaan käyttää Modbus-väylän terminointivastusta. Biasoinnissa kytketään vastukset alla olevan kuvan mukaisesti niin, että ensimmäinen vastus kytketään häiriönsuoja-liittimeen (RET) ja väylän miinuksen (TX/RX -) välille ja toinen vastus kytketään bias + ja väylän plussan (TX/RX +) välille. Kuvassa näkyvä 120 Ω vastus on väylän alkupään terminointivastus ja samanlainen vastus löytyy väylän lopusta. (Schneider Electricin väyläkoulutus 2023.)



Kuva 13. Biasointi. (Schneider Electricin väyläkoulutus 2023.)

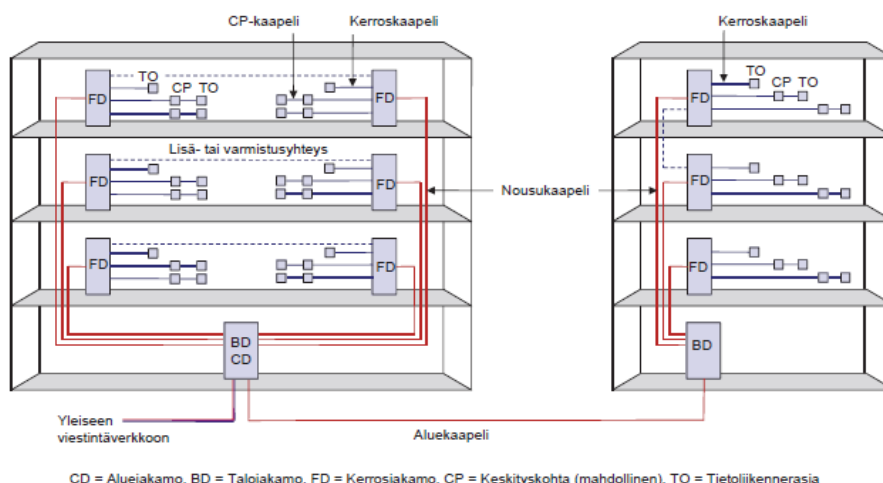
Vastusten kytkentä on samanlainen riippumatta siitä, käytetäänkö AS-P tai AS-B-palvelinta. Mikäli väylän tasapainotusta ei ole tehty ja väylään kytketyt laitteet eivät kommunikoi keskenään, väylän signaalitaso laskee kohti nollaa voltia, joka on määrittelemätön signaalitaso. Määrittelemätön signaalitaso voi aiheuttaa väylään värähtelyä ja häiriöitä signaalissa, jonka laitteet voivat tulkita dataksi. Tämänkaltaisen haamudata käyttää väylän kaistanleveyttä turhaan ja hidastaa väylän toimintaa. Biasointia tulee käyttää, jos väylään kytkettävien Modbus-laitteiden joukossa on yksikin laite, jossa ei ole failsafe-toimintoa. Failsafe-termillä tarkoitetaan ominaisuutta itse väylälaitteessa, joka korvaa biasoinnin. Jos laitteen failsafe-toiminnan olemassaolosta ei ole varmuutta, niin oletetaan että sitä ei ole. (Schneider Electricin väyläkoulutus 2023.)

4.4 Ethernet-kaapelointi

Määräystä 65 E/2022 kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista sovelletaan vakinaiseen asuinkäyttöön tarkoitettun asuinkiinteistön, toimitilakiinteistön ja julkisen kiinteistön sisäisiin viestintäverkkoihin ja -järjestelmiin. (Traficom.fi 2022)

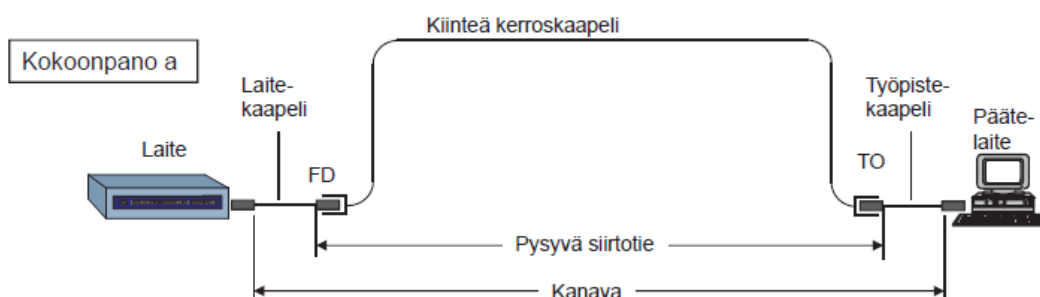
Määräyksessä määrätään sisäverkkojen ja niiden tarvitsemien laitetilojen rakenteesta; teknisestä laadusta, suorituskyvystä ja luotettavuudesta; turvallisuudesta ja suojaamisesta; tarkastuksista ja testauksista; sekä dokumentoinnista. Määräystä sovelletaan kiinteistön automaatiojärjestelmiä palvelemaan yleiskaapeloinnilla toteutettavaan sisäverkkoon. Asuinkiinteistöjen sisäverkkojen kaapelointien rakenteen on muodostettava jokaisen jakamon suhteen tähtiverkko. Toimitilakiinteistöjen ja julkisten kiinteistöjen sisäverkkojen rakenne on suunniteltava ja rakennettava niin, että rakenne palvelee verkon käyttötarkoitusta ja enakoitavissa olevia laajennus- ja sovellustarpeita. Jokaiselle kiinteistölle on asennettava talojakamo ja tarpeellinen määrä ali- ja kerrosjakamoja. (Traficom.fi 2022)

Yleiskaapelointijärjestelmän rakenteen ja sen toiminnallisten komponenttien tulee täyttää EN 50173-1 ja EN 50173-2 mukaiset vaatimukset. Kaapeloinnin toiminnalliset osat jaetaan kolmeen kategoriaan: aluekaapelointi, nousukaapelointi ja kerroskaapelointi. Kaapelointijärjestelmä on hierarkkinen, joka syntyy kun edellä mainitut toiminnalliset osat liitetään yhteen kiinteistön tarpeiden mukaan. Alue- ja nousukaapelina käytetään optista kaapelointia, jotka hitsataan molemmista päistä häntäkuituja käyttäen. Kerrosjakamosta eteenpäin lähtevät kaapelit ovat yleensä Cat-6 UTP (Unshielded Twisted Pair) verkkokaapelia. UTP:lla tarkoitetaan suojaamatonta verkkokaapelia ja FTP (Foil Twisted Pairs) parisuojattua verkkokaapelia. Kaapeloinnin rakenne on esitetty kuvassa 14. (ST-681.10, 6.)



Kuva 14. Toimitilakiinteistön yleiskaapelointijärjestelmä. (ST-681.10, 6.)

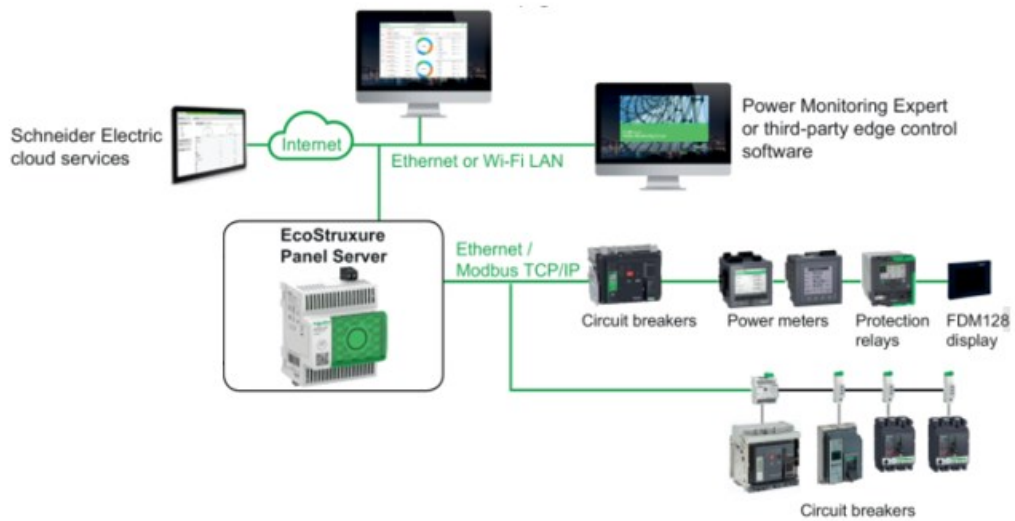
Kuvassa 15 on esitetty periaate kerroskaapeloinnin osalta, jossa FD kuvaa kerrosjakamoa kerroksessa ja TO tietoliikennesasiaa, joka on asennettu esimerkiksi tekniseen tilaan. Kerroskaapeloinnin mitoituksen suhteen on voimassa seuraavia reunaehtoja: kanavan enimmäispituus on 100 m, kiinteä kerroskaapelien pituus enintään 90 m, työpistekaapelien pituus enintään 20 m ja tietoliikennesasian (TO) sijainti ei saa olla 15 m kauempana kerrosjakamosta. Tarkemmat pituudet on mahdollista laskea myös ST-kortista löytyvällä yhtälöllä. (ST-681.10, 7.)



Kuva 15. Kerroskaapeloinnin kokoonpano. (ST-681.10, 7.)

Alla esimerkki Modbus TCP/IP-verkon rakenteesta, jossa Panel Server-laite toimii palvelimena ja sen perään on kytketty Modbus TCP/IP-protokollaa tukevia laitteita kuten sähkömittareita (kuva 16). Palvelin voisi sijaita valvonta-alakeskuksessa rakennuksen kellarissa. Internet yhteys kytketään lähimpään siinä kerroksessa sijaitsevaan kerrosjakamoon Cat-6 UTP-verkkokaapelilla ja kytkimestä avataan portti automaatiojärjestelmää varten. Tilaan, jossa valvonta-

alakeskus sijaitsee asennetaan tietoliikenne-erästä, johon palvelin kytketään.
(EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 16. Modbus TCP/IP-rakenne. (EcoStruxure Building Help 2023.)

5 Laitteet ja ohjelmistot

5.1 Schneider Electric Link 150-palvelin

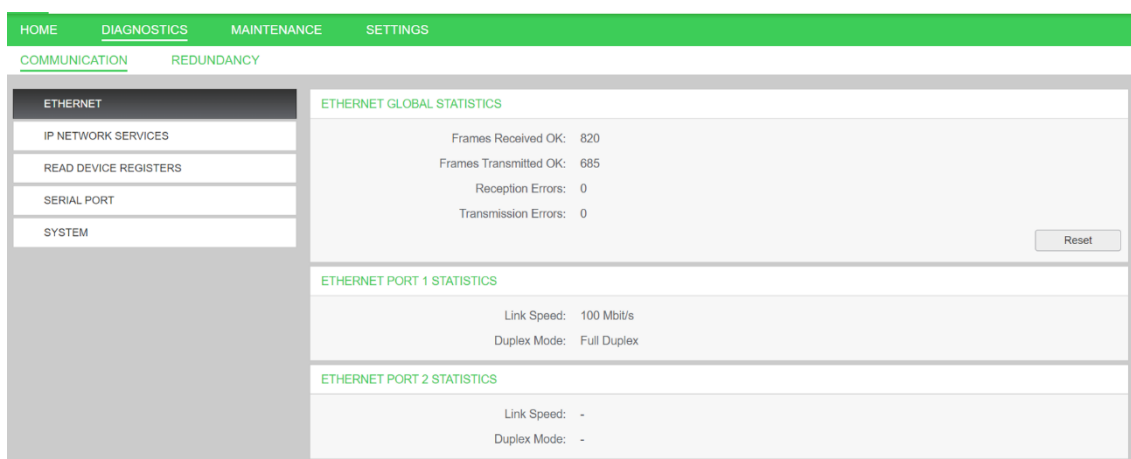
Link 150 on palvelin, joka mahdollistaa yhteyden Ethernetin (Modbus TCP/IP) ja sarjaliikennelaitteiden välille (Modbus RTU) ja myös antaa tietoja kytketyistä sarjaliikennelaitteista (kuva 17).



Kuva 17. Schneider Electric Link 150-palvelin. (EcoStruxure Building Help 2023.)

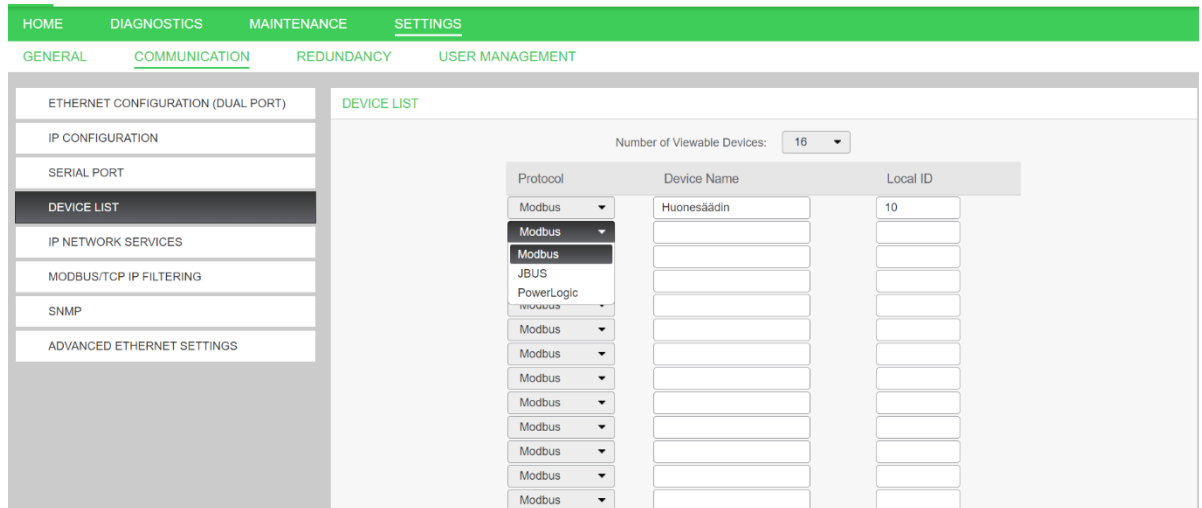
Tässä opinnäytetyössä keskitytään siihen mitä tietoja väylän toiminnasta ja väylään kytketyistä voidaan saada ja kuinka niitä voisi hyödyntää vianetsinnässä. Laitetta ei varsinaisesti ole tarkoitettu vianetsintään, mutta siitä saadaan hyödyllistä tietoa väylän toiminnasta. Laitteeseen voidaan kytkeä RS-485 -ja RS-232-standardeja käyttäviä laitteita. (EcoStruxure Building Help 2023.)

Laitteen web-käyttöliittymän kautta pääsee palvelimen ominaisuuksiin kiinni, joka on selaimessa toimiva sivusto, johon kirjaututaan laitteen valmistajan antamalla tunnuksilla. Ensiksi on yhdistettävä tietokone laitteen Ethernet-porttiin verkkokaapelilla ja tietokone on asetettava samaan IP-osoiteavaruuteen. Sisäänkirjautumisen jälkeen avautuu käyttöliittymän etusivu, joka on jaettu neljään eri päävalikkoon: home, diagnostics, maintenance ja settings. Jokaisen päävalikon alta löytyy useita alavalikoita (kuva 18). (EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 18. Link 150-laitteen käyttöliittymä. (EcoStruxure Building Help 2023.)

Laitteen valikosta löytyy laitteen yleiset tiedot kuten tuotteen malli, sarjanumero, MAC-osoite, IPv4-osoite, laiteohjelmiston versio ja päivä- ja aika-asetukset. Kommunikaatio-valikosta määritetään laitteen IP-osoite, sarjaliikenneparametrit ja käyttötapa (client vai server). Laitelistaan lisätään väylään kytketyt laitteet ja sen tiedot, nimi, protokolla ja ID-osoite (kuva 19). Modbus-protokollan lisäksi laite tukee myös PowerLogic ja JBus-protokollia. (EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 19. Laitelistan luonti. (EcoStruxure Building Help 2023.)

5.2 Schneider Electric SE8300-huonesäädin

SE8300 on huonesäädin, jota voidaan käyttää yksikkösäätimenä tai sarjamaisesti kytkettynä ratkaisuna ja se soveltuu hyvin saneerauksiin sekä uudiskohteisiin, esimerkiksi hotelleihin, toimistotiloihin tai kouluihin (kuva 20). Säätimen asennuksessa voidaan hyödyntää olemassa olevaa kaapelointia, joka mahdollistaa sen monipuolisen käytön. Säätimeistä löytyy lämpötilan mittaus, kosteuden mittaus, ohjelmoitavia I/O-pisteitä, ohjelmoitava alkunäyttö ja mahdollisuus käyttää BACnet- tai Modbus RTU-protokollaa. (EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 20. Schneider Electricin SE8300-huonesäädin. (EcoStruxure Building Help 2023.)

5.3 Schneider Electric AS-P-palvelin

AS-P on automaatiopalvelin, joka on EcoStruxure-ohjelmistoympäristön ydin (kuva 21). AS-P toteuttaa tärkeimmät toiminnot, kuten ohjauslogiikan, trendiseurannan ja hälytysvalvonnan, sekä mahdollistaa yhteyden I/O- ja kenttäväyliin. AS-P voidaan käyttää itsenäisenä palvelimena ja se pystyy myös ohjaamaan I/O-moduuleja sekä tämän lisäksi valvoa ja hallita kenttäväyliä. Laitteen keskeisiä ominaisuuksia ovat Workstation-rajapinta, LonWorks-tuki, Modbus-tuki, BACnet-tuki, EcoStruxure-verkkopalvelutuki ja laajat liitännäismahdollisuudet, joiden kautta se voi siirtää tietoa eri protokollien, laitteiden ja palvelinten välillä. (EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 21. AS-P-automaatiopalvelin. (EcoStruxure Building Help 2023.)

5.4 EcoStruxure Building Operation workstation

EcoStruxure Building Operation WorkStation on kaiken kattava ohjelmointiympäristö, jossa käytetään ja hallinnoidaan kaikkia ohjelman osa-alueita. Workstation kautta käyttäjät voivat seurata energiakulutustaan ja optimoida rakennusten tehokkuutta. (EcoStruxure Building Help 2023.)

Sieltä voi seurata ja hallita grafiikoita, hälytyksiä, trendejä ja raportteja. Reaaliaikainen seuranta näyttää prosessissa mitattavat arvot kenttätason olosuhteiden muuttuessa. Käyttäjät voivat hallita prosessia suoraan grafiikasta ja vaihtaa asetuspistettä, ottaa käyttöön tai poistaa laitteita. (EcoStruxure Building Help 2023.)

5.5 Picotech PC-oskilloskooppi

5.5.1 Picoscope 2204A

Oskilloskooppi on mittauslaite, joka näyttää jännitteen ja ajan kuvaajan. Picoscope 2204A on kaksikanavainen PC-oskilloskooppi, jota on mahdollista käyttää spektrin analysointiin, funktiogeneraattorina, satunnaisen aaltomuodon suunnitteluun tai sarjaliikenteen koodinpurkuun ja analysointiin. (kuva 22). (Picotech.com 2023.)

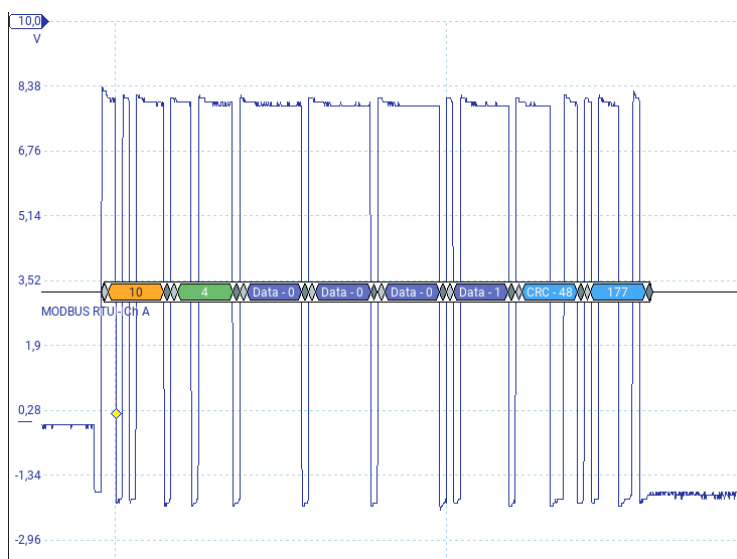


Kuva 22. Picoscope 2204a. (Picotech.com 2023.)

Picoscope 2000-sarja oskilloskoopilla voidaan tarkastella samaan aikaan analogisia ja digitaalisia signaaleja. Oskilloskoopin käyttö ja mittaustulosten kerääminen tapahtuu PicoScope 7 T&M PC-oskilloskooppiohjelmiston avulla. Ohjelmistolla voidaan analysoida Modbus-väylän toimintaa ja vikoja käyttämällä sarjaliikenteen koodinpurkua. Tällä saadaan selville esimerkiksi se, missä tiedot on vioittuneet, häiriöiden tai virheellisten jännitetasojen vuoksi. (Picotech.com 2023.)

5.5.2 PicoScope 7 T&M-ohjelmisto

PC-oskilloskooppi on mittauslaite, joka on yhdistelmä oskilloskooppia ja tietokoneella suoritettavaa oskilloskooppiohjelmää. PicoScope 7 T&M on ohjelmisto, joka on suunniteltu käytettäväksi PicoScope oskilloskoopin kanssa. Modbus-väylän analysoinnissa käytetään sarjaliikenteen koodinpurkuominaisuutta, jossa ohjelmisto purkaa väylässä kulkevan datan ja piirtää siitä kuvaajan (kuva 23). (Picotech.com 2023.)



Kuva 23. Sarjaliikenteen koodinpurkunäkymä. (PicoScope 7 T&M ohjelmisto 2023.)

Puretusta datasta voidaan todeta, miten tiedonsiirto väylälaitteiden välillä toimii ja mitkä ovat väylään kytkettyjen laitteiden ID-tunnukset, funktiokoodit ja lähetetty data. Ohjelma listaa myös taulukkoon kerätyn datan, joka voidaan halutessa muuttaa tekstimuotoon. (Picotech.com 2023.)

6 Toteutus

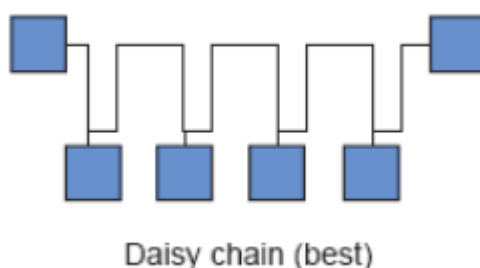
6.1 Pohjustus Modbus-väylän analysointiin

Modbus-väylässä voi ilmetä monenlaisia vikoja, jotka vaikuttavat sen toimintaa merkittävästi tai niin, että yhteys laitteiden välillä on täysin poikki. Monesti on hyvin vaikea sanoa mistä ongelmat johtuvat, joten vikaa kannattaa lähteä selvittämään järjestelmällisesti niin, että tiedetään mitkä osa-alueet väylästä toimii ja mitkä ei. Yleensä vika löytyy väylän parametreista, rekistereistä tai sitten fyysisen väylän puolelta. On myös tärkeää varmistaa, että väylärakenne on toteutettu oikein. Tässä on otettava huomioon, että kaapelityyppi pysyy samana koko väylän matkalta, kaapeloinnissa käytetään väylätopologiaa ja väylän terminointi sekä biasointi on asianmukainen. Kaapelointi on toteutettava niin, että väylään ei synny oksia tai haaroja, jotka sotkevat ja hidastavat tiedonkulkua.

Vikaa voidaan alkaa etsimään poissulkutekniikalla, jossa väylästä irti kytketään ensiksi kaikki paitsi yksi laite ja katsotaan, nouseeko laite väylään. Jos laite nousee väylään, voidaan seuraavaksi kytkeä väylään takaisin esimerkiksi neljäsosa laitteista ja tarkastetaan toiminta. Tilanteessa, jossa ensimmäinen laite ei nouse väylään on hyvä tarkistaa laitteen parametrit ja väylän kytkentä. Jatketään laitteiden kytkemistä väylään, kunnes törmätään uusiin ongelmiin tai kaikki väylän laitteen toimivat oikein ja ovat nousseet väylään. Laitteiden tilaa voidaan tarkkailla valvomosta käsin.

Vianetsinnässä apuna voidaan käyttää tarkastuslistaa, joka löytyy liitteestä 1 ja sen tarkoituksena on, että käydään läpi systemaattisesti Modbus-väylän toimintaan liittyvät tekijät. Listaa voi käyttää esimerkiksi väylän käyttöönottovaiheessa muistilistana tai sitten vianetsinnässä tarkastuslistana. Vianetsinnässä on hyvä aloittaa ”helpoista” vioista, jotka eivät vaadi laitteiden tai kaapeloinnin purkua kuten, AS-P-palvelimen ajantasainen Firmware- ja Hotfix-päivityksen tarkistus, väyläasetusten määrittely, laiteosoitteiden tarkistus ja onko välimuuttujat luotu oikein ohjelmointiympäristöön. Tarkistuslista on jaettu ohjelmointi-, väylänrakenteen ja fyysisten kytkentöjen osaan.

Tarkastuslistassa ohjelmointiosion kohdat liittyvät ohjelmistoympäristön sisäisiin bindauksiin ja rekistereihin. Bindauksilla tarkoitetaan ohjelmointiympäristön sisäistä toimintoa missä mittauspisteen tiedot yhdistetään grafiikkakuvaan. Väylärakenteen osalta on hyvä tarkistaa, että kaapeloinnin topologia on väylätyyppinen (daisy chain) (kuva 24) ja väylän pituus on raja-arvojen sisällä. Väylään kytkettävien laitteiden maksimi määrät tulee ottaa myös huomioon.



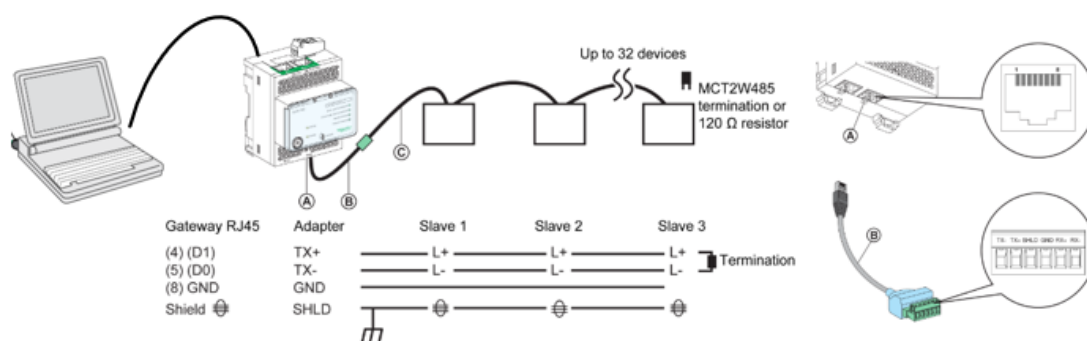
Kuva 24. Väylätyyppinen topologia. (Schneider Electric väyläkoulutus 2023.)

Fyysisen kytkentöjen osalta on tarkastettava, että kaikki väylälaitteet on kytketty oikein ja että väylän napaisuus ei ole ristiin kytketty missään kohtaa. Väylän molemmissa päissä tulee olla $120\ \Omega$ päätevastukset, jos biasointia ei ole tehty.

6.2 Modbus-väylän analysointi Link 150-palvelimella

6.2.1 Kytkennät

Tietokone kytketään laitteen Ethernet-porttiin verkkokaapelilla, jotta päästään laitteen ominaisuuksiin kiinni. Väylän parikaapeli kytketään adapterin avulla RS-485-porttiin kuvan mukaisesti (kuva 25). (EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 25. Kytkentäperiaate. (EcoStruxure Building Help 2023.)

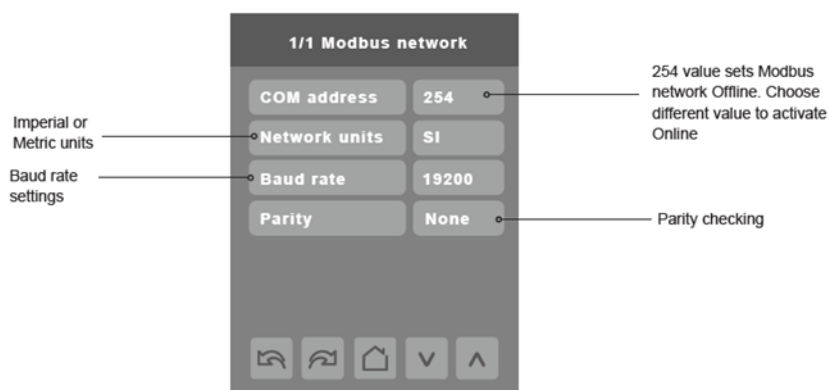


Kuva 26. Testiympäristö

Usein Modbus-väylän kaapelointi toteutetaan kaksijohtimisena eli käytetään kierretyn parikaapelin yhtä paria, siinä tapauksessa väylän plus ja miinus kytketään ruuviliittimillä TX+ ja TX – liittimiin. Parikaapeli ketjutetaan kaikkien väylään

kytkettyjen laitteiden kautta ja väylä päätetään 120 Ω terminointivastukseen. Mikäli väylä toteutettu nelijohtimisena, silloin kytketään parikaapelin toinen pari adapterin RX- ja RX+ liittimiin. Yhden Link 150-palvelimen perään voidaan kytkeä maksimissaan 32 väylälaitetta. (EcoStruxure Building Help 2023.)

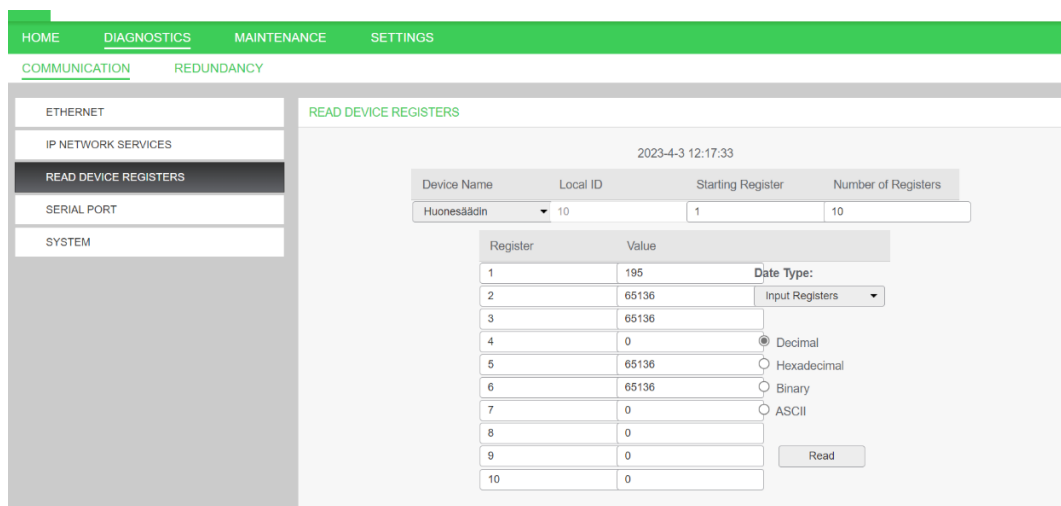
Palvelin on kytketty suojatulla parikaapelilla Schneider Electricin SE8300 -huonesäätimeen, joka on asennettu testauksiin tarkoitettuun testipenkkiin. Huonesäätimen käyttö tapahtuu kosketusnäytön avulla ja navigointi onnistuu näytön alareunasta löytyvillä kuvakkeilla (kuva 27). Ensimmäiselle riville asetetaan säätimen ID-osoite väliltä 0–254 sitten valitaan yksikköjärjestelmä, baudinopeus ja pariteetti. (EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 27. Huonesäätimen Modbus-asetukset. (EcoStruxure Building Help 2023)

6.2.2 Väylän toiminnan analysointi

Väylän toimivuutta voidaan tarkastella Diagnostiikka-valikosta, josta voidaan lukea haluttujen laitteiden rekistereitä lisäämällä manuaalisesti rekisterin numero ja tyypin (kuva 28). Pudotusvalikosta valitaan laitteen nimi, jonka rekisteriä halutaan lukea ja määritellä mistä kohtaa rekisteriä lähdetään lukemaan. (EcoStruxure Building Help 2023.)



Kuva 28. Modbus-laitteiden rekisterin luku. (EcoStruxure Building Help 2023.)

Jokaisella laitteella ja valmistajalla on omat rekisterinumeronsa, joten väylään kytketyn laitteen rekisterit on oltava tiedossa, että saadaan luettua oikea arvo. SE8300 huonesäätimen Modbus-rekisteri on esitetty alla taulukossa 5, josta löytyvät rekisterinumerot, funktiokoodit ja mittausarvojen ylä- ja alarajat.

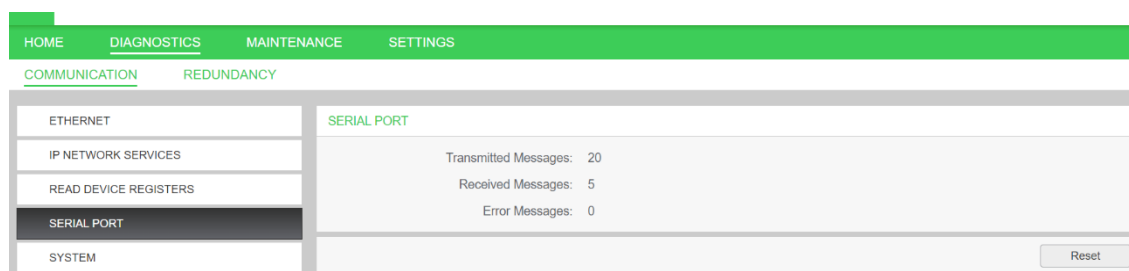
Object Name	Modbus Register	Modbus Address	Function Code	Low Limit	High Limit
Room Temperature	1	30001	4	-40°F(-40°C)	122°F(50°C)
Outdoor Temperature	2	30002	4	-40°F(-40°C)	180°F(82°C)
UI22 Supply Temperature	3	30003	4	-40°F(-40°C)	180°F(82°C)
Room Humidity	4	30004	4	0	100
UI19 Changeover Temperature	5	30005	4	-40°F(-40°C)	180°F(82°C)
UI20 Remote Temperature	6	30006	4	-40°F(-40°C)	180°F(82°C)
CO2 Level	7	30007	4	0	5000

Taulukko 5. SE8300 huonesäätimen Modbus-rekisterit. (EcoStruxure Building Help 2023.)

Rekisterinlukua varten valitaan pudotusvalikosta haluttu laite sekä kohta mistä rekisteriä aletaan lukemaan (starting register), luettavaksi rekisteriksi valitaan input register ja mitattava arvo asetetaan desimaalimuotoon. Huonesäätimen lämpötila-arvo saadaan luettua value-sarakkeesta, kun luetaan rekisteriä lähtien numerosta yksi. Mittaustuloksen arvo näkyy kymmenen kertaa liian suurena, joten asettamalla vahvistuskeroiin arvoon 0,1 saadaan todellinen lämpötila. Rekisterin lukuhetkellä huoneen lämpötila on ollut 19,5 °C ja rekistelin lukutuloksena se näkyy arvona 195 (kuva 28). (EcoStruxure Building Help 2023.)

Rekisterinluku-toiminnolla voidaan varmistaa väylän toimintaa monelta osin. Huonesäätimen lämpötilan mittaus voidaan tarkistaa rekisteriä lukemalla ja ver-
rata sitä huonesäätimen näyttämään arvoon. Jos nämä arvot täsmää keske-
nään, väylä toimii kyseisen huonesäätimen osalta. Onnistuneella rekistelin lu-
vulla varmistetaan myös, että huonesäätimen väyläasetukset ovat oikein kuten,
baudinopeus, pariteetti ja laitteen ID. (EcoStruxure Building Help 2023)

Serial port-valikosta nähdään sarjaliikenneporttiin kytkettyjen laitteiden tiedon-
siirron statistiikkaa (kuva 29).



Kuva 29. Sarjaliikenneportin statistiikkaa. (EcoStruxure Building Help 2023)

Valikoista näkyy väylän lähetetyt ja vastaanotetut viestit ja virheviestit. Virhe-
viestit kertovat siitä, että jokin väylään kytketty laite ei toimi oikein tai väylässä
on jotain muuta vikaa. Tässä tilanteessa vikaa voidaan alkaa selvittämään irti
kytkemällä väylän laitteita poissulkutaktiikan mukaisesti. Kytkentämuutosten jäl-
keen voidaan nollata statistiikka ja seurata onko vika hävinnyt.

6.3 Picoscopen käyttö testausympäristössä

Hyvin usein väyläskannerin tai oskilloskoopin kaltaisiin laitteisiin ei tarvitse tur-
vautua, koska vika löytyy yleensä poissulkutaktiikkaa käyttäen. Jos vika ei löydy
poissulkutaktiikalla voidaan väylän tarkastelussa käyttää oskilloskooppia. Picos-
cope 2204 avulla voidaan analysoida väylää ja sen toimintaa.

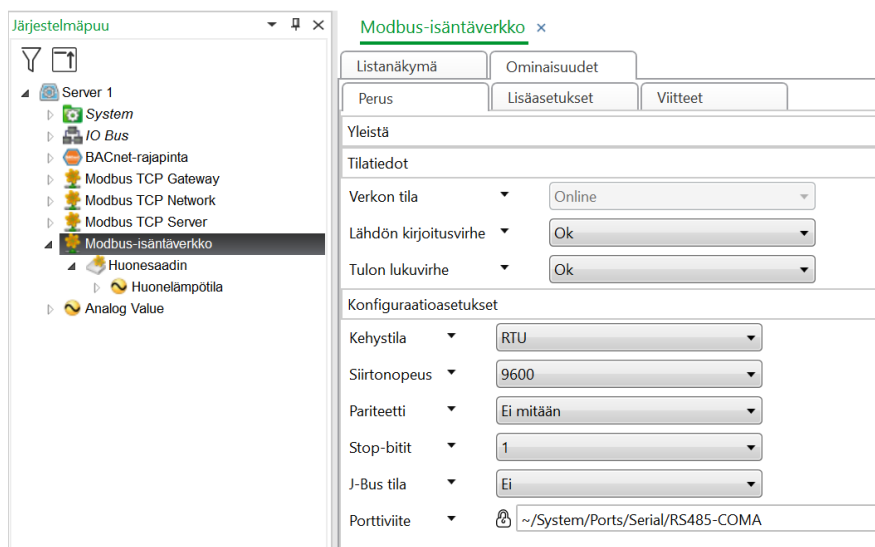
6.3.1 Väylän analysointi testiympäristössä

Testausympäristön tarkoituksena on demonstroida tilannetta missä väylän tie-
donsiirto toimii asianmukaisesti ja miltä se näyttää PC-oskilloskoopilla tarkastel-
taessa. Kun laitteet on kytketty testipenkkiin, sillä voidaan simuloida

vikatilanteita helposti aiheuttamalla itse väylään vika. Näitä tuloksia voidaan käyttää vertailupohjana vianetsinnässä.

Testausympäristössä masterina toimii AS-P-palvelin, johon luotu Modbus-rajapinta väylää varten ja slave-laitteena toimii S8300-huonesäädin. Väyläkaapelina on käytössä parisuojattu JAMAK 2x(2+1)x0,5. Picoscopen A-kanava on kytketty rinnan AS-P-palvelimesta lähtevän väyläkaapelin kanssa ja väylän alkuun on kytketty päätevastus. Väylän toimintaa tarkastellaan Picoscope 7 T&M-ohjelmiston avulla. Jotta väylä saadaan toimimaan, on varmistettava, että väyläasetukset ovat palvelimen sekä huonesäätimen osalta oikein.

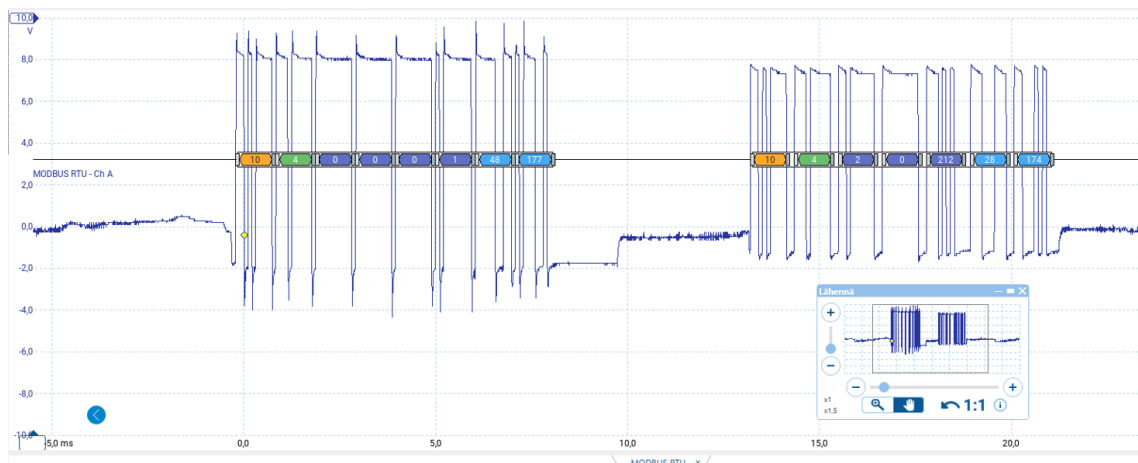
Master-laitteen väyläasetukset määritetään Workstation-ohjelmointiympäristössä (kuva 30). Ensin palvelimeen luodaan Modbus-rajapinta, johon lisätään väylään kytkettävä laite, tässä tapauksessa huonesäädin, ja lisätylle huonesäätimelle luodaan vielä oma analoginen tulopiste, joka näyttää lämpötilan. Huonesäätimen omat väyläasetukset määritellään huonesäätimen asetuksista kosketusnäyttöä käyttäen.



Kuva 30. AS-P-palvelimen väyläasetukset. (Schneider Electricin ohjelmistoympäristö. 2023)

Väylään on kytketty siis yksi huonesäädin, joka mittaa huoneen lämpötilaa. Oscilloskoopin sarjaliikenteen koodinpurkuominaisuuden avulla saadaan näkyviin väylässä liikkuva data. Modbus-väylä toimii kysely- ja vastausperiaatteella, joten master kysyy lämpötilaa huonesäätimeltä ja säädin vastaa takaisin masterille.

Kysely- ja vastaussanomat alkavat slave-laitteen ID-tunnuksella ja seuraavana näkyy funktiokoodi, sen jälkeen itse data ja lopuksi tarkistussumma (CRC) (kuva 31) ja (liite 2).



Kuva 31. Kysely- ja vastaussanoma. (PicoScope 7 T&M ohjelmisto 2023.)

Väylässä kulkevat sanomat erottuvat kuvaajassa jännitteen vaihteluina ja koodinpurku jakaa datan eri värisiin osiin kuvaajassa. Sanoma alkaa keltaisella merkatusta laitteen ID-numerosta ja loppuu sinisellä merkattuun tarkistussummaan. Ensimmäinen sanoma on masterin lähettämä kysely huonesäätimelle ja jälkimmäinen sanoma on huonesäätimen vastaus takaisin masterille. Masterin lähettämässä sanomassa dataosio kertoo mitä rekisterinumeroa luetaan. Tässä kytkennässä huonesäätimen lämpötila-arvo saadaan luettua rekisterinumerolla 1 ja tämä näkyy sanoman dataosalla numerosarjana 0 0 0 1. Huonesäätimen takaisin lähettämästä datasta nähdään huoneen lämpötila. Huonesäätimen lähettämässä datassa lämpötila-arvo on kymmenen kertaa liian suuri, joten asettamalla vahvistuskertoimeksi 0,1 saadaan luettua lämpötila oikein. Mittauksia tehdessä huoneen lämpötila oli 21,2 °C, joka näkyy huonesäätimen vastaussanomassa arvona 212.

Väylässä liikkuvaa dataa voidaan myös tarkastella koodinpurkukuvaajan alla olevasta taulukosta, johon tallentuu tarkempia tietoja väylässä liikkuvasta datasta, kuten kaikki data desimaalilukuna sekä sanomien aloitus ja lopetus ajankohdat (kuva 32).

Buffer Number	Packet	Start Time	End Time	Master	Slave ID	Function	Exception	Data	CRC	Parity Check	Valid Start	Valid End	Valid CRC	Valid Gap	Valid
100	1	-202,2 µs	8,12 ms	✓	10	4		0 0 0 1	48 177		✓	✓	✓	✓	✓
100	2	13,11 ms	21,02 ms	✓	10	4		2 0 212	28 174		✓	✓	✓	✓	✓
99	1	-202,3 µs	8,12 ms	✓	10	4		0 0 0 1	48 177		✓	✓	✓	✓	✓
99	2	13,23 ms	21,16 ms	✓	10	4		2 0 212	28 174		✓	✓	✓	✓	✓
98	1	-202,2 µs	8,12 ms	✓	10	4		0 0 0 1	48 177		✓	✓	✓	✓	✓
98	2	12,29 ms	20,21 ms	✓	10	4		2 0 212	28 174		✓	✓	✓	✓	✓
97	1	-212,4 µs	8,11 ms	✓	10	4		0 0 0 1	48 177		✓	✓	✓	✓	✓

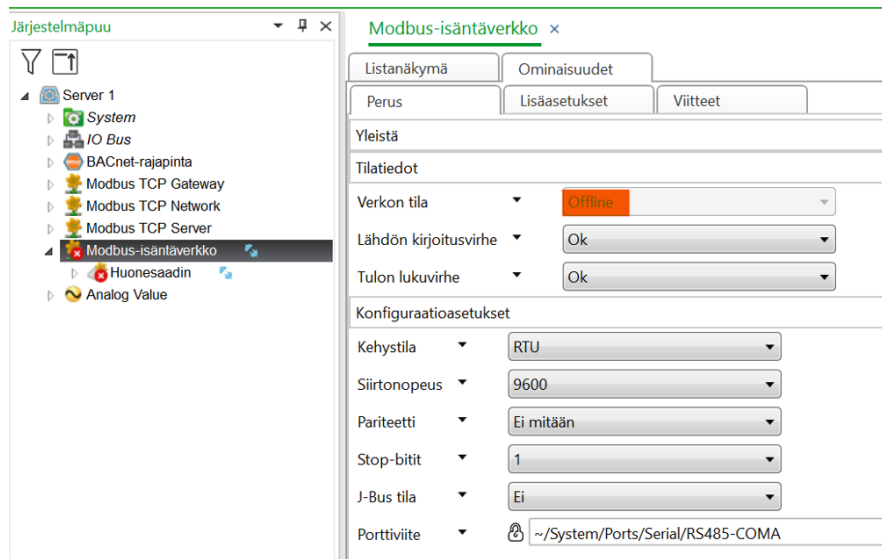
Kuva 32. Väylässä liikkuva data taulukoituna. (PicoScope 7 T&M ohjelmisto 2023.)

Taulukosta voidaan myös tarkistaa, onko väylässä tiedonsiirto ongelmia. Tällöin oikein-merkin tilalle ilmestyy rasti ja sarake muuttuu punaiseksi. Taulukon tietoja voidaan suodattaa esimerkiksi väylälaitteen ID-osoitteen, funktiokoodin tai datan perusteella. Tämä helpottaa tietojen käsittelyä, jos väylään on kytketty paljon laitteita.

6.3.2 Vikatilanteen simulointi

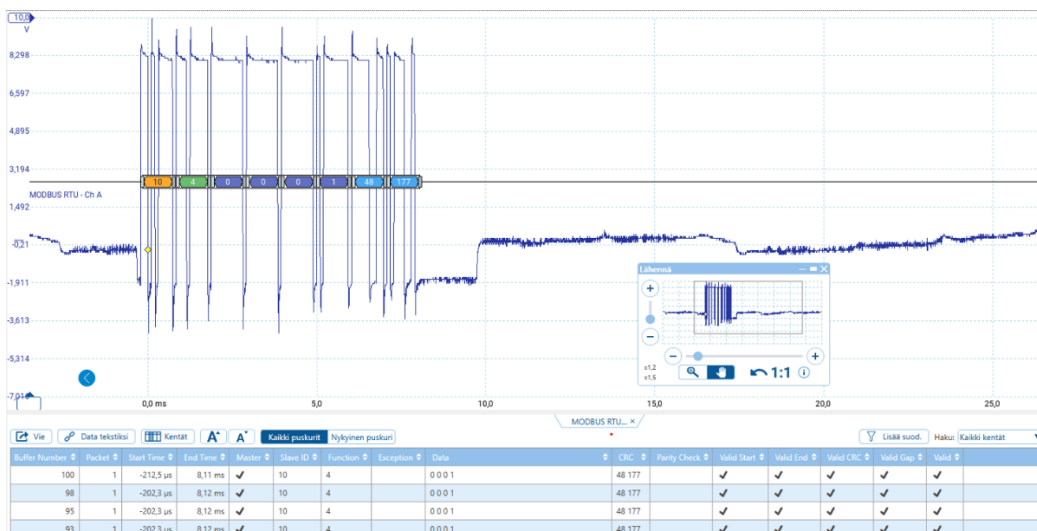
Väylässä ilmennyt vikatila voi johtua väyläasetuksen määrittelystä ja asetukset eivät täsmää master- ja slave-laitteiden välillä. Testipenkissä simuloidaan kolme eri vikatilannetta ja tarkastellaan kuinka ne vaikuttavat oskilloskoopin koodinpurkuun.

Ensimmäisessä vikatilanteessa huonesäätimen päässä väyläasetukset eivät täsmää masterin asetusten kanssa, josta seurauksena on se, että huonesäädin putoaa väylästä ja menee offline-tilaan, eli se ei kykene kommunikoimaan masterin kanssa. Tämä voidaan todeta workstation-ohjelmistoympäristön järjestelmäpuusta, jossa näkyvät kaikki väylään kytketyt laitteet ja luodut Modbus-rajapinnat (kuva 33).



Kuva 33. Väylästä pudonnut huonesäädin. (Schneider Electricin ohjelmistoympäristö. 2023)

Oskilloskoopilla tarkasteltaessa huomataan, että master lähettää kyselyn eteenpäin huonesäätimelle, mutta kyseinen huonesäädin ei kykene vastaamaan taakaisin, joten vastaussanoma ei näy kuvaajassa lainkaan (kuva 34 ja liite 3).



Kuva 34. Simuloitu vikatilanne johtuen huonesäätimen väyläasetuksista. (PicoScope 7 T&M ohjelmisto 2023.)

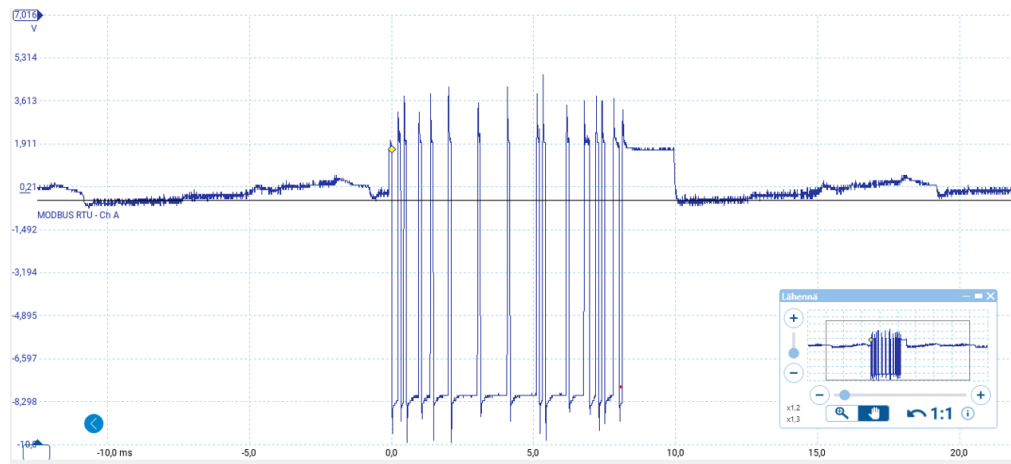
Huonesäätimeen on asetettu poikkeava baudinopeus master-laitteeseen verrattuna. Taulukosta nähdään myös, että väylässä liikkuu vain masterin lähettämä kyselysanoma huonesäätimelle. Saman kaltainen näkymä aiheutuu, jos huonesäätimeltä jostain syystä katkeaa syöttöjännite.

Toisessa vikatilanteessa väyläasetukset ovat määritelty väärin master-laitteen päästä. Silloin yksikään väylän laitteista ei pysty kommunikoimaan keskenään. Mikäli vika olisi yksittäisen väylälaitteen asetuksissa, kuten edellisessä esimerkissä, väylältä tippunut laite ei välttämättä vaikuta väylän toimintaan kriittisesti, mutta voi aiheuttaa siihen häiriötä. Koodinpurku ei myöskään osaa purkaa dataa niin, että tiedot olisivat hyödyllisiä tai paikkaansa pitäviä. Testiä tehdessä tiedetään, että väylään ei ole kytketty laitetta, jonka ID-numero olisi 32. Kuvaajasta nähdään myös, että sanomasta puuttuu dataosio ja funktiokoodi on väärä. Kuvaajan alla olevasta taulukosta nähdään lisäksi, että tarkistussummassa on virheitä, joten näillä tiedoilla voidaan todeta, että väyläasetukset ovat asetettu väärin ja tiedonsiirto väylässä ei toimi (kuva 35).



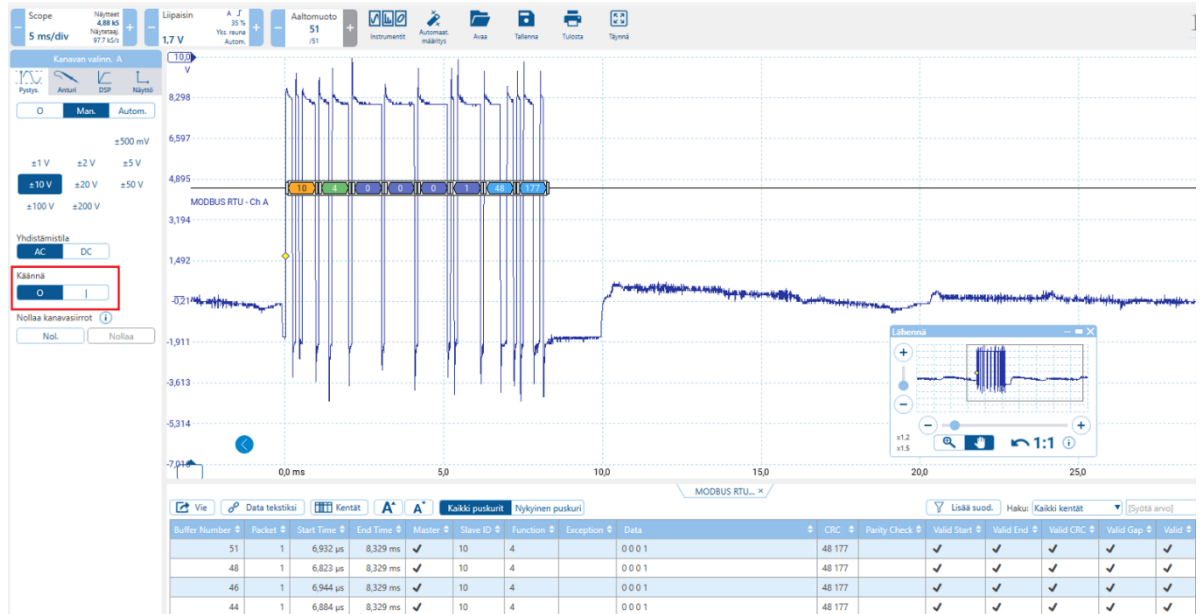
Kuva 35. Simuloitu vikatilanne johtuen master-laitteen väyläasetuksissa. (PicoScope 7 T&M-ohjelmisto 2023)

Kolmannessa vikatilanteessa väylän napaisuus (+ ja -) on kytketty ristiin AS-P-palvelimen liittimissä. Väylien napaisuuksia merkitään monella eri tavoin riippuen laitevalmistajasta, joten kytkentä virheitä voi tulla helposti. Seurauksena huonesäädin menee offline-tilaan kuten ensimmäisessä vikatilanteessa. Oskilloskoopin koodinpurku ei myöskään pysty purkamaan dataa oikein luettavaan muotoon. Näkymään tallentuu datapaketin jännitteen vaihtelut, mutta datan purku ei onnistu (kuva 36).



Kuva 36. Väylän napaisuus kytketty ristiin. (PicoScope 7 T&M ohjelmisto 2023)

Picoscope-ohjelmiston avulla väylän napaisuutta voidaan kääntää päinvastaiseksi ohjelmallisesti. Näin saadaan näkymään väylän master-laitteen kyselysanoma, vaikka väyläkaapelin johtimet olisivatkin ristissä. Ohjelmassa tehty napaisuuden kääntö vaikuttaa vain ohjelmiston koodinpurkuun, joten se ei korjaa fyysistä kytkentävirhettä. Näkymään piirtyy ainoastaan masterin kyselysanoma, koska huonesäädin on offline-tilassa (kuva 37). Riippumatta siitä missä asennossa ohjelman kääntöasetus on, voidaan päätellä, että väylän kytkennöissä on jotain vikaa.



Kuva 37. Käännetty näkymä ristiin kytketystä väylästä. (PicoScope 7 T&M-ohjelmisto 2023)

6.4 Väylän analysointi Picoscopella

6.4.1 Kohteen lähtötiedot

Kohteessa on neljä valvonta-alakeskusta, jotka sijaitsevat rakennuksen IV-koonehuoneessa kolmannessa kerroksessa ja niihin on kytketty yhteensä seitsemän erillistä Modbus-väylää. Väyliin on pääasiassa kytketty huonesäätimiä, painesäätimiä, lämmitys- ja jäähdytysventtiileitä, ilmamääräsäätimiä ja sähkömittareita. Väylän kaapelointi on toteutettu JAMAK 2 x (2+1) x 0,5+0,5-kaapelilla. Valvonta-alakeskuksen Ethernet-yhteyttä varten tilaan on asennettu ATK-rasia, josta verkkokaapeli on kytketty alakeskuksen AS-P-palvelimelle.

Väyliin tiedonsiirrossa on havaittu hitautta, jonka vuoksi ohjaukset toimivat viiveellä. Kohteessa on käytetty olemassa olevia väyläkaapelointeja, jotka olivat käytössä ennen tilamuutoksia. Osittain tästä syystä kolmeen väyläsegmenttiin on kytketty melkein 40 Modbus-laitetta, kun maksimi lukumäärä on 32 laitetta ilman vahvistimia. Väyläsegmentillä tarkoitetaan yhtenäistä väylänosaa, jossa ei ole yhtään vahvistinta ja laitteiden maksimimäärä on 32 laitetta. Väyliin ei ole tehty biasointia, mutta päätevastukset ovat paikallaan väyliin molemmissa päissä.

Keinoja, joilla väylän toimintaa voisi parantaa ovat biasontivastusten asennus AS-P-palvelimeen, tarkistus että häiriönsuojaus on toteutettu oikein ja maadoituksen lisääminen. Väylän toimivuuteen vaikuttaa myös väyläsegmentin pituus, mutta tähän on vaikea vaikuttaa muuttamatta kaapelointia.

6.4.2 Lähtötilanne ja korjaukset

Väylän tutkimiseen käytetään Picoscope PC-oskilloskooppia ja seurataan kuinka korjaustoimenpiteet vaikuttavat sarjaliikenteen koodinpurkuun. Käsitteilyyn otetaan pisin väyläsegmentti, johon on kytketty 37 väylälaitetta. Suurin osa väylälaitteista ovat huonesäätimiä, jotka ohjaavat tilojen lämmitys- ja jäähdytysventtiileitä, mutta väylässä alussa on myös muutama sähkömittari (kuva 38).



Kuva 38. Kohteen väyläkaavio. (Schneider Electricin ohjelmointiympäristö 2023.)

Ensiksi tarkastellaan väylän toiminta niin, että mitään korjaustoimenpiteitä ei ole tehty. Näin saadaan lähtötilanne, jota voidaan verrata myöhemmin saatuihin tuloksiin. PC-oskilloskooppi kytketään väylän + ja – johtimen välille laitteen omaa mittapäätä käyttäen ja toinen pää kytketään oskilloskoopin A-kanavaan (kuva 39).



Kuva 39. Oskilloskoopin mittapäitten kytkentä.

Mittapään kytkentäkohdalla ei oikeastaan ole merkitystä, kunhan oskilloskooppi on vain kytketty väylän johonkin liitospisteeseen. Tässä kohteessa helpoin liitospiste oli AS-P-palvelimen liittimet, josta väyläkaapelointi jatkuu kerroksiin huonesäätimille.

Lähtötilanteessa väylän tiedonsiirrossa on huomattava määrä vikoja ja häiriöitä, jotka ilmenevät oskilloskoopin purkamasta datasta. Datapakettien virheet olivat usein sanoman alkuosassa. Sarjaliikenteen koodinpurkuominaisuudella nähdään nämä vialliset datapaketit, jotka ohjelmisto listaa taulukkoon (taulukko 6). Taulukosta löytyy vain yksittäisiä datapaketteja, joissa ei ole mitään virheitä ja luotettavan mittaustulosten löytäminen kerätystä datasta on hyvin vaikeaa.

Buffer Number	Packet	Start Time	End Time	Master	Slave ID	Function	Exception	Data	CRC	Parity Check	Valid Start	Valid End	Valid CRC	Valid Gap	Valid
100	1	-2,559 µs	2,155 ms	✓	15	3		2 128 0	176 69	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X
100	2	10,58 ms	12,87 ms	✓	16	3		32 146 0 1	45 102	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
99	1	-30,72 µs	2,258 ms	✓	14	3		32 146 0 1	46 216	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X
98	1	-56,32 µs	2,235 ms	✓	12	3		32 146 0 1	47 58	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X
97	1	-35,84 µs	2,122 ms	✓	10	3		2 128 0	124 69	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X
97	2	10,42 ms	12,71 ms	✓	11	3		32 146 0 1	46 141	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
96	1	-81,92 µs	2,078 ms	✓	8	3		2 128 0	5 133	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X
96	2	10,69 ms	12,98 ms	✓	9	3		32 146 0 1	47 111	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
95	1	-1,485 ms	673 µs	✓	7	3		2 128 0	81 132	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X
95	2	9,068 ms	11,36 ms	✓	8	3		32 146 0 1	46 190	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
94	1	-235,5 µs	2,053 ms	✓	6	3		32 146 0 1	47 144	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X
93	1	-1,372 ms	916,2 µs	✓	5	3		32 146 0 1	47 163	✓✓✓✓✓✓✓✓	X	✓	✓	✓	X

Taulukko 6 Sarjaliikenteen koodinpurku lähtötilanteessa. (PicoScope 7 T&M ohjelmisto 2023.)

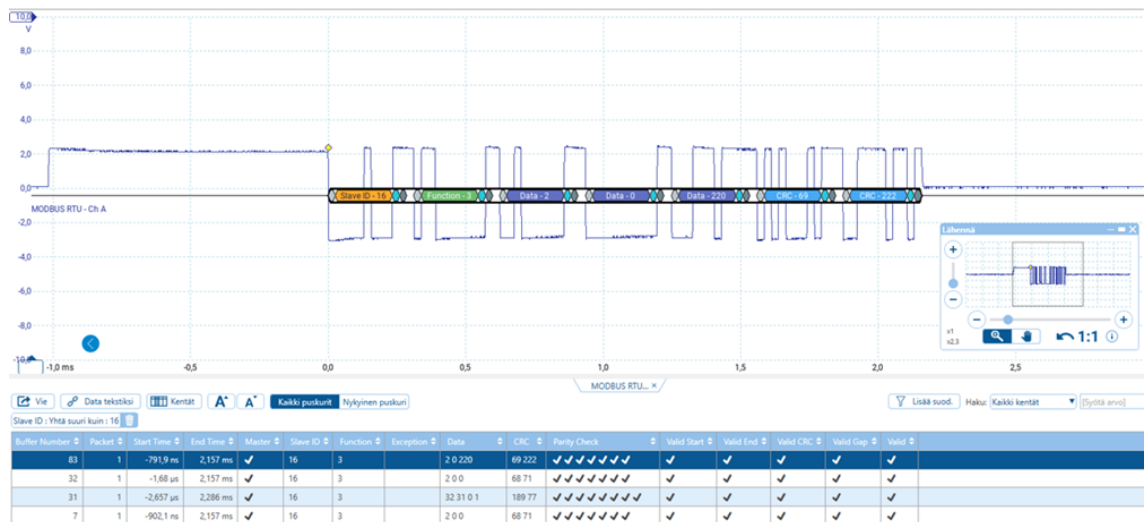
Seuraavassa vaiheessa väylään lisättiin biasointi-vastukset AS-P-palvelimen liittimiin, josta väylä lähtee eteenpäin kentälle. Lisäksi väyläkaapelin häiriönsuoja kytkettiin valvonta-alakeskuksen maadoituskiskoon. Oskilloskoopin asetukset ja kytkennät pidettiin samana, jotta nähdään biasoinnin ja maadoituksen vaikutus väylän toimintaan. Väylää tarkasteltaessa korjaustoimenpiteiden jälkeen huomataan, että suurin osa virheistä oli hävinnyt kerätystä datasta (taulukko 7). Joitain yksittäisiä viallisia datapaketteja ilmeni biasoinnin jälkeenkin, mutta pääasiassa virheitä ei ollut. Joissain tapauksissa väylässä liikkuva datapaketti osui juuri kahden eri mittausotoksen väliin ja näkyi siten virheenä taulukossa.

Buffer Number	Packet	Start Time	End Time	Master	Slave ID	Function	Exception	Data	CRC	Parity Check	Valid Start	Valid End	Valid CRC	Valid Gap	Valid
76	1	-2,277 µs	2,286 ms	✓	8	3		33 2 0 2	111 110	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
75	1	-988,9 ns	2,157 ms	✓	7	3		2 128 0	81 132	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
74	1	-3,11 µs	2,287 ms	✓	6	3		33 1 0 2	158 64	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
73	1	-2,121 µs	2,286 ms	✓	6	3		32 146 0 1	47 144	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
72	1	-2,512 µs	2,286 ms	✓	5	3		33 1 0 2	158 115	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
71	1	-1,98 µs	2,286 ms	✓	5	3		32 146 0 1	47 163	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
70	1	-2,118 µs	2,286 ms	✓	3	3		33 1 0 2	158 21	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
69	1	-1,977 µs	2,78 ms	✓	3	3		4 0 0 0	217 243	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
68	1	-1,484 ms	804,2 µs	✓	2	3		32 146 0 1	46 20	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
67	1	-1,874 ms	908,6 µs	✓	1	3		4 0 0 0	250 51	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
66	1	-1,745 µs	2,781 ms	✓	1	3		4 0 0 0	250 51	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
65	1	-1,891 µs	2,286 ms	✓	4	3		33 1 0 2	159 162	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
64	1	-1,009 µs	2,781 ms	✓	19	3		4 0 0 0	200 50	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓
63	1	-1,77 ms	389,6 µs	✓	19	3		2 128 0	97 135	✓✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓	✓	✓	✓

Taulukko 7. Sarjaliikenteen koodinpurku biasoinnin jälkeen. (PicoScope 7 T&M-ohjelmisto 2023.)

Kun ohjelmiston koodinpurku on käynnissä, taulukkoon ilmestyy kaikki väylässä kulkeva liikenne ja näin yksittäisten laitteiden dataa on vaikea havaita tai löytää, jos tehdään esimerkiksi vianetsintää. Taulukkoon kertyvää dataa voidaan

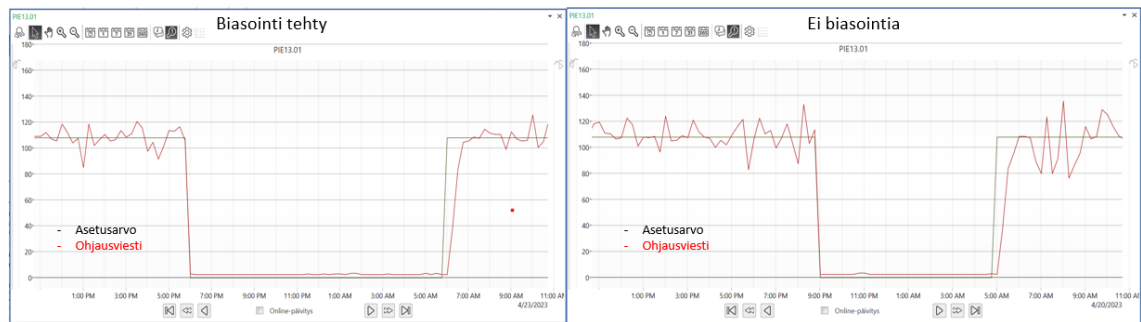
suodattaa monella eri perusteilla kuten master ID-numerolla, slave ID-numerolla, funktiokoodilla tai halutessa hakusanalla mistä vain taulukon sarakkeesta. Taulukon suodatus helpottaa huomattavasti väylän analysointia, kun näkyviin saadaan pelkästään tietyn laitteen tiedonsiirto. Kerätyt tiedot on suodatettu niin, että ainoastaan yhden laitteen tiedonsiirto on näkyvissä kuvassa 40 ja tarkemmin liitteessä 4. Ohjelmassa voidaan käyttää useampia suodattimia yhtäaikaista ja ne näkyvät taulukon yläpuolella.



Kuva 40. Suodatettu näkymä. (PicoScope 7 T&M-ohjelmisto 2023.)

6.4.3 Korjaustoimenpiteiden vaikutukset

Ero lähtötason ja biasoidun väylän välillä on huomattava. Sarjaliikenteen koodinpurusta saadun datan perusteella nähdään, että virheellisiä datapaketteja ilmestyi enää harvoin ja väylän datasta pystyttiin lukemaan mittaustietoa luotettavasti. Mittaustulokset varmistettiin oikeiksi katsomalla samaan aikaan puretun datan mittaussarvo ja valvomossa näkyvä mittaussarvo. Huonesäätimet ohjaavat painesäätimiä ja trendikuvaajassa biasoinnin vaikutus näkyy niin, että ohjausviesti ei ”huoju” niin paljoa kuin aikaisemmin, eli ohjausviestin punainen viiva on tasaisempi ja poikkeaa vähemmän asetusarvosta, joka on esitetty mustalla viivalla. (kuva 41)



Kuva 41. Trendikuvaaja ennen ja jälkeen biasoinnin. (Schneider Electricin ohjelmointiympäristö 2023.)

Väylään kytkettyjen huonesäätimien ohjaukset toimivat biasoinnin jälkeen hie-
man nopeammin. Tämä pystyttiin toteamaan seuraamalla huonesäätimen todellista
pollausaikaa eli missä ajassa huonesäädin reagoi AS-P-palvelimen kyse-
lyyn. Pollausaikaa voisi mahdollisesti saada vieläkin nopeammaksi, mutta väylä
on asetettu toimimaan hitaasti siksi, että ohjausviestien huojunta ei aiheuta toi-
milaitteissa jatkuvaa säätymistä edestakaisin. Pelkän maadoituksen lisäämisellä
ei ollut näkyvää merkitystä sarjaliikenteen koodinpurussa tai pollausajoissa. Bia-
sointi vähensi selvästi väylän tiedonsiirron virheitä, jotka vaikuttavat suoraan
väylän toimintaan ja nopeuteen.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millainen on toimiva Modbus-väylä ja
kuinka väylässä ilmeneviä vikoja voisi selvittää ja korjata. Vianetsinnässä käyte-
tään Schneider Electric Link 150-palvelinta ja Picoscope PC-oskilloskooppia. Pi-
coscope oskilloskoopin ohjelmisto on hyvä keino selvittää tarkasti mitä tietoa
Modbus-väylässä liikkuu. Picoscope-ohjelmisto soveltuu moneen eri käyttötar-
koitukseen ja sarjaliikenteen koodinpurku on vain yksi näistä hyödyllisistä omi-
naisuuksista.

Kohteessa oskilloskoopista saatujen tulosten tarkastelussa täytyy muistaa, että
kohteen väylät toimivat ennen biasointi-vastustusten ja maadoituksen asenta-
mista, mutta jokseenkin hitaasti. Biasointi-vastusten lisääminen näkyy mahdolli-
sesti merkittävämpänä muutoksena sarjaliikenteen koodinpurkuohjelmassa kuin
oikeasti väylän toiminnassa. Tuloksista kuitenkin kävi ilmi, että joitain positiivisia
vaikutuksia korjaustoimenpiteillä väylän toimintanopeuteen oli.

Opinäytetyön toteutusvaiheen rajaus oli hankalaa, koska Modbus-väylän analysointiin löytyy paljon eri keinoja ja analysointiin soveltuvia ohjelmistoja ja laitteita on myös paljon. Työssä käytettiin paljon toimeksiantajan omia ohjelmistoja ja laitteita, joiden käyttöön sain hyviä neuvoja ja ohjausta työyhteisöltä.

Opinäytetyössä käytettyjä mittausmenetelmiä ja tuloksia voisi käyttää muissakin kohteissa esimerkiksi jo rakennuksen käyttöönottovaiheessa, eikä silloin kun vika on jo ilmennyt. Yhä useammat talotekniikan laitteet kytketään väylään, esimerkiksi iv-koneet, huonesäätimet ja energiamittarit. Väylän vianetsintä jälkeensä on aikaa vievää ja usein vaikeaa.

Jatkokehitysmahdollisuudet opinäytetyölle voisivat olla esimerkiksi käyttää vianetsintämenetelmiä muissa kohteissa. Saatuja mittaustuloksia voisi myös soveltaa eri väyläratkaisujen kanssa, koska kaapelointi on hyvin usein samankaltainen.

Lähteet

- Advantech.com/RS-485 connections 2022. RS-485-liitännät. <https://www.advantech.com/en-eu/resources/white-papers/02cb2f4e-4fb2-4a87-be3b-508325bd61d6>. 20.6.2022.
- Circuitbasics.com 2023. Datakehys. <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>. 5.5.2023.
- EcoStruxure Building Help 2023. <https://www.se.com/fi/fi/work/products/product-launch/local/ebo/?%20gclid=CjwK%20CAjw3ueiBhBmEiwA 4BhspDAB 9mU5FR0fKBe-UlFNtXwel7d 31%20s tUQA vBrTKnf2l YXee%20N jnLfx hoC88MQAvD BwE> 1.4.2023
- Käyttöliittymät ja tiedonsiirto Karelia-AMK 2021. Opetusmateriaali. Karelia-ammattikorkeakoulu. 7.9.2022
- Modbus.org 2022. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf. 23.6.2022.
- Modbus organization press release 2020. Modbus Organization Replaces Master-Slave with Client-Server. <https://www.modbus.org/docs/Client-ServerPR-07-2020-final.docx.pdf>. 18.4.2023.
- Picotech.com 2023. Picoscope 2204a PC-oskilloskooppi. <https://www.picotech.com/oscilloscope/2000/picoscope-2000-overview>. 17.3.2023.
- PicoScope 7 T&M ohjelmisto 2023. <https://www.picotech.com/downloads>. 6.4.2023.
- Prysmiangroup.com 2023. Häiriösuojatut instrumentointi kaapelit. <https://fi.prysmiangroup.com/node/10561>. 2.1.2023.
- Schneider Electricin ohjelmistoympäristö 2023. Yrityksen sisäinen ohjelmointi- ja prosessin hallintaympäristö. 23.3.2023. Vain sisäiseen käyttöön.
- Schneider Electricin väyläkoulutus 2023. Yrityksen sisäinen Modbus-väyläkoulutus 6.3.2023. Vain sisäiseen käyttöön.
- Simplymodbus.ca/TCP 2022. Modbus RTU ja TCP/IP. <https://www.simplymodbus.ca/index.html>. 4.7.2022.
- SFS-EN ISO 52120-1 2022. Rakennusten energiatehokkuus. Kiinteistöautomaation, ohjauksen ja kiinteistönhallinnan vaikutus osa 1 2022. 21.12.2022.
- ST-21 2022. Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto 2022. Sähköinfo <https://severi-sahkoinfo-fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/231?search=21>. 20.4.2022.
- ST-17 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät 2018. Sähköinfo <https://severi-sahkoinfo-fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/234?search=17>. 21.4.2022.
- ST-681.10 2022. Toimitilakiinteistön yleiskaapelointijärjestelmän suunnitteluohje. Sähköinfo <https://severi-sahkoinfo-fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/817?search=681.10>. 29.4.2023.

ST-710 2020. Rakennusautomaatiojärjestelmän säädökset, määräykset, standardit ja ohjeet 2020. Sähköinfo <https://severi-sahkoinfo-fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/364?search=710>. 3.5.2022.

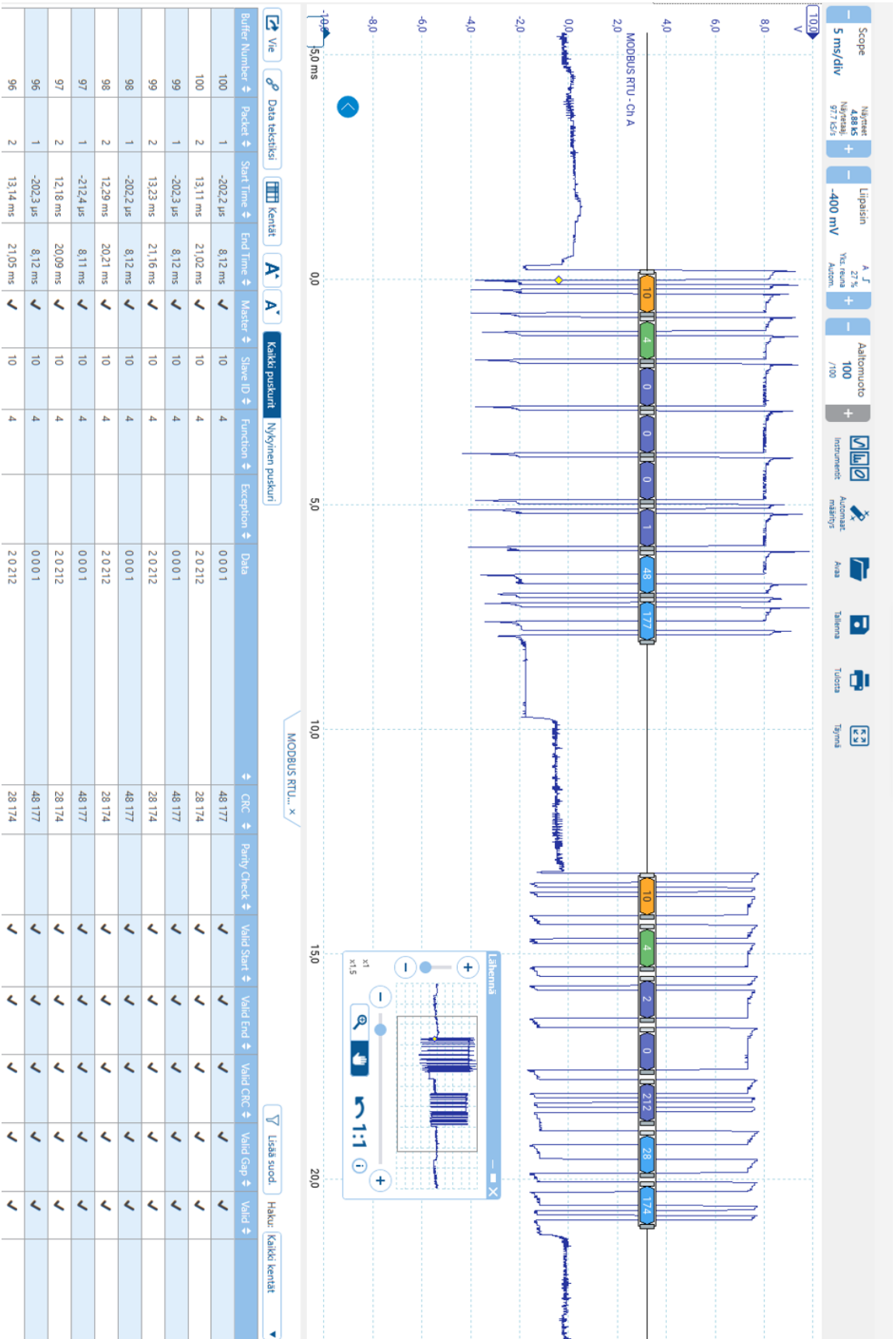
ST-701.60 2016. Talotekniikan kenttäväyläteknikka. Sähköinfo <https://severi-sahkoinfo-fi.tietopalvelu.karelia.fi/item/383?search=701.60>. 26.7.2022.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>. 10.5.2022.

Työturvallisuuslaki 738/2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20020738?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=ty%C3%B6turvallisuuslaki> 11.5.2022

Traficom.fi 2022. Määräys 65 E/2022 kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista. <https://www.traficom.fi/fi/saadokset/maarays-65-kiinteiston-sisaverkoista-ja-teleurakoinnista>. 23.3.2023.

Liite 2



Liite 4

