

Hannes Kokkonen

# Modbus-ohjauksen toteutus merenkulun järjestelmissä

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Merenkulun koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Hannes Kokkonen
Työn nimi	Laivajärjestelmän Modbus-ohjauksen toteutus
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Vuosi	2024
Sivut	50 sivua
Työn ohjaaja(t)	José Hernández

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan laivajärjestelmien moottoreiden Modbus-ohjauksen toteutusta sarjaliikenteisenä ja Ethernet-verkossa. Työn tilaajana toimii Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, XAMK. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa tietoa, jota voidaan hyödyntää ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan laboratoriossa automaatiojärjestelmien verkkotekniikan opetuksessa.

Tämä opinnäytetyö esittelee, kuinka sarjamuotoisen tietoliikenteen siirtäminen Ethernet-verkkoon mahdollistaa useiden sarjamuotoista tiedonsiirtoa käyttävien kenttäväylän instrumenttien ja ohjaimien verkottamisen, mikä poistaa RS232/485-tiedonsiirron rajoitukset kaapeleiden pituudessa ja tiedonsiirtonopeudessa. Menetelmä mahdollistaa tiedonsiirron eri väylätekniikkaa käyttävien laitteiden välillä, vähentää kaapelointitarvetta ja mahdollistaa verkkojen lähes rajattoman laajentamisen.

Alun perin teollisuusautomaatioon kehitetty Modbus-protokolla on nykyisin otettu käyttöön myös laivojen automaatiojärjestelmissä. Modbus TCP/IP-protokolla mahdollistaa laitteiden suoran liittämisen Ethernet-verkkoon. Tässä tutkimuksessa perehdytään myös, kuinka sarjamuotoista Modbus RTU/ASCII-protokollaa käyttävien laitteiden tiedonsiirto voidaan välittää Ethernet-verkossa.

Tutkimuksen teoriaosuudessa tarkastellaan sarjamuotoisen tiedonsiirron, Internet-protokollan, Ethernet-verkkojen ja Modbus-protokollan kehitystä, tutustuen samalla näiden teknologioiden standardointiin sekä IETF:n että Modbus-organisaation näkökulmasta. Teoriaosuus antaa kattavan selvityksen, miten Modbus-tietoliikenne muodostetaan noudattaen IETF RFC 1122 (Requirements for Internet Hosts - Communication Layers) -määrittämiä.

Tutkimuksen produktiivisessa osuudessa tehtiin kokeita Modbus-tiedonsiirtoa hyödyntävien laivamoottoreiden ohjaukseen tarkoitetuilla laitteilla. Mittaukset suoritettiin sarjaliikenteisenä Modbus RTP-protokollalla RS-232-kaapelilla ja TCP-protokollalla Ethernet-verkossa.

**Asiasanat:** Laiva-automaatio, moottorihjaus, tiedonsiirto, Modbus RTU, RS232/485, Ethernet, Internet-protokolla, kenttäväylä

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Hannes Kokkonen
Thesis title	Implementation of Modbus control in marine systems
Commissioned by	South-Eastern Finland University of Applied Sciences
Time	2024
Pages	50 pages
Supervisor	José Hernández

## ABSTRACT

This thesis examined the implementation of Modbus control for marine engine control systems using Modbus serial communication and Modbus in Ethernet network. The purpose of this thesis was to provide information that could be utilized in the commissioner's electrical power engineering laboratory for teaching network technology in automation systems.

The Modbus protocol, originally developed for industrial automation, has today also been adopted in marine automation systems. While the Modbus TCP/IP protocol already allows a direct connection to an Ethernet network, this study focused on data transmission from devices using the serial Modbus RTU/ASCII protocol over an Ethernet network.

This thesis explains how transforming serial communication to an Ethernet network enables the networking of multiple fieldbus instruments and controllers, which removes the limitations of RS232/485 data transmission in terms of cable length and transmission speeds.

The theoretical part of the thesis examines the development of serial communication, Internet Protocol, Ethernet networks, and the Modbus protocol, also exploring the standardization of these technologies from the perspectives of the IETF and the Modbus organization. It also provides a comprehensive description according to the IETF's RFC 1122 (Requirements for Internet Hosts – Communication Layers) in Ethernet networks. The practice-based part of the thesis experiments was conducted using devices intended for controlling marine engines utilizing Modbus communication. Measurements were carried out using the serial Modbus-RTP protocol with an RS-232 and TCP protocol using Ethernet.

The simple structure and long-standing public availability of the Modbus protocol allow compatibility between various manufacturers of fieldbus devices. This feature is important in marine applications where devices must be durable and are updated or replaced over time. The Modbus protocol allows the integration of various control systems and devices into a single network, enhancing interoperability and reducing the need for cabling in the ship's SCADA system.



South-Eastern Finland  
University of Applied Sciences

**Keywords:** marine automation, data transmission, field bus, Modbus RTU, RS232/485, Ethernet, Internet Protocol

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	11
2	TEOREETTINEN VIITEKEHYS .....	11
2.1	Aiemmat tutkimukset ja saatavilla oleva tieto .....	12
2.2	Tutkimuksen lähtökohdat.....	12
3	MODBUS-PROTOKOLLA .....	13
3.1	Modbus ASCII .....	14
3.2	Modbus RTU .....	15
3.3	MODBUS TCP/IP .....	16
4	RS-STANDARDI.....	17
4.1	RS-232 .....	17
4.2	RS-485 .....	18
5	ETHERNET .....	20
5.1	Ethernet TCP/IP .....	22
6	OPEN SYSTEM INTERCONNECTION (OSI-MALLI) .....	24
6.1	Modbus RTU ja TCP .....	25
7	MODBUS-LAITTEISTO JA TOIMINNALLISET KOKEET .....	27
7.1	Laitteasetukset .....	28
7.2	Modbus–Ethernet -muunnin .....	29
7.3	DEIF Genset controller .....	29
7.3.1	Tietoliikenneasetukset Modbus-TCP .....	30
7.3.2	Modbus-rekisterin lukeminen TCP-protokollalla. ....	33
7.4	ComAp IntelliDrive DCU Marine.....	41
7.4.1	Modbus-rekisterin lukeminen käyttäen Modbus RTU-protokollaa .....	41
8	YHTEENVETO .....	46
8.1	Tutkimuksen integraatiohaasteet.....	47
8.2	Menetelmän hyödyt laivaympäristössä.....	47



## LYHENTEET JA SANASTO

- ASCII American Standard Code Information Interchange, tietokoneiden merkistökieli
- APIPA Automatic Private IP Addressing
- ARP Address Resolution Protocol
- Baudinopeus Tiedonsiirtonopeus, bittiä per sekunti
- CRC Cyclic Redundancy Check, tarkastussumma, jolla viestin eheys tarkastetaan tietoliikenteessä.
- CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance /Detection, mahdollistaa usean laitteen lähetyksen samaan aikaan samassa kaapelissa
- ECU Engine Control Unit, moottorin ohjainlaite eli aivot
- DHCP Dynamic Host Configuration Protocol
- DCS Distributed Control System, hajautettu I/O
- DCU Domain Control Unit
- DTE Data Terminal Equipment, päätelaite
- Ethernet IEEE:n avoin laajakaistaverkkotekniikka, OSI-mallin (layer2, media access) verkkoliityntäkerros
- HMI Human Machine Interface, painikkeilla toimiva automaatiojärjestelmän käyttöliittymä

- IEEE Institute for Electrical and Electronic Engineers
- IETF Internet Engineering Task Force, Internetin kehittäjä-organisaatio
- IP Internet Protocol, OSI-mallin (layer 3, address) verkko-osoitteetkerros
- IEC International Electrotechnical Commission, sähköalan kansainvälinen standardointineuvosto
- Client Isäntä, aloittaa tiedonsiirron lähettämällä kyselyn renki (server) -laitteelle
- Modbus Modular Bus System, jota käytetään automaatiojärjestelmien tiedonsiirtoprotokollana, OSI-mallin sovelluskerros (layer 7)
- Modbus RTU Modbus Remote Terminal Unit, sarjaviestintä laitteilla, jotka ovat suoraan kytkettyinä toisiinsa (point-to-point)
- Modbus TCP/IP hyödyntää Ethernet-verkkoa datan siirrossa (point-to-multipoint)
- OSI Open System Interconnection
- PDU Protocol Data Unit address
- PLC Programmable Logic Controller, ohjelmoitavat logiikat

- RFC Request for Comments, on asiakirja, jota käytetään Internetin teknisten standardien ja käytänteiden kuvantamiseen
- RS Standard Recommended Standard
- SCADA Supervisory Control and Data Acquisition, automaatiojärjestelmän graafinen käyttöliittymä
- Server Vastaanottaa pyyntöjä isäntälaitteelta (client) ja suorittaa sen määräämät tehtävät
- TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) on protokollapino, joka mahdollistaa tiedonsiirron Internet-protokollaa käyttävissä verkoissa

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella laivojen automaatiojärjestelmissä käytettyä sarjaliikenteistä Modbus-väyläratkaisua ja käsitellä kenttälaitteiden ja erityisesti moottoreiden ohjauksen verkotettavuutta hyödyntäen Modbus-protokollaa eri verkkotekniikoilla.

Työlle havaittiin selkeää tarvetta, koska riittävän selkeää ohjeistusta ei ollut olemassa siitä, kuinka laivaympäristöön tarkoitettujen sarjaliikennettä käyttävien Modbus-kenttälaitteiden liittäminen lähiverkkoon toteutetaan käytännössä.

Opinnäytetyön aihevalinta katsottiin erityisesti hyödyttävän Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun (XAMK) sähkölaboratoriossa annettavaa opetusta ja parantamaan merenkulun sähkövoimatekniikan opiskelijoiden oppimistuloksia.

Tutkimuksen tavoitteena on antaa selkeä kuvaus Modbus-protokollaa hyödyntävän automaatioväylän tiedonsiirron peruseräperiaatteista sekä siitä, mitä standardeja ja sopimuksia on tehty, jotta laivajärjestelmän moottoreiden ohjaus voidaan toteuttaa sarjaliikenteisenä lähiverkossa.

Tutkimuksen käytännön osuudessa pohditaan, kuinka laivan automaatioväylään liitettävien isäntä–renki-periaatteella toimivien moottoreiden ohjaukseen tarkoitettujen kenttälaitteiden verkotus voidaan toteuttaa käytännössä (International Electrotechnical Commission 2009).

## 2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tässä opinnäytetyössä perehdytään siihen, kuinka Modbus-tiedonsiirtoa käyttävien laitteiden integrointi eri verkkoteknologioiden avulla voidaan toteuttaa. Teoreettinen viitekehys rakentuu tästä syystä OSI-mallin ympärille, jonka avulla voidaan selkeästi havainnollistaa, miten Modbus-protokolla toimii fyysisen, linkki- ja sovelluskerroksen välillä. Lisäksi OSI-malli tarjoaa yhteisen perustan standardien sijoittamisen viitekehysten yhteyteen.

Tutkimuksen viittaukset pohjautuvat tästä syystä pääasiallisesti IETF:n ja Modbus-organisaation tuottamaan aineistoon, jotka ovat tulleet ajan myötä osaksi IEC:n standardia IEC7498-1. Standardi mahdollistaa sen, että eri järjestelmät pystyvät ylipäättänsä kommunikoimaan keskenään (International Electro Technical Commission 1996).

## **2.1 Aiemmat tutkimukset ja saatavilla oleva tieto**

Modbus-protokollasta ja sen hyödyntämisestä erilaisissa automaation ohjaussovelluksissa on tehty paljon tutkimusta. Erityisesti sarjamuotoisen Modbus-tiedonsiirron verkottamisesta, joka hyödyntää Ethernet-tekniikkaa, ei ole julkaistu aikaisempia tutkimuksia. Myöskään menetelmän hyödyntämisestä laivojen automaatiojärjestelmissä ei ole aiempaa tutkimusaineistoa.

Tutkittua menetelmää hyödyntävästä teknologiasta on tehty monia tieteellisiä julkaisuja. IETF ylläpitää tutkittuun aiheeseen liittyvää asiakirjakokoelmaa nimeltä RFC. Lisäksi Modbus-organisaatio ja heidän kumppaninsa ovat tuottaneet useita aiheita käsitteleviä artikkeleita, joita käytetään lähdeviitteinä tässä tutkimuksessa.

Teknologiaa kehittävien tahojen julkaisuja on sisällytetty ajan saatossa osaksi maailmalaajuisesti käytössä olevaa IEC:n standardikokoelmaa, jota sovelletaan eri teollisuuden alojen toiminnoissa, mukaan lukien energia-, automaatio- sekä tieto- ja viestintäteknologia.

## **2.2 Tutkimuksen lähtökohdat**

Työ rajattiin käsittelemään laivamoottorin ja HMI/SCADA-järjestelmän välisen Modbus-tietoliikenteen mallintamiseen liittyvää teoriaa, sekä sisältämään periaatekuvauksen, kuinka toiminnallinen järjestelmä voidaan rakentaa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli vastata tutkimukselle asetettuihin kysymyksiin,

mitkä ovat menetelmän integraatiohaasteet ja mitä hyötyä menetelmästä on laivaympäristössä? Vastaukset näihin kysymyksiin pyrittiin havainnollistamaan seikkaperäisesti laboratorionkokeissa.

Opinnäytetyössä on kaksi tutkimusmenetelmää, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Järjestelmän rakentamiseen liittyvien standardien ja sopimusten esittely antaa käsityksen järjestelmän toiminnasta teoriatasolla.

Toiminnallinen menetelmä tekee opinnäytetyöstä myös produktiivisen, koska tarkoituksena on havainnollistaa toiminnallisen järjestelmän eri komponenttien merkitys kokonaiskuvassa.

### **3 MODBUS-PROTOKOLLA**

Kenttäväylä on suunniteltu toimimaan automaatiojärjestelmän alimman tason tiedonsiirrossa. Kenttäväylällä siirretään älykkäiden anturien ja toimilaitteiden viestejä. Kenttäväylään on voitava liittää myös kehittyneempiä laitteita kuten tulo- ja lähtöyksiköitä, ohjelmoitavia logiikoita ja hajautettuja ohjausjärjestelmiä. (Niiranen 2000, 279.)

70-luvun puolivälissä tuli ajatus Ethernetistä ja 1980-luvulla sitä alettiin siirtää käytäntöön. Ensimmäisten joukossa oli Modbus-hanke, jossa alettiin soveltaa PLC-pohjaista binääritietojen siirtoa. Samoihin aikoihin todettiin kehityksen mikroelektronikassa johtavan vähä vähältä älykkäiden antureiden (smart instruments) ja kenttäväylän nousuun teollisuuden johtavaksi tiedonsiirtomenetelmäksi. (Suomen Automaatioseura 2007, 62–63.)

Modbus on saksalaisen Modiconin, nykyään Schneider Electricin vuonna 1979 kehittämä teollisuusympäristöjen kenttäväylään (fieldbus) sopiva avoin tietoliikenneprotokolla, joka toimii isäntä–renki-periaatteella.

Modbus on avoin ja lisenssivapaa, minkä ansiosta se on yleistynyt ohjelmoitavien logiikoiden (PLC) ja automaatiojärjestelmien valvomolaitteiden (SCADA) kenttäväyliä tietoliikenteen sovelluskerroksen protokollana.

Modbus Organisaatio on 9. heinäkuuta 2020 ilmoittanut, että kaikki sen organisaatiojulkaisuissa esiintyneet "master - slave" -viittaukset tullaan muuttamaan muotoon "client - server".

Modbus Organisaation hallituksen puheenjohtaja Todd Snide kommentoi päätöstä yhtiön lehdistötiedotteessa seuraavasti: "Aika on kypsä näiden sanojen poistamiseen. Termit ovat tarpeettomia ja loukkaavia niille, jotka kokevat rasismia tässä maassa ja ympäri maailmaa. Kehotamme jäsenyrityksiämme ja kaikkia Modbus-protokollaa käyttäviä poistamaan nämä termit käytöstä." (Modbus-Organization 2020.)

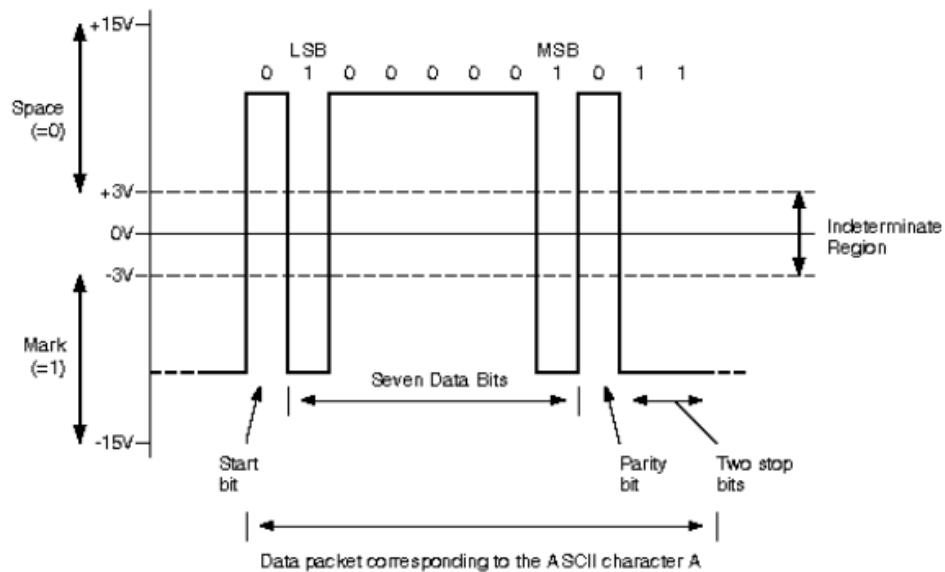
Tässä opinnäytetyössä kysely- ja vastauslogiikasta käytetään termejä isäntä ja renki, koska suomenkielisessä lähdeviiteaineistoissa termit ovat yleisesti käytössä eikä sanoja koeta tässä kontekstissa sinällään loukkaaviksi.

### **3.1 Modbus ASCII**

Modbus ASCII -sanomat esitetään kirjaimina, mikä tekee viesteistä helpommin luettavia ja ymmärrettäviä ihmisten silmissä. Lisäksi Modbus ASCII -sanomat ovat vähemmän alttiita virheille, kun käytetään pitkiä kaapeleita tai muuten huonolaatuista, häiriöille altista yhteyttä.

Modbus ASCII ei ole kovin tehokas tai nopea tiedonvälitystapa ja siksi paljon tietoa vaativien sovellusten tietoliikenteessä käytetään binääripohjaista Modbus RTU -protokollaa.

ASCII-koodaus merkitsee numeroiden ja kirjaimien siirtoa ASCII-merkkejä käyttäen. Tällöin käytetään yleensä 7-bittistä ASCII-merkistöä ja pariteettibittiä. Luonnollisesti siirrettävien bittien määrä kasvaa ASCII-koodauksessa numerista dataa siirrettäessä, koska esimerkiksi luvun 234 siirtoon tarvitaan kolmen bitin ASCII-merkin (2,3 ja 4) siirto yhden kahdeksan bitin binaariluvun asemesta. (ARC Electronics s.a.)



Kuva 1. A-kirjainta merkitsevä ASCII-tavu jänniteviestin aikadiagrammi (ARC Electronics s.a)

```

Start frame:  :
Address:      05 (Laitteen osoite)
Function code: 06 (Merkkikohtainen kirjoitusoperaatio)
Register number: 0100 (Rekisterin numero, tässä 0100)
Character to write: 41 (ASCII-koodi kirjaimelle "A")
CRC:         XX (Tarkistussumma, laskettu sanoman sisällöstä)
End frame:   CR LF (ETX)

```

Kuva 2. A-Kirjainta merkitsevä Modbus ASCII -sanoma (Kokkonen 2024)

### 3.2 Modbus RTU

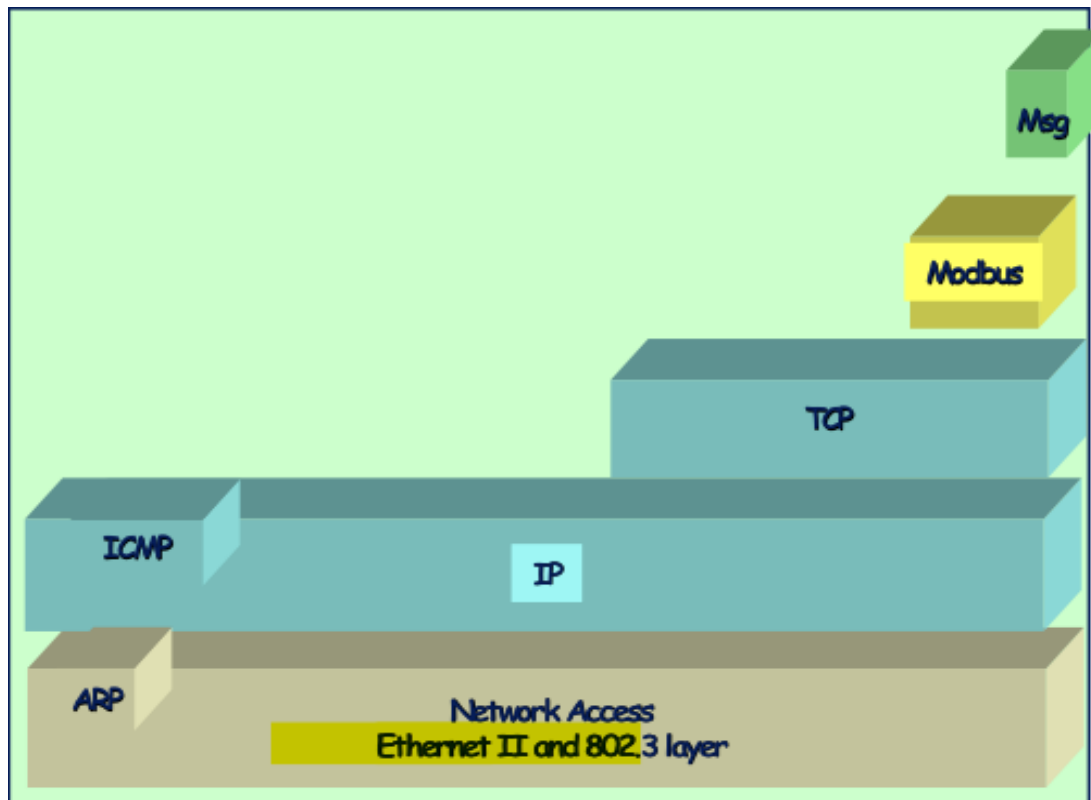
RTU-muotoisessa tiedonsiirrossa dataa siirretään kahdeksan bitin pituisina HEX-muotoisina binaarisanomina. Menetelmä nopeuttaa tiedonsiirtoa pienempään tilaan mahtuvan esitysmuotonsa takia. RTU-kehys muodostetaan osoitekentästä, funktiokoodista ja datakentästä sekä 16-bittisestä CRC-tarkistussummasta. (Modicon 1996, 18.)

Taulukko 1. Modbus RTU-protokollalla toimiva yhteys vaatii, että taulukossa esitetyt parametrit on määritelty yhteydelle (Moxa 2019)

Baudinopeus (baudrate)	50-921600bps
Pariteetti (parity)	None, Odd, Even, Mark, Space
FIFO (datan bufferointi)	Enable, Disable
Data bits	8
Stop bits	1,2
Flow Control (Vuon ohjaus)	RTS/CTS, RTS Toggle
Slave Id (rengin osoite)	numeerinen osoite

### 3.3 MODBUS TCP/IP

Modbus viestipalvelu on myös mahdollista toteuttaa kokonaan käyttäen TCP/IP:tä sellaisilla laitteilla, jotka voidaan liittää Ethernet-verkkoon. Modbus TCP/IP -tiedonsiirtoa voidaan hyödyntää esimerkiksi HMI/SCADA-sovellusten tai PC-ohjelman ja laitteiden välillä. (Modbus Organization 2006, 2.)



Kuva 3. Modbus TCP/IP -sanoma havainnollistettuna OSI-mallin mukaisesti (Modbus Organization 2006)

Internetin resursseja hallitseva IANA-organisaatio on antanut Modbus TCP/IP -protokollan käyttöä tietoliikenneporttia 502 (IANA 2014).

Erilaisia Modbus-verkkoja rakennettaessa on otettava huomioon, että Modbus TCP/IP -tiedonsiirtoa käyttäviä laitteita ei voida suoraan verkottaa Modbus RTU/ASCII -laitteiden kanssa, jotka käyttävät sarjaväylää. Modbus RTU - ja Modbus ASCII -renkilaitteet tulee liittää ensin yhdyskäytävään, joka varaa renkilaitteille oman TCP-portin ja sen kautta isäntälaitte voi kutsua niitä Ethernet-verkon välityksellä käyttäen Modbus TCP/IP -protokollaa. (Moxa 2019.)

## **4 RS-STANDARDI**

RS-Standardi on 1960-luvulla nykyisen Electronic Industries Associationin kehittämä tietoliikennestandardi, joka on kehitetty alun perin kahden laitteen väliseen digitaaliseen tiedonsiirtoon ilman tietokonetta. Standardi määrittelee signaalin jännitearvot, aikaikkunan, funktiot, protokollan ja mekaaniset liittimet. (CAMI Research 1993-2015.)

### **4.1 RS-232**

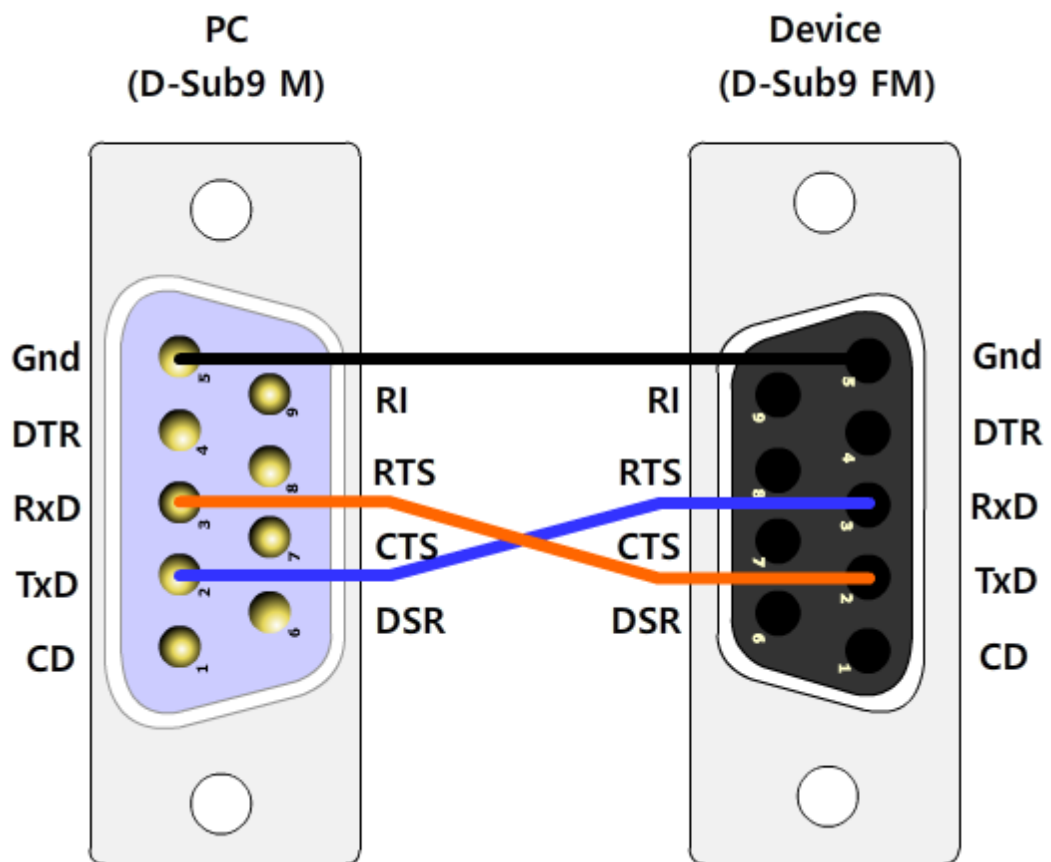
RS-232- sarjaliikennettä voidaan käyttää kahden laitteen väliseen tiedonsiirtoon. Suurin laitteiden välinen etäisyys voi olla 15 m. Liittimenä käytetään yleensä 9- tai 25-napaista D-liitintä. (Keinänen&Sumujärvi 2019.)

Kahden DTE-laitteen välillä tarvitaan koirasliittimillä varustettu nollamodeemikaapeli, joka kytkee signaalit ristiin. Signaalien DTR ja DSR looginen nollatila kertoo, että kummassakin laitteessa on sähkötkytettyinä. DCD-signaalilla, samoin kuin soiton indikoinnilla, on käyttöarvoa vain modeemia käytettäessä, jolloin DCD:n nollatila kertoo modeemin löytäneen kantoaallon vastaanottamastaan puhelinsignaalista.

Signaaliparia RTS ja CTS käytetään kättelyyn. Kättelyllä tarkoitetaan mekanismia, jolla estetään viestinlähetys, kun vastaanottaja ei ole valmis vastaanottoon. Kun RTS on nollatilassa, on DTE-laite valmis vastaanottamaan

tietoa. Vastaavasti kun CTS on nolla, on modeemi valmis vastaanottamaan tietoa. (Niiranen 2000, 276.)

Jos yhteydessä ei käytetä kättelyä tai kättely hoidetaan ohjelmallisesti XON/XOFF, niin silloin riittää kaapelointi pelkästään signaaleille TxD ja RxD sekä signaalimaalle (Gnd). Kättely voidaan harhauttaa, jos kumpikin laite käytetyllä siirtonopeudella kykenee aina lukemaan sille lähetetyt viestit. (Kuva 4.)



Kuva 4. EIA/TIA-232-E eli RS-232 liitännän D-liittimen signaalit ja nollamodeemikytkentä. Kuvan liittimet ovat koirasliittimiä nastapuolelta nähtynä (AssistLab 2024)

## 4.2 RS-485

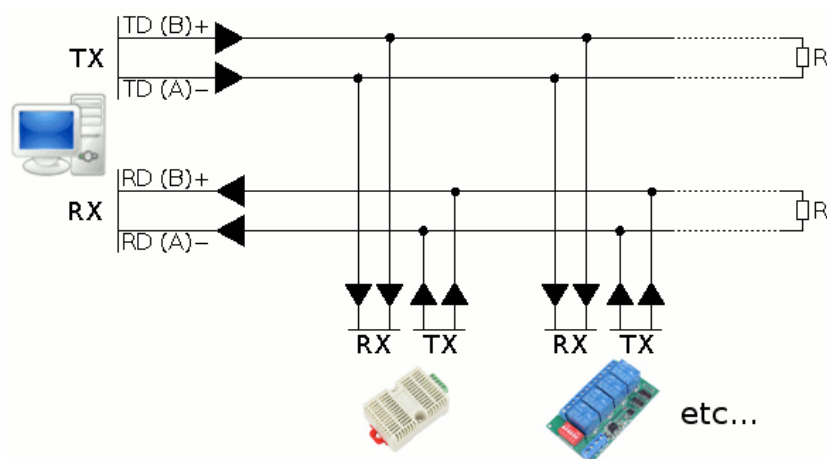
RS-485-sarjaliikenneväylää käytetään yleisesti automaation tiedonsiirtoväylänä. RS-485 verkossa voi olla enintään 32 laitetta. (Texas Instruments 2008, 6.)

Taulukko 2. RS-485 D-liittimen kytkentä (Texas Instruments 2008)

Nasta	RS-485 (4W)	RS-485 (2W)
1	TxD-	
2	TxD+	
3	RxD+	Data+
4	RxD-	Data-
5	GND	GND
6		
7		
8		
9		

Väyläkaapelointi toteutetaan siten, että kaapelin molempiin päihin asennetaan 120  $\Omega$ :n vastus, jota kutsutaan väylän terminoinniksi. RS-485-väylän kaapeloinnissa käytetään kahta paria, joiden merkinnät ovat RxD (datan lähetys) ja TxD (datan vastaanotto). (Kuva 5.)

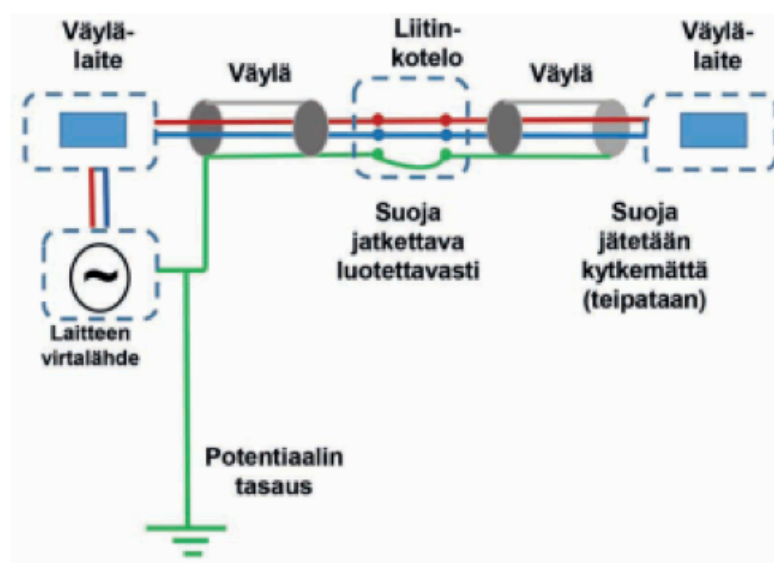
Tiedonsiirtonopeus riippuu kaapelin pituudesta ja laadusta, joka voi olla enintään 1200 m:n pituudella 9600–38400 baudia (Texas Instruments 2008, 5).



Kuva 5. RS-485-väylän kaapeloinnin periaate (Ozeki 2000-2024)

Kaapelia asennettaessa on otettava huomioon, että maakiertoa voidaan ehkäistä käyttämällä häiriösuojattua kaapelia. Tällöin kaapelin häiriösuojajohdin

kytketään potentiaalintasaukseen vain kaapelin toisesta päästä ja häiriösuojajohtimen toinen pää jätetään kellumaan. Kelluva pää teipataan huolellisesti, että se ei aiheuta ongelmia maadoituksessa. Häiriösuojauksen tarkoituksena on erottaa toimilaitteet paikallisesta maasta, joka eristää maakerrosta indusoituvan virran toimilaitteesta. Näin esimerkiksi vaihtovirralla toimivan jännitelähteen potentiaalierot eivät pääse vaikuttamaan tiedonsiirtoväylään häiritsevästi. (Sähkötieto 2022.)



Kuva 6. Kelluva maadoitus (Sähkötieto 2022)

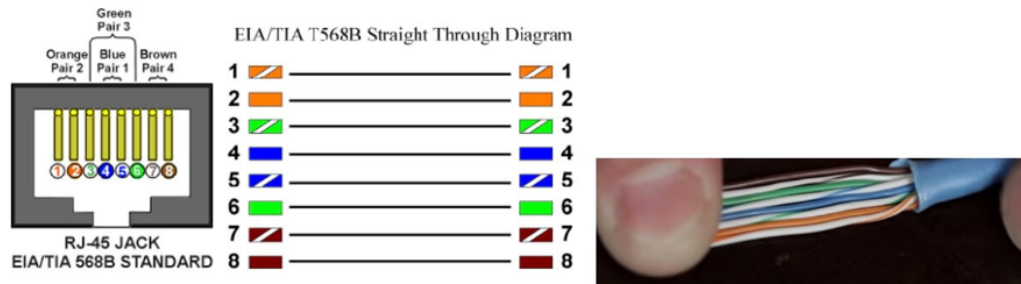
## 5 ETHERNET

Ethernet on suosituin verkkotekniikka maailmassa. Sitä käytetään lähes kaikissa yritysverkoissa. Jokaiselle Ethernet-verkossa käytettävälle laitteelle annetaan IEEE:n yksilöimä 48-bittinen laiteosoite, minkä valmistaja määrittää laitteen verkkoliittymän fyysiseksi osoitteeksi. Osoitetta kutsutaan MAC-osoitteeksi. Osoitteen kolmella ensimmäisellä tavulla ilmoitetaan valmistaja ja kolmella viimeisellä tavulla yksilöidään kyseessä oleva laite.

Taulukko 3. MAC-osoitteen rakenne (Keinänen&Sumujärvi 2019)

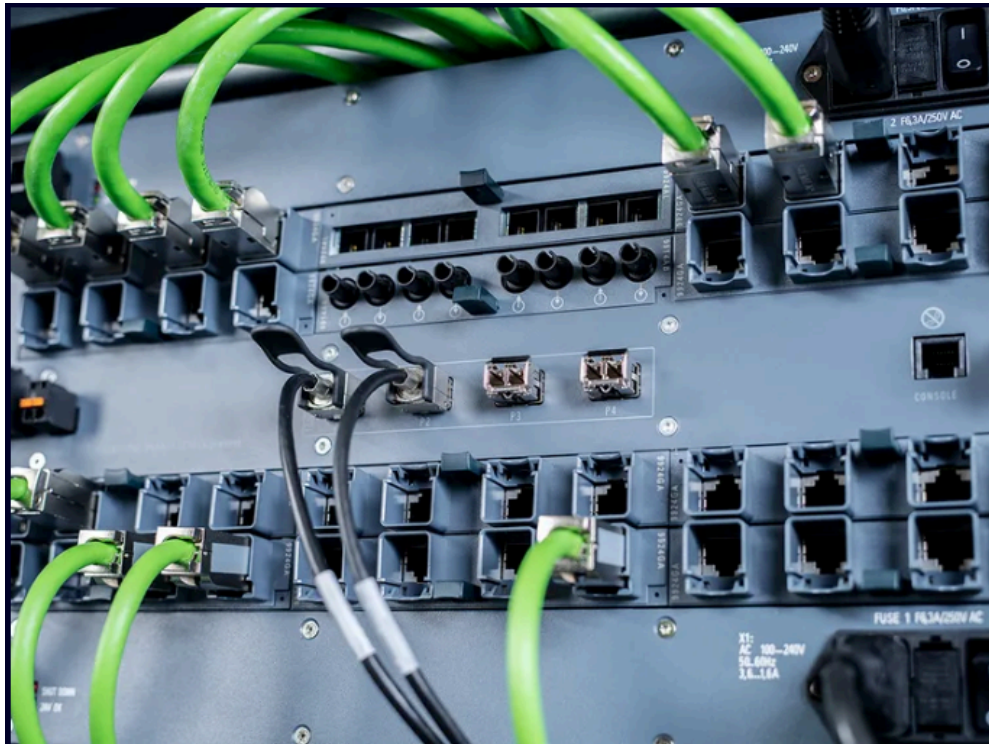
00	80	F4	xx	xx	xx
----	----	----	----	----	----

Kaapelin asennus on tärkeä osa Ethernet-verkon rakentamisesta, sillä kaapelin laatu ja ominaisuudet vaikuttavat signaalin siirtoon ja häiriöherkkyyteen. Ethernet-verkoissa käytetään yleisesti kierrettyä kupariparikaapelia, jotka estävät sähkömagneettisia häiriöitä. Kaapelia kutsutaan CAT-kaapeliksi, minkä tiedonsiirtokyky on 1Gbp/s (CAT 6). Kuparikaapelin maksimipituus on 100 m. Pitämissä siirtoyhteyksissä ja suuremmilla tiedonsiirtonopeuksilla käytetään valokuitukaapeleita. (Keinänen&Sumujärvi 2019, 278-281.)



Kuva 7. CAT-kaapelin päättäminen RJ45-liittimellä TIA-568B-standardin mukaisesti (Ots cable 2024)

Kaapelin lisäksi Ethernet-verkossa tarvitaan laitteita, jotka välittävät ja ohjaavat signaalia. Tällaisia ovat esimerkiksi toistimet, kytkimet, reitittimet ja palomuurit. Toistin on yksinkertainen laite, joka toistaa kaikki siihen saapuvat signaalit kaikille sen liitännöille. Kytkin on älykkäämpi laite, joka tunnistaa verkon osoitteet ja lähettää signaalit vain niille liitännöille, joissa vastaanottaja on. Reititin on laite, joka yhdistää useita erilaisia verkkoja ja valitsee niiden välillä parhaan reitin tietoliikenteelle. Palomuri on laite tai ohjelma, joka suojaa verkkoa ulkopuolisilta hyökkäyksiltä ja ei-toivotulta liikenteeltä. (Keinänen&Sumujärvi 2009.)



Kuva 8. Ethernet-verkon laitteita ja kaapeleita (Siemens 2024)

## 5.1 Ethernet TCP/IP

Tapaa, joilla tietoja siirretään tietoverkoissa, nimitetään yhteyskäytännöksi eli tiedonsiirtoprotokollaksi. Yleisin tiedonsiirtotapa on TCP/IP, jota käyttäen liikennöidään myös internetissä.

TCP/IP-verkon laitteille annetaan yksilöllinen 32-bittinen IPv4-osoite, jota käytetään kaikessa kommunikaatiossa kyseisen laitteen kanssa. IP-osoitetta ei pidä sekoittaa edellä mainittuun laiteosoitteeseen (MAC-osoite), sillä ne ovat eri asioita. IP-osoite ei yksilöi laitetta, vaan sen verkkoliitännän.

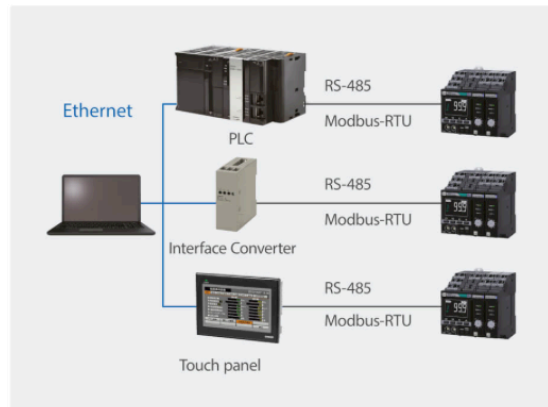
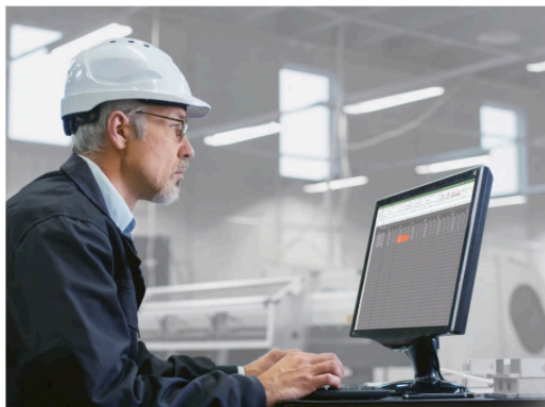
IP-osoite muodostuu kahdesta osasta, jotka ovat verkkotunniste (net-id), joka yksilöi verkon ja laitetunniste (host id), joka yksilöi laitteen verkkoliitännän. IP-osoitteet on jaettu luokkiin A, B, C, D ja E. Luokkien A, B ja C osoitteiden käyttäminen riippuu liitettävien laitteiden lukumäärästä. Luokat D ja E on tarkoitettu erikoiskäyttöön. (Taulukko 4.)

Luokituksen mukaista osoitteiden määrittystä on käytettävä, jos laite on yhteydessä julkiseen verkkoon. Jos laitetta käytetään vain teollisuuslaitoksen sisäisessä verkossa, IP-osoitteet voidaan valita vapaasti.

Taulukko 4. IP-osoitteiden luokat ja niiden osoitealueet (Keinänen&Sumujärvi 2009)

LUOKKA	Osoitealue	Pienin aliverkon peite
A	0.0.0.0 -127.255.255.255	255.128.0.0
B	128.0.0.0-191.255.255.255	255.255.128.0
C	192.0.0.0-223.255.255.255	255.255.255.128

Laitteiden IP-osoitteita määritettäessä on laskettava myös käytettävän aliverkon peite ja välityspalvelimen osoite (Taulukko 4). Aliverkon peitteellä määritetään, kuinka monta bittiä voidaan käyttää laiteosoitteiden määrittämiseen. Esimerkiksi jos aliverkon peite on 255.255.255.0, on laitteiden osoitteiden määrittäminen käytettävissä viimeisen tavun kaikkien bittien eri kombinaatiot. (Keinänen&Sumujärvi 2009, 278–280.)



Kuva 9. Esimerkki Ethernet-verkkoon liitettävistä teollisuuslaitteista, joita ei yhdistetä Internet-verkkoon (Omron 2009)

DHCP on verkkojen hallintaprotokolla, joka mahdollistaa automaattisen IP-osoitteiden ja muiden verkkoparametrien jakamisen laitteille verkon ylläpitäjän määrittämällä tavalla. DHCP-palvelin jakaa IP-osoitteet palvelimelle esiteltujen MAC-osoitteiden perusteella.

APIPA on protokolla, jota käytetään tietoliikenteen muodostamiseen lähiverkossa silloin, kun DHCP-palvelin lakkaa toimimasta tai jos verkkokatkos häiritsee pyyntöä. APIPA määrittää automaattisesti IP-osoitteen yksityiseltä alueelta, joka on 169.254.0.1–169.254.254.255, ARP-protokollan avulla. Asiakkaat varmistavat, että valittu APIPA-osoite on ainutlaatuinen, ennen sen käyttöönottoa aliverkossa. APIPA-laitteet käyttävät aliverkon peitettä 255.255.0.0 ja ovat kaikki samassa aliverkossa. (Verkostoitunutelama 2022.)

## **6 OPEN SYSTEM INTERCONNECTION (OSI-MALLI)**

OSI-malli on International Standards Organisation:n kehittämä teoreettinen viitekehys, joka määrittelee tietoliikennejärjestelmien toiminnallisuuden ja protokollat. OSI-mallin tarkoituksena on jakaa yhteiskäytännön toiminnot seitsemään päällekkäiseen kerrokseen, jolloin tietoliikenteen standardointi on helpompi hallita. (Niiranen 2000, 271–272.)

OSI-mallin kerrokset ylhäältä alaspäin avulla voidaan erottaa tietoliikenteen eri tehtävät ja protokollat, jotka mahdollistavat laitteiden ja sovellusten välisten yhteyksien muodostamisen ja ylläpitämisen (Taulukko 5).

Taulukko 5. OSI-mallin seitsemän eri kerrosta ja niiden toiminnot (Braden 1989)

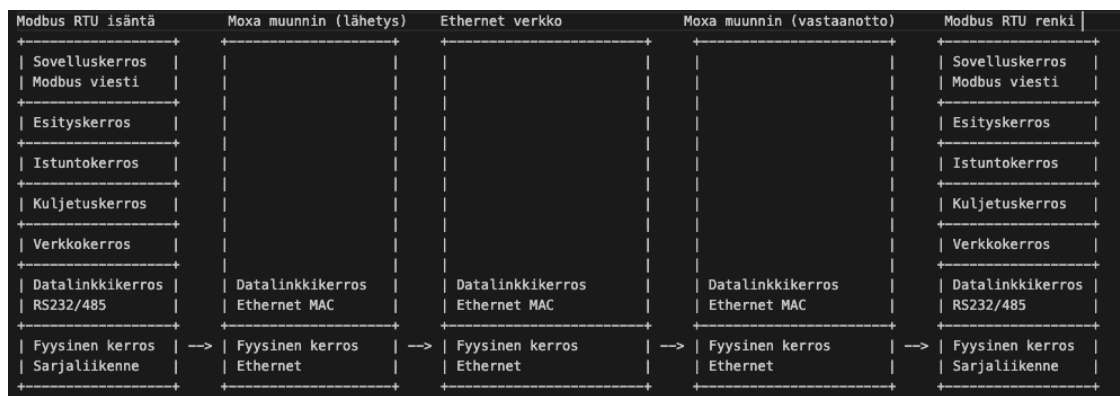
Kerros	Nimi	Toiminto
1	Fyysinen kerros (Physical layer)	kaapelit, liittimet, signaalitasot sekä kanta-aaltoa käytettäessä modulointi
2	Datalinkkerros (Datalink Layer) - Medium Access Control (MAC) - Logical Link Control	siirrettävä datan kehystys, virheen tarkastus ja korjaus, osoitteet ja tunnistaminen
3	Verkkokerros (Network layer)	tiedon paketointi ja reititys
4	Kuljetuskerros (Transport layer)	tiedonsiirron varmistus
5	Istuntokerros (Session layer)	yhteyden avaus ja purku, sekä katkenneen yhteyden palautus
6	Esityskerros (Presentation layer)	tekee tarvittavat binääriset muutokset, jotta erityyppiset laitteet pystyvät ymmärtämään toisiaan
7	Sovelluskerros (Application layer)	tarjoaa sovellusprosesseille, kuten Modbus, tiedonsiirtopalvelun

## 6.1 Modbus RTU ja TCP

Modbus RTU on yksinkertainen ja yleinen tiedonsiirtoprotokolla, joka toimii OSI-mallin alemmilla kerroksilla (fyysinen ja datalinkki). Modbus RTU on suunniteltu käytettäväksi sarjaliikenteessä, kuten RS-232 tai RS-485, jossa laitteet ovat kytkettyinä toisiinsa kaapelilla tai väyläkaapeloinnilla. (Modbus Organization 2006.)

Ethernet on yleinen tiedonsiirtotekniikka, joka toimii OSI-mallin fyysisellä ja linkkikerroksella, mutta käyttää erilaista kaapelointia ja kehysmuotoa kuin sarjaliikenne. Ethernet mahdollistaa suuremman siirtonopeuden, laajemman verkon ja paremman yhteensopivuuden internetin kanssa. OSI-mallin näkökulmasta muunnos lisää Modbus RTU-protokollalle neljännen kerroksen (TCP-kerros) ja viidennen kerroksen (istuntokerros). Tällä menetelmällä Modbus RTU-protokollaa käyttävä laite voi kommunikoida Ethernet-verkossa käyttäen Modbus-Ethernet -muunninta. (Moxa Inc. 2019, 9-12.)

Muunnin kapseloi Modbus RTU-datakehukset Ethernet-kehysten sisään OSI-mallin mukaisesti (Kuva 10).



Kuva 10. Modbus-RTU <-> Modbus-RTU laitteiden sanomaketju Ethernet-verkon välityksellä (Kokkonen 2024)

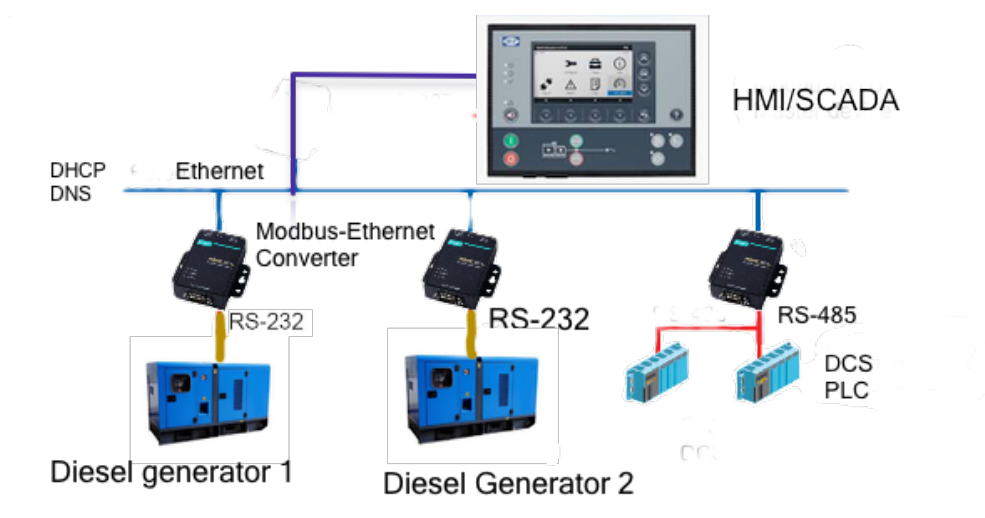
Modbus TCP-protokolla on Modbus RTU-protokollan Ethernet-versio, joka käyttää TCP/IP-protokollapinoa tiedonsiirtoon. Modbus TCP käyttää OSI-mallin mukaisesti seitsemää kerrosta, joista neljä alinta vastaavat fyysistä yhteyttä, verkkokerrosta, kuljetuskerrosta ja sovelluskerrosta. Modbus TCP ei tarvitse erillistä muunninta Ethernet-verkkoon liittymiseksi, vaan se käyttää suoraan Ethernet-kehymiä datan kapselointiin. (Modbus Organization 2006.)

Modbus TCP-protokolla voi liikennöidä Modbus RTU:n kanssa käyttämällä erillistä Modbus RTU-Ethernet-muunninta, joka tekee protokollien tulkinnan laitteiden välillä. Tämä mahdollistaa Modbus-laitteiden yhteensovituksen eri laitteiden ja sovellusten välillä. (Moxa 2019, 9-12.)

Modbus TCP isäntä	Moxa muunnin (lähetys/vastaanotto)	Modbus RTU-renki
Sovelluskerros (Modbus TCP/IP)	Sovelluskerros (Gateway)	Sovelluskerros (Modbus RTU)
Esityskerros	Esityskerros	Esityskerros
Istuntokerros	Istuntokerros	Istuntokerros
Kuljetuskerros (TCP)	Kuljetuskerros (TCP)	Kuljetuskerros
Verkkokerros (IP)	Verkkokerros (IP)	Verkkokerros
Datalinkkikerros (Ethernet)	Datalinkkikerros (Ethernet)	Datalinkkikerros (RS-232)
Fyysinen kerros (Ethernet)	Fyysinen kerros (Ethernet)	Fyysinen kerros (RS-232)

Kuva 11. Modbus TCP- ja Modbus RTU-sanoma Ethernet-verkon välityksellä (Kokkonen 2024)

## 7 MODBUS-LAITTEISTO JA TOIMINNALLISET KOKEET



Kuva 12. Testiverkon periaatekuva (Kokkonen 2024)

## 7.1 Laitteasetukset

Laitteiden välisen tietoliikenteen sujuva toimivuus edellyttää useita eri tekijöitä (Taulukko 6). Bittien siirtonopeudesta käytetään yksikköä baudia, joka kuitenkin tarkoittaa modeemin viestintänopeutta. Koska modeemi voi periaatteessa lähettää dataa useammalla kuin yhdellä taajuuskaistalla samanaikaisesti, ei baudia välttämättä merkitse bittien määrää sekunnissa (B/s). (Niiranen 2000, 275.)

Modbus-laitteiden integroinnissa on otettava huomioon, että eri sarjaliikenteellä toimivat Modbus-laitteet käyttävät eri baudinopeuksia ja eri protokollia kuten ASCII tai RTU. Modbus–Ethernet -muuntimella voidaan eri baudinopeuksia ja protokollia käyttävät laitteet yhdistää samaan väylään. (Moxa 2019, 10-14.)

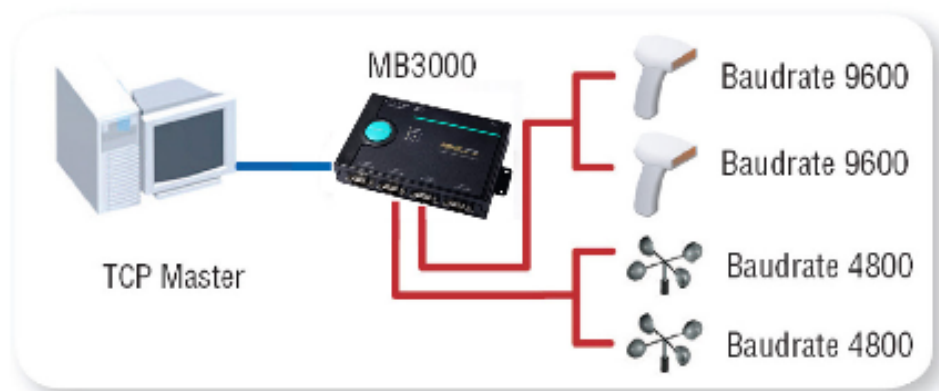
Modbus–Ethernet -muuntimelle pitää määrittää Ethernet-verkon asetukset, jotta se voi liittyä verkkoon ja siirtää tietoja (Taulukko 6).

Taulukko 6. Modbus–Ethernet -muuntimen verkkoasetukset (Moxa 2019)

Parametri	Arvo. esim.	Huomautukset
IP-asetus (IP-Configuration)	Static IP, DHCP	kiinteä tai dynaaminen osoite, jossa laitteen IP-osoite on määritetty palvelimella verkkoliitynnän MAC-osoitteen mukaisesti
IP-osoite	192.168.127.254	laitteen (layer 3) osoite
Verkon peitto (Netmask)	255.255.255.0	määrittää kuinka suureen osoitevaruuden verkkoon laite kuuluu (luokka A, B ja C)
Oletus yhdyskäytävä (Gateway)	127.0.0.1	Reitittimen osoite, joka välittää liikenteen LAN-verkon ulkopuolelle
Nimipalvelin (DNS)	127.0.0.1	Verkon nimipalvelin, joka muuttaa IP-osoitteet nimiksi

## 7.2 Modbus–Ethernet -muunnin

Modbus–Ethernet -muunnin hoitaa protokollien konversion ja baudinopeuden sovittamisen automaattisesti. Laitteiden yhdistämisen jälkeen ainoastaan Modbus–Ethernet -muunnin näkyy isäntälaitteella, jonka jälkeen laite välittää isäntälaitteen pyynnöt Slave-Id taulukon mukaisesti eri laitteille. (Moxa 2019, 46.)



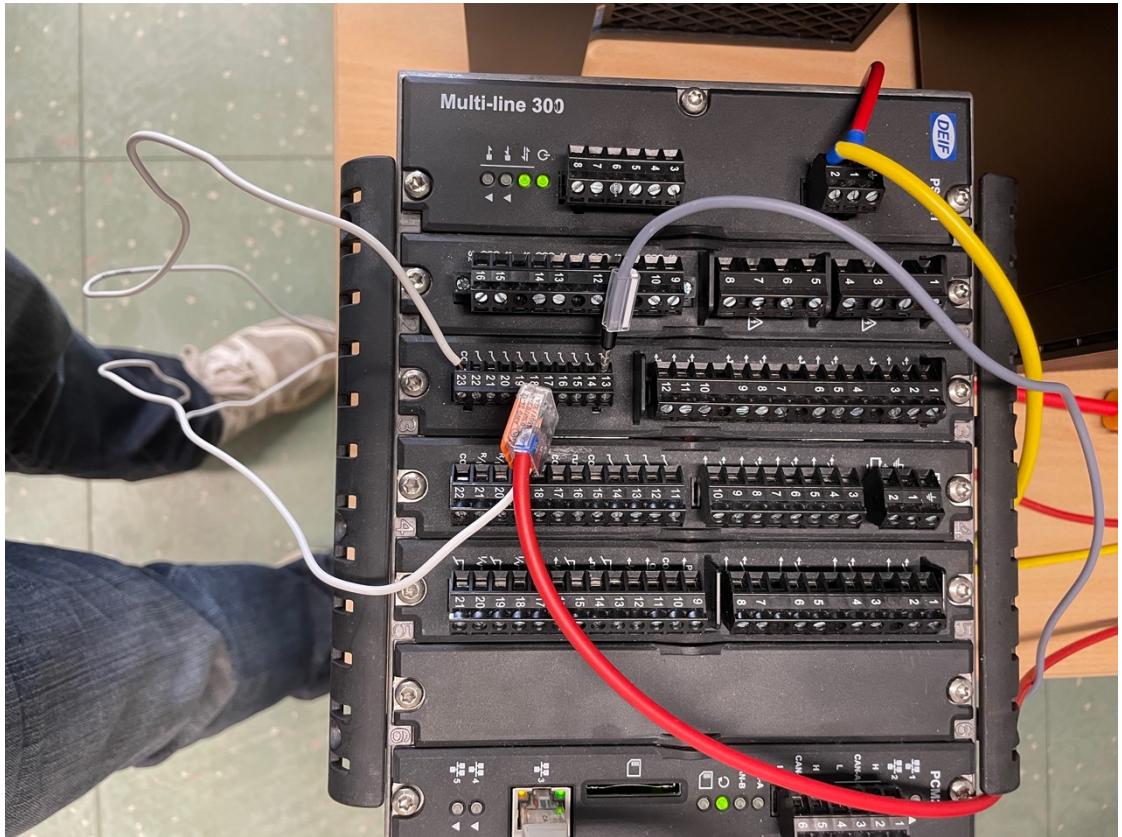
Kuva 13. Modbus–Ethernet -sovittimen periaatekuva (Moxa 2024)

Opinnäytetyön käytännön toteutuksessa oli tarkoitus kokeilla, kuinka laivan moottoreiden ohjaus voidaan toteuttaa isäntä–renki-periaatteella, jossa isäntälaitte käyttää Modbus TCP -protokollaa ja renkilaite Modbus RTU -protokollaa käyttäen Modbus–Ethernet -muunninta. Koetta ei voitu suorittaa, koska koulun laboratoriossa ei ollut kokeiden aikana saatavilla laitetta, joka olisi pystynyt suorittamaan kyseisen toiminnon.

## 7.3 DEIF Genset controller

DEIF PPU 300 on moottorin ohjausyksikkö, jossa on useita ohjaus-, suojaus- ja valvontaominaisuuksia, joilla voidaan ohjata laivan energiantuotantojärjestelmiä. DEIF 300 -yksikkö voidaan liittää kenttäväylään Modbus TCP -protokollan avulla, jolloin se voi toimia väylän isäntäohjaimena ja samalla renkinä muille ohjauksille. (DEIF 2024, 24.)

Tämän opinnäytetyön käytännön osuuden toiminnallisissa kokeissa testattiin hälytysten tilatietojen lukemista Modbus-väylää hyödyntäen (Kuva 14).

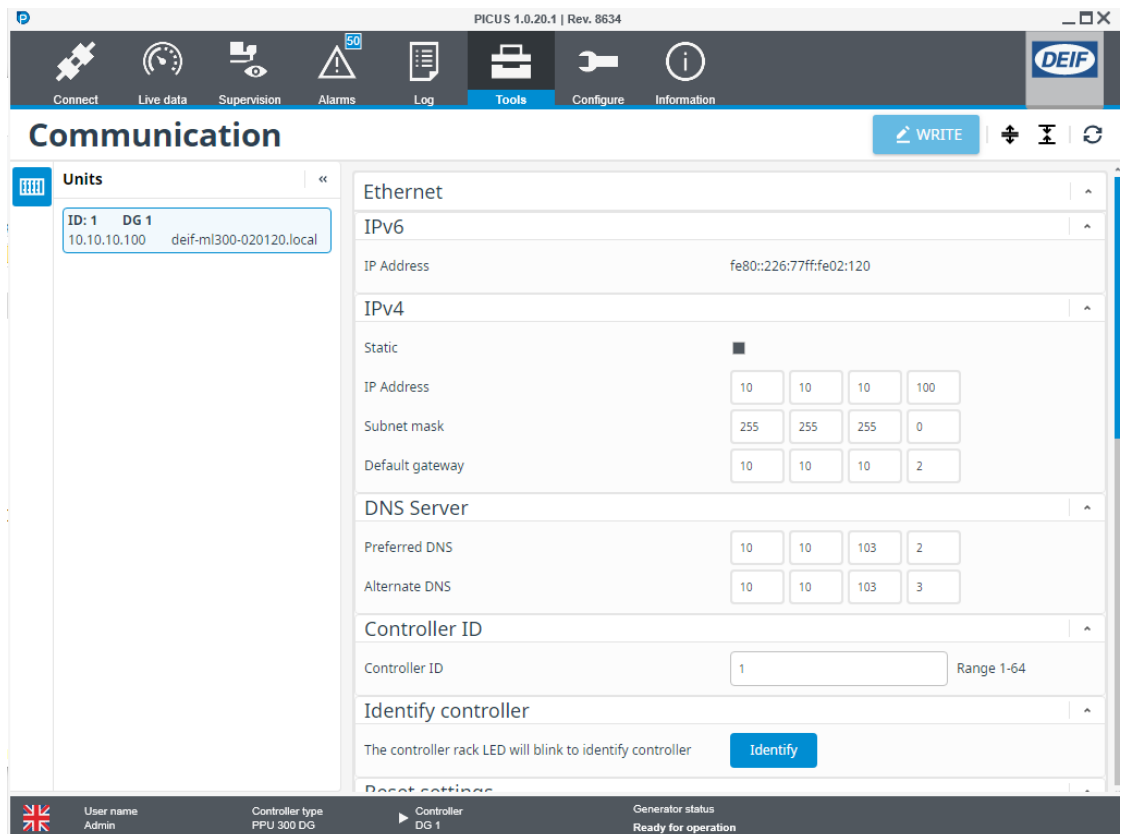


Kuva 14. DEIF PPU 300 laboratoriokytettä (Kokkonen 2024)

Kuvassa 14 näkyy DEIF PPU 300 -yksikön kytkentä laboratoriossa, jossa se on liitetty Modbus TCP -väylään. Tuloihin 23 ja 13 on kytketty kärkitieto 0-24V. Tilatiedon lukeminen Modbus TCP -protokollan avulla mahdollistaa tietojen välittämisen Ethernet-verkossa.

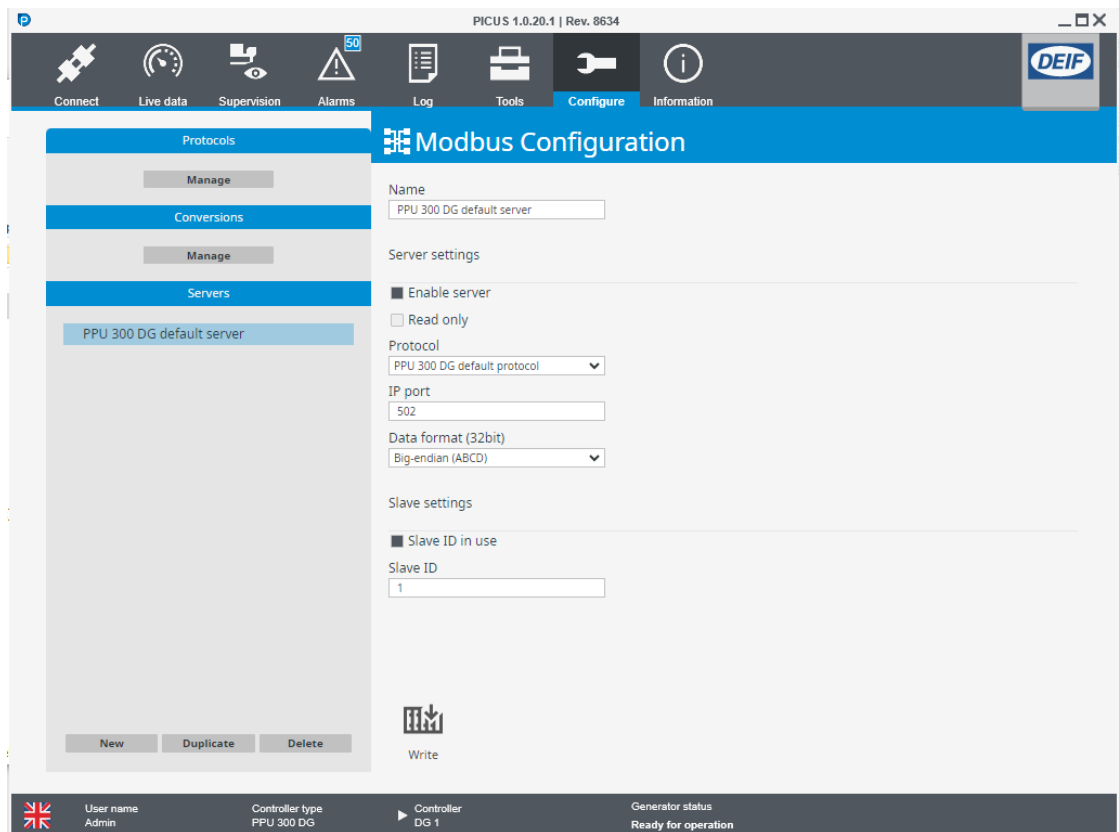
### 7.3.1 Tietoliikenneasetukset Modbus-TCP

DEIF PPU 300:n tietoliikenneasetukset tehdään PC-tietokoneen Picus-soveluksen Tools-valikon Communication-välilehdellä (Kuva 15).



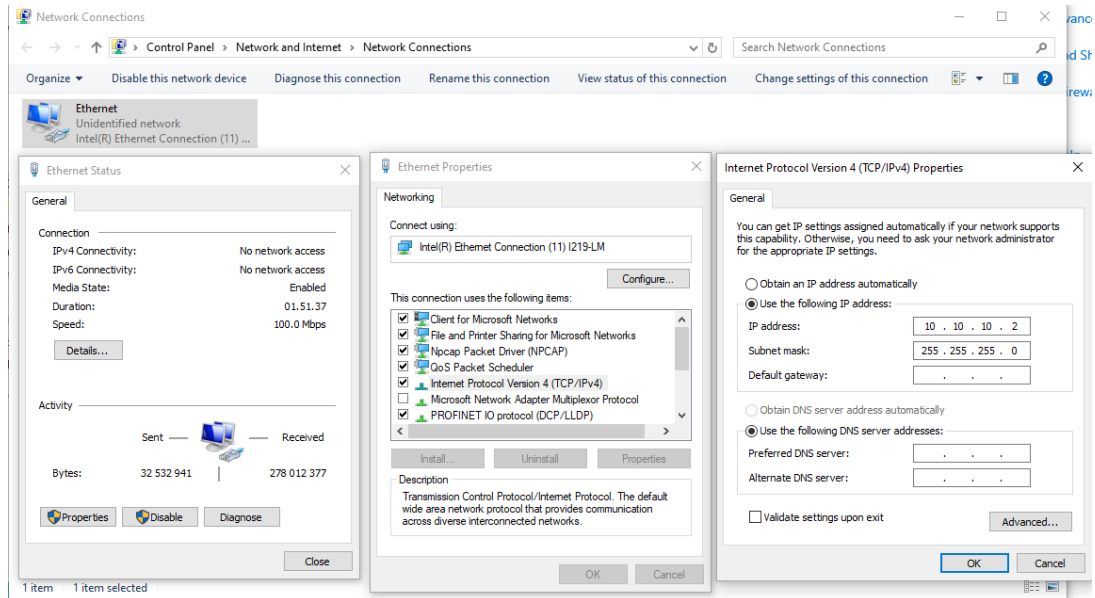
Kuva 15. DEIF PPU 300 Ethernet-verkon asetukset (Kokkonen 2024)

Kuvassa 15 on esitetty Picus-sovelluksen näkymä, jossa voidaan määrittää DEIF PPU 300:n Ethernet-verkon asetukset. Communication-valikossa voidaan määrittää laitteen IP-osoite, aliverkon peite ja DEIF-laitteen controller ID. Lisäksi voidaan valita, asetetaanko laitteelle kiinteä IP-osoite vai käytetäänkö määrittelyyn DHCP:tä.



Kuva 16. DEIF PPU 300 Modbus-asetukset (Kokkonen 2024)

Kuvassa 16 on esitetty Picus-sovelluksen näkymä, jossa voidaan määrittää DEIF PPU 300:n Modbus-protokollan asetukset. Asetussivulla voidaan lisäksi määrittää Modbus-tiedonsiirtoportti, protokolla ja rekisterin tavujärjestys sekä Modbus-renkin ID-numero.



Kuva 17. PC-tietokoneen Ethernet-verkon asetukset (Kokkonen 2024)

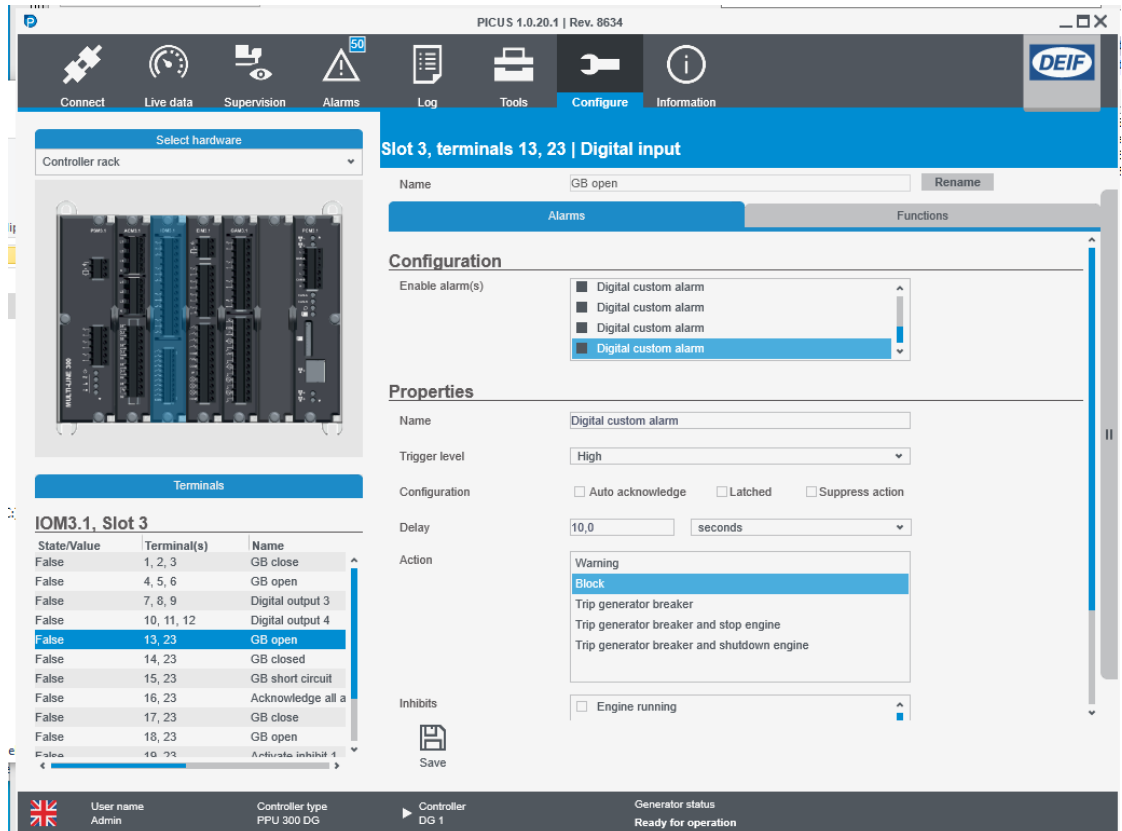
Kuvassa 17 on esitetty PC-tietokoneen Ethernet-verkon asetusten määrittely käyttöjärjestelmän ohjauspaneelin avulla. Kuvassa on määritetty kiinteä IP-osoite, joka on samassa aliverkossa kuin DEIF PPU 300:n IP-osoite.

### 7.3.2 Modbus-rekisterin lukeminen TCP-protokollalla.

Tässä kokeessa testattiin DEIF PPU 300:n Modbus TCP-protokollan toimintaa Ethernet-verkossa Modbus testing utility-työkalulla (Taulukko 7).

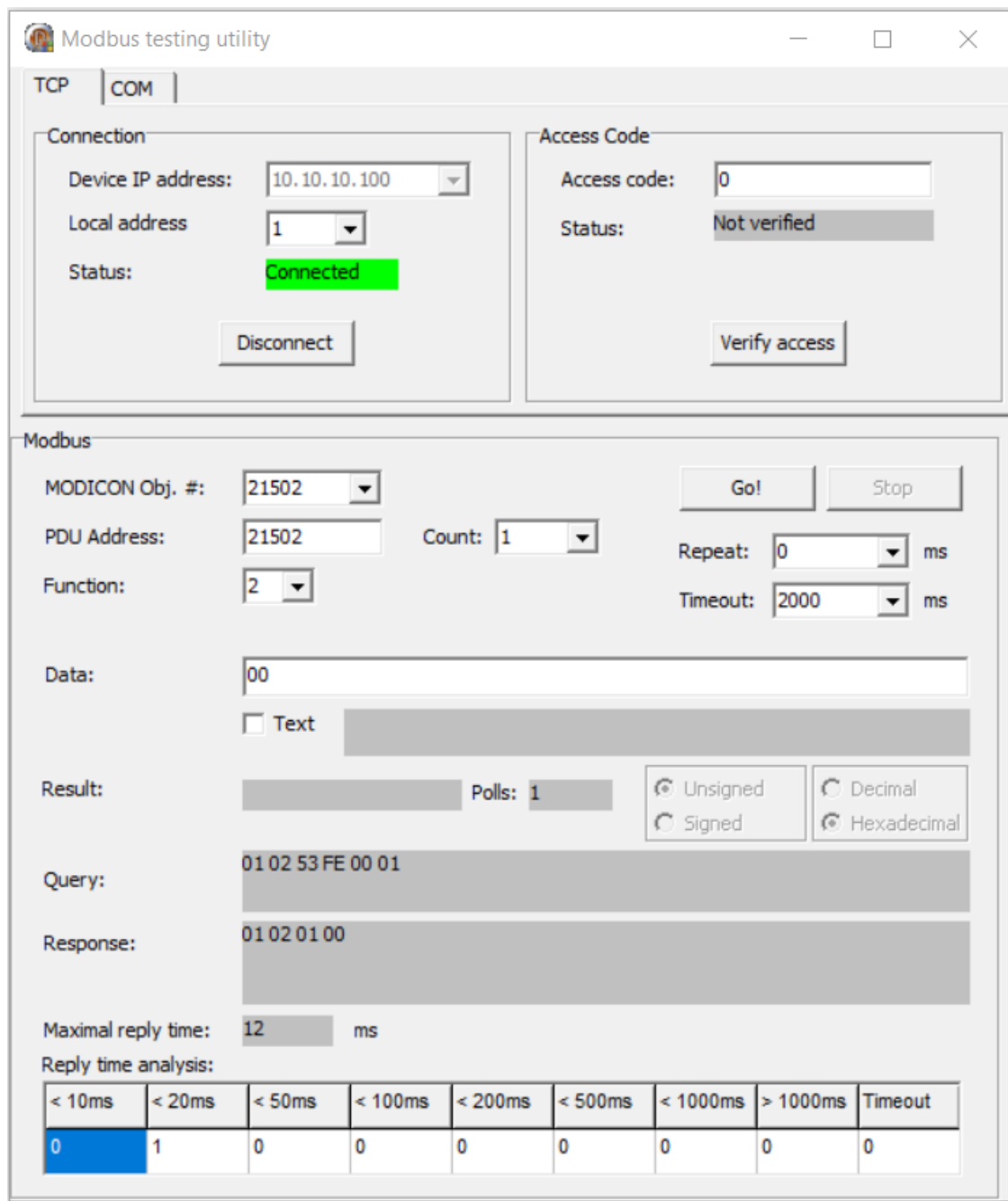
Taulukko 7. DEIF PPU 300:lla suoritettut kokeet (Kokkonen 2024)

No:	Koe	Toiminto	Tulos
1	Digital Custom alarm, pois	tulojen 13 ja 23 tila 0=0V	hälytys pois, False
2	suorita Modbus-rekisterin 21502 kysely	Modbus testing utility-lähetys	0
3	paketin tarkastus	luetaan lähetetty paketti protokolla-analysaattorilla	read discrete inputs
4	paketin tarkastus	luetaan vastaanotettu paketti protokolla-analysaattorilla	0 bit value=False
5	digital custom alarm, päällä	tulojen 13 ja 23 tila 24V=1	hälytys päällä, True
6	suorita Modbus-rekisterin 21502 kysely	Modbus testing utility-lähetys	read discrete inputs
7	paketin tarkastus	luetaan vastaanotettu paketti protokolla-analysaattorilla	1 bit value=True



Kuva 18. Koe 1 (Kokkonen 2024)

Kuva 18 esittää hetkeä, jolloin tulojen 13 ja 23 tila on 0, eli False. Tämä tarkoittaa, että hälytystä ei ole laukaistu ja näin ollen PPU 300 ei kirjoita hälytystietoa Modbus-rekisteriin 21502. Tämä voidaan varmistaa kokeella 4, jossa DEIF-PPU 300 vastaa kyselyyn, joka koskee rekisterin 21502 arvoa. Vastaus on 0=False, mikä vastaa tulojen 13 ja 23 sen hetkistä tilaa.

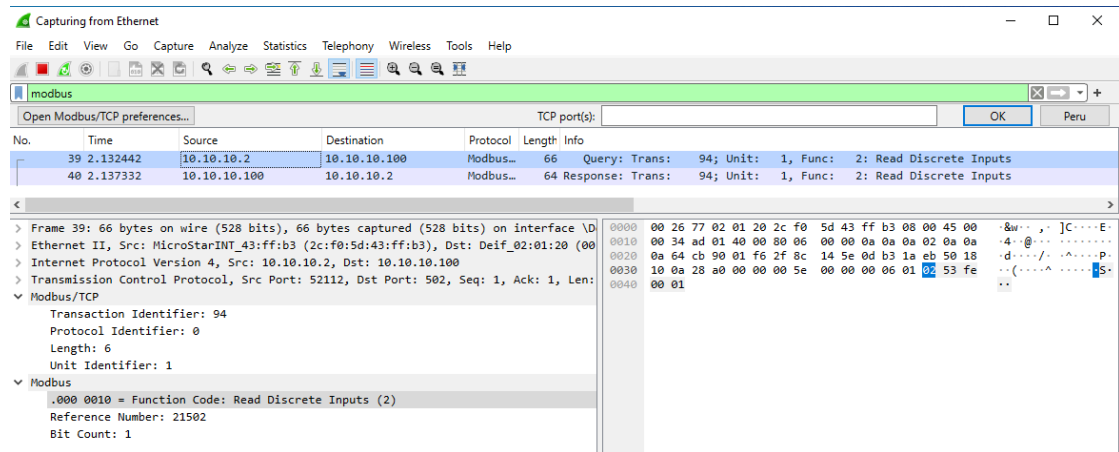


Kuva 19. Koe 2 (Kokkonen 2024)

Kuva 19 näyttää, miten Modbus testing utility -ohjelmalla kysyttiin DEIF PPU 300:n rekisterin 21502 tietoja. Kuvassa nähdään, että kyselyn toimintokoodi (Taulukko 8) on 02, mikä tarkoittaa, että luetaan diskreettejä tuloja ja että pyyntöön vastattiin arvolla 0=False, mikä osoittaa, ettei hälytys ei ole aktivoitunut.

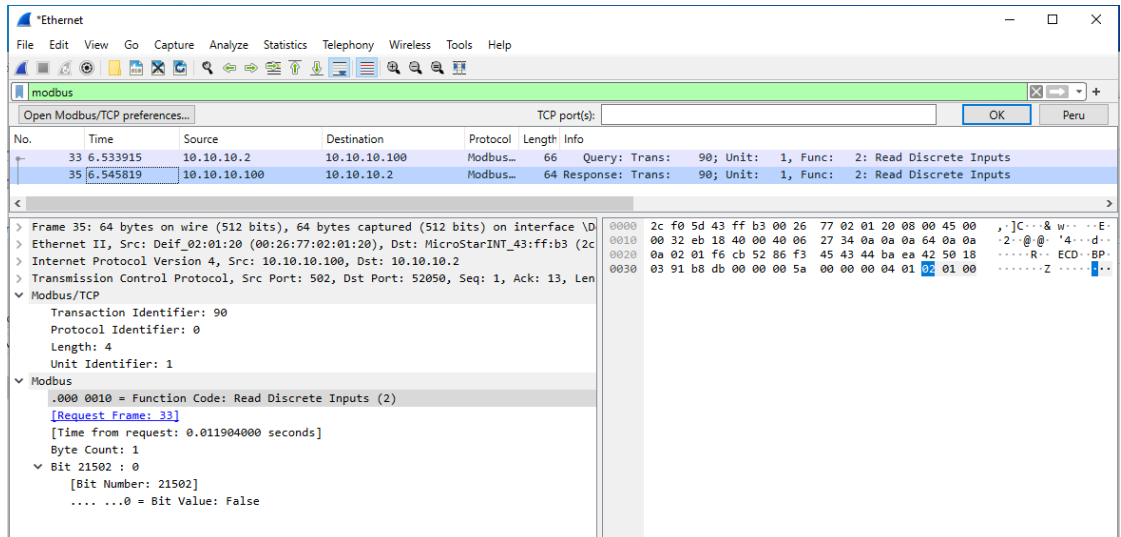
Taulukko 8. Modbus testing utility:n toimintakoodit (Kokkonen 2024)

Toimintokoodi (function)	Kuvaus
01	Lue kelatietoja (coils)
02	Lue diskreettejä tuloja
03	Lue useita rekistereitä
04	Lue tuloja
05	Kirjoita yksi looginen kelatieto
06	Kirjoita yksi rekisteri
15	Kirjoita useita loogisia kelatietoja
16	Kirjoita useita rekistereitä



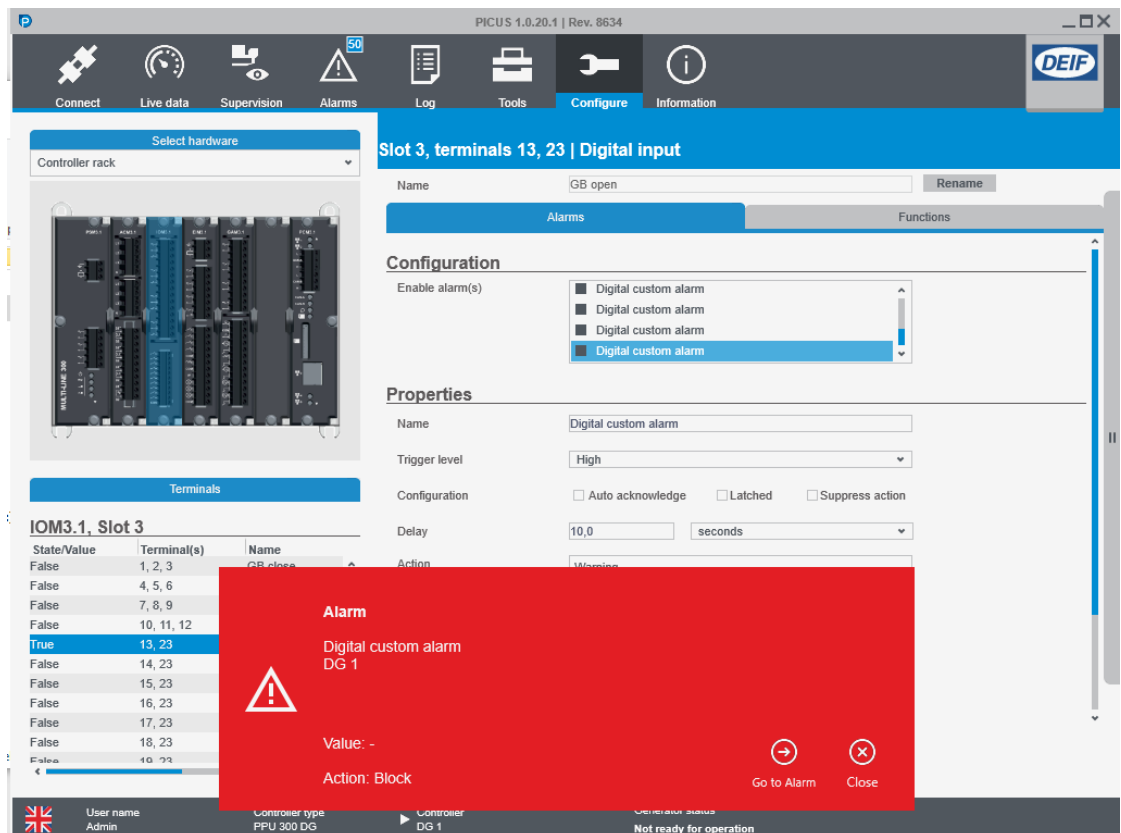
Kuva 20. Koe 3 (Kokkonen 2024)

Kuva 20 näyttää lähetetyn Modbus-rekisterin 21502 kyselypaketin tarkastuksen protokolla-analysaattorilla.



Kuva 21. Koe 4 (Kokkonen 2024)

Kuva 21 esittää DEIF PPU 300 lähettämän vastauksen tarkastuspaketin protokolla-analysointin näytöllä, jossa rekisterin 21502 kyselyn vastaus on 0=False.



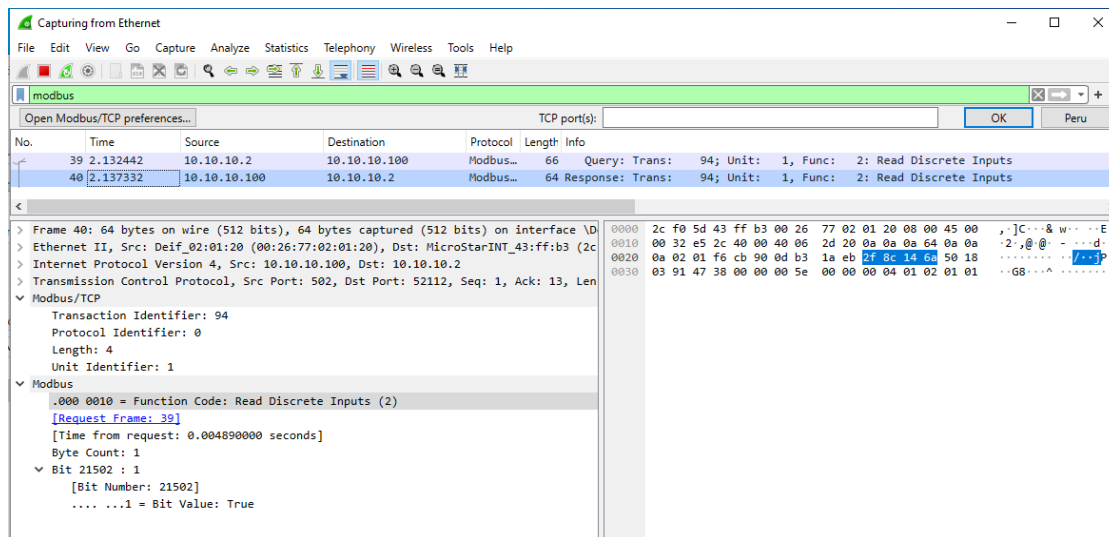
Kuva 22. Koe 5 (Kokkonen 2024)

Kuva 22 esittää hetkeä, jolloin tulojen 13 ja 23 tila on 1, eli True. Tämä tarkoittaa, että hälytys on laukaistu ja näin ollen PPU 300 kirjoitti Modbus-rekisteriin 21502 arvon 1, eli True. Tämä voidaan varmistaa kokeella 7, jossa luetaan vastaanotettu paketti protokolla-analysaattorilla.

< 10ms	< 20ms	< 50ms	< 100ms	< 200ms	< 500ms	< 1000ms	> 1000ms	Timeout
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Kuva 23. Koe 6 (Kokkonen 2024)

Kuvassa 23 näytetty Modbus testing utility-rekisterin 21502 kysely, jonka vastaus on 1, eli True.



Kuva 24. Koe 7 (Kokkonen 2024)

Kuvassa 24 näkymä DEIF PPU 300 vastauksen tarkastuspaketin protokolla-analysaattorin näytöllä rekisterin 21502 kyselystä, jonka vastaus 1=True.

## 7.4 ComAp IntelliDrive DCU Marine



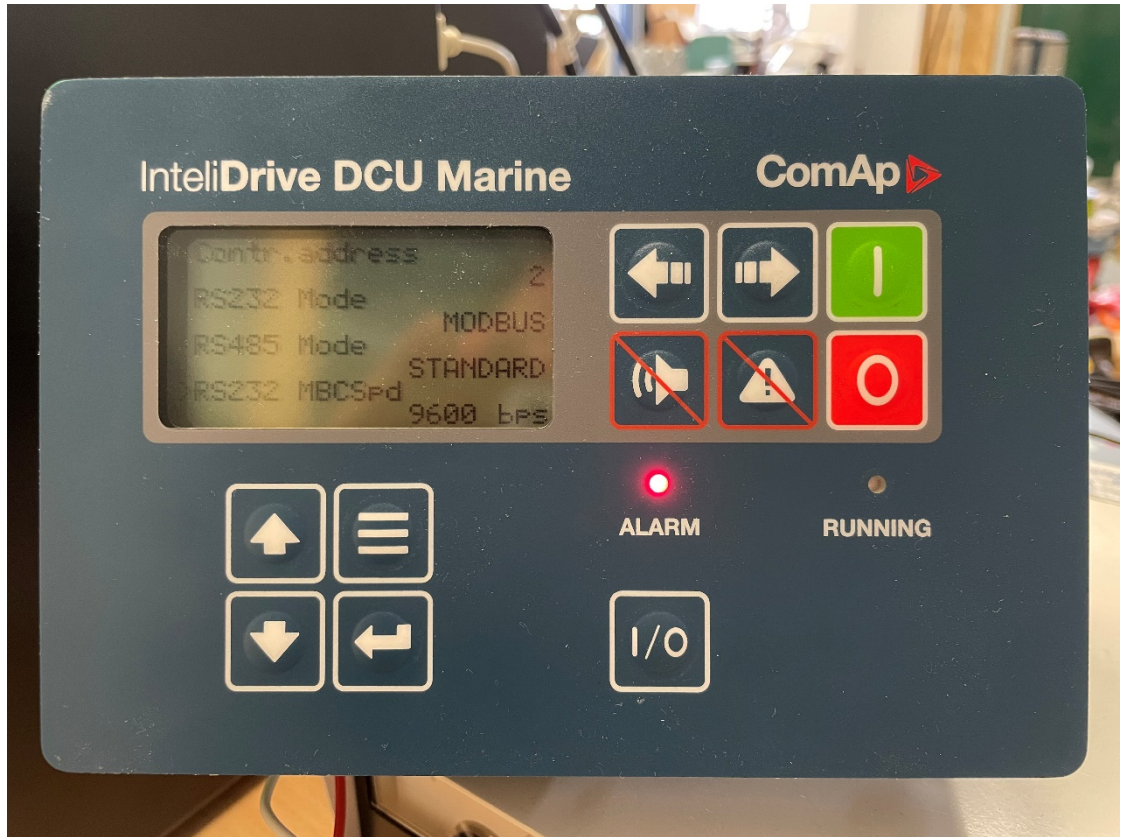
Kuva 25. ComAp DCU-generaattorin ohjauskeskuksen kaapissa (Kokkonen 2024)

Modbus RTU-protokollan testauksessa käytettiin Modbus-renkinä Comap DCU:ta, joka on periaatteessa sama laite kuin ECU, mutta on tarkoitettu erityisesti laivamoottoreiden ohjaukseen.

### 7.4.1 Modbus-rekisterin lukeminen käyttäen Modbus RTU-protokollaa

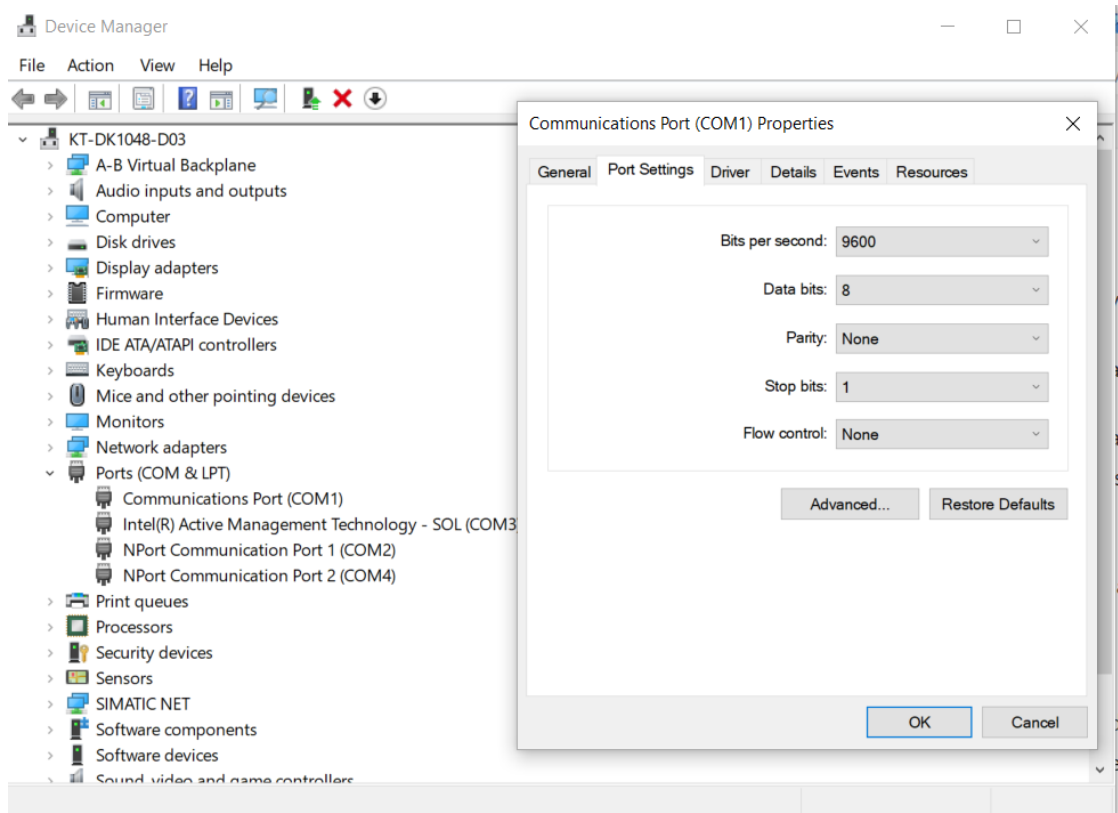
Tietokoneen ja Comap:n välinen yhteys toimii nollamodeemikaapelilla. Testaus aloitettiin varmistamalla ensin, että laitteiden välillä käytetään oikeanlaista kaapelia (kappale 4.1). Tämän jälkeen tehtiin Comapin ja PC-tietokoneen sarjaliikenneporttien asetukset. Comap ei voi käyttää kahta Modbus-väylää sa-

manaikaisesti, joten tässä testissä valittiin RS-232-väylän asetukseksi MOD-BUS ja RS-485-väylän asetukseksi STANDARD. Baudinopeus asetettiin 9600bps (Kuva 26).



Kuva 26. Comap IntelliDrive DCU Marine – laivamoottorihjaimen tietoliikenteen asetusvalikko (Kokkonen 2024)

Tietokoneen sarjaliikenneportin asetukset asetettiin PC-tietokoneen laitehallintasovelluksella siten, että ne vastasivat ComAp DCU:lle määriteltyjä arvoja (Kuva 27).



Kuva 27. PC-tietokoneen sarjaportin (COM1) asetukset laitehallintasovelluksella (Kokkonen 2024)

Kaapeloinnin ja laiteasetusten jälkeen varsinainen rekisterien testaus voitiin aloittaa. Testitapaukseksi valittiin akkujännitteen kysyminen, joka löytyy laitteen rekisteritaulukosta tunnuksella 4011 (Taulukko 9).

Taulukko 9. Rekisteristä haetut arvot (Comap 2024)

Register(s)	Com.Obj.	Name	Dim	Type	Len	Dec	Min	Max	Group
40001	8235	ID BIN		Binary#1	2	-	-	-	Binary CU
40011	8239	Battery Volt	V	Binary#2	2	1	0	400	Analog CU

Modbus testing utility -ohjelmaan piti syöttää lisäksi PDU-osoite, jota käytetään viittaamaan tiettyyn rekisteriin. Akkujännitteen PDU-arvo lasketaan kaavalla  $MODICON - obj. - Perusosoite = 40011 - 40001 = 10$ .

Vastausta tulkittaessa on otettava huomioon, että rekisteritaulukon arvo Dec. 1 tarkoittaa, että saatu tulos tulee jakaa luvulla 10.

Modbus testing utility -sovellukseen tuli lisäksi määrittää käytettävä sarjaliikenneportti, baudinopeus ja renkilaitteen Modbus-osoite.

Modbus testing utility

TCP COM

Connection

COM: 1 - Tietokoneen sarjaliikenneportti

Baudrate: 9600 - Yhteyden baudinopeus

Local address: 2 - modbus rengin laiteosoite (contr.address)

Status: **Connected**

Disconnect

Modbus

MODICON Obj. #: 40011 - luettava rekisteri

PDU Address: 10 Count: 1

Function: 3 - toiminto komento: luetaan rekisteria

Repeat: 0 ms

Timeout: 2000 ms

Data: 253 vastaus tarkoittaa 25,3V

Text

Result: **OK** Polls: 1

Unsigned  Decimal

Signed  Hexadecimal

Query: 02 03 00 0A 00 01 A4 3B

Response: 02 03 02 00 FD 3D C5

Maximal reply time: 25 ms

Reply time analysis:

< 10ms	< 20ms	< 50ms	< 100ms	< 200ms	< 500ms	< 1000ms	> 1000ms	Timeout
0	0	1	0	0	0	0	0	0

Kuva 28. Modbus testing utility:n käyttöliittymä (Kokkonen 2024)

Testiohjelman lähetyksen (Query) ja vastaanottosanomien (Response) tulkitseminen voidaan tehdä seuraavasti (Taulukko 10).

Taulukko 10. Modbus RTU-sanoman tulkinta (Kokkonen 2024)

lähetyksen (query)	sanoma	vastaanotto (Response)	sanoma
02	renkilaitteen osoite	02	lähettäjän osoite
03	pyyntö lukea rekisteriä	03	luetaan rekisteriä
00 FD	pyydetään PDU:n 10 arvo	00 0A	rekisterin arvo on desimaalilukuna 253
3D C5	CRC-tarkastus	A4 3B	CRC-tarkastus

The screenshot displays the Modbus testing utility interface. On the left, a list of Modbus registers is shown, with the following registers highlighted in yellow:

- 43034-43035 ( 2) 8206 Run Hours h
- 43036 8207 NumSuccStarts
- 43037 10149 NumUnscStarts

The main interface shows the following configuration and results:

- Connection:** COM1, Baudrate: 9600, Local address: 2, Status: Connected.
- Modbus:** MODICON Obj. #: 43034, PDU Address: 3033, Count: 4, Repeat: 0 ms, Timeout: 2000 ms.
- Data:** 0,11,155,17
- Result:** OK, Polls: 1, Format: Unsigned.
- Query:** 02 03 08 D9 00 04 97 E5
- Response:** 02 03 08 00 00 00 0B 00 9B 00 11 8E B1
- Maximal reply time:** 30 ms
- Reply time analysis:**

< 10ms	< 20ms	< 50ms	< 100ms	< 200ms	< 500ms	< 1000ms	> 1000ms	Timeout
0	0	1	0	0	0	0	0	0

Kuva 29. Useamman Modbus-rekisterin lukeminen yhtäaikaaisesti Modbus testing utility:llä (Kokkonen 2024)



Kuva 30. Rekisterien 43034-43037 tiedot ComAp IntelliDrive DCU Marine-laitteen näytöllä (Kokkonen 2024)

## 8 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä esiteltiin Modbus-protokollan perusteet ja sen eri toteutusmuodot. Lisäksi perehdyttiin Modbus-tekniikkaa hyödyttävien verkkoteknologioiden toimintaan ja ominaisuuksiin. Teoriaosuuden tarkoituksena on antaa lukijalle käsitys teoreettisesta viitekehuksesta.

Tässä työssä on tutkittu Modbus-protokollan käyttöä teollisuuden laiteverkoissa ja sen integroimista laivamoottoreiden ohjaukseen tarkoitettujen laitteiden kanssa. Työn tavoitteena oli kehittää ja toteuttaa Modbus-testiverkko, joka mahdollistaa eri Modbus-protokollia hyödyntävien laitteiden integroinnin.

Laboratoriokokeissa pyrittiin saamaan vastauksia tutkimuskysymyksiin. Kokeet suoritettiin Modbus testing utility -protokollageneraattorilla, joka osoittautui toimivaksi työkaluksi Modbus-yhteyksien testaamiseen ja analysoimiseen.

Työn tuloksena saatiin aikaiseksi toimiva Modbus-yhteys, joka kykeni lukemaan ja kirjoittamaan laitteen rekistereitä Ethernet- ja RS-232-väylän kautta. Ohjelma osoitti luotettavuutta testeissä, jotka voitiin todentaa Wireshark-protokolla-analysaattorilla.

Opinnäytetyön tulokset osoittautuivat hyödyllisiksi, koska niitä voidaan käyttää jatkossa työn tilaajan (XAMK) sähkövoimatekniikan laboratoriossa automaatiojärjestelmien verkkotekniikan opetuksessa.

## **8.1 Tutkimuksen integraatiohaasteet**

Tutkimuksen aikana havaittiin, että Modbus-protokollan eri versiot voivat aiheuttaa yhteensopivuusongelmia ja haasteita eri laitteiden ja verkkoteknologioiden välillä. Lisäksi tietoliikenneverkon topologia ja fyysiset ominaisuudet vaikuttavat tiedonsiirron nopeuteen ja luotettavuuteen. Jotta voidaan varmistaa onnistunut integraatio, tarvitaan kattavaa Modbus-protokollan ja verkkoteknologioiden tuntemusta sekä huolellista testaamista ja virheenkorjausta.

Kyberturvallisuuskäsitteiden huomioon ottaminen Modbus-projekteissa on tärkeää, koska protokolla ei itsessään sisällä ominaisuuksia tietoturvan varmistamiseksi. Varsinkin laivaympäristössä tämä seikka on otettava erityisesti huomioon, jossa kyberhyökkäyksien seuraukset voivat olla ennalta arvaamattomia.

## **8.2 Menetelmän hyödyt laivaympäristössä**

Modbus-protokolla on ollut pitkään käytössä ollut teollisuuden kenttäväylän tiedonsiirron avoin standardi ja sen tekniset tiedot ovat julkisesti saatavilla. Protokolla on laajasti tuettu, mikä mahdollistaa yhteensopivuuden useiden eri laitevalmistajien ja ohjelmistotoimittajien tuotteiden välillä.

Tutkimuksessa tuloksena havaittiin että, tämä ominaisuus on erityisen tärkeää laivoissa, joissa järjestelmien ja laitteiden on kestävä pitkään ja niitä saatetaan päivittää tai korvata ajan mittaan.

Modbus-protokollan yksinkertainen rakenne tekee sen toiminnallisuuden ymmärtämisestä nopeaa, mikä samalla vaikuttaa järjestelmien käyttöönotto-  
kustannuksiin. Modbus-protokolla on helposti integroitavissa erilaisilla tietoliiken-  
netekniikoilla, kuten RS232, RS485, Ethernet, WiFi ja ZigBee.

Modbus-protokollan etuna on, että sen avulla voidaan yhdistää laivan eri oh-  
jausjärjestelmiä ja laitteita yhteen verkkoon ja integroida toiminnot SCADA-jär-  
jestelmään. Tämä parantaa laivan operatiivista tehokkuutta esimerkiksi vähen-  
tämällä kaapeloinnin tarvetta.

## LÄHTEET

ARC Electronics. s.a. RS232 Tutorial on Data Interface and Cables. Verkkosivu. Saatavissa: <http://www.arcelect.com/rs232.htm> [Viitattu 6.5.2024].

Braden. 1989. Requirements for Internet Hosts – Communication layers. Internet Engineering Task Force. Verkkosivu. Saatavissa: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1122>[Viitattu 6.5.2024].

Cami Research Inc. 1993-2015. A Tutorial with Signal Names and Definitions. Saatavissa: [https://www.camiresearch.com/Data\\_Com\\_Basics/RS232\\_standard.html](https://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html). [viitattu 6.5.2024].

DEIF A/S. 2024. Designer's Handbook. PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://www.deif.com/media/b3bmrsbi/ppm-300-designer-s-handbook-4189340911-uk.pdf> [viitattu 6.5.2024].

Iana. 2014. Service name and Transport Protocol PortNumber Registry. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml?search=502> [Viitattu 6.5.2024].

International Electro Technical Commission. 2009. Field device tool (FDT) Interface specification – Part 315: Communication profile integration - IEC 61784 CPF 15. ICS. PDF-Dokumentti. Vaatii käyttöoikeuden. Saatavissa: [https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec62453-315%7Bed1.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62453-315%7Bed1.0%7Den.pdf) . [viitattu 6.5.2024].

International Electro Technical Commission. 1996. Information technology - Open System Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model. ICS. PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://www.ecma-international.org/wp-content/uploads/s020269e.pdf>. [viitattu 6.5.2024].

Keinänen T.&Sumujärvi M. 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Modbus Organization Ltd. 2006. Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Messaging\\_Implementation\\_Guide\\_V1\\_0b.pdf](https://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf) [Viitattu 6.5.2024].

Modbus Organization Ltd. 2020. Modbus Organization Replaces Master-Slave with Client-Server. PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://modbus.org/docs/Client-ServerPR-07-2020-final.docx.pdf> [Viitattu 6.5.2024].

Moxa Inc. 2019. MGate MB3000 Modbus Gateway User's Manual. PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://www.moxa.com/getmedia/c99d0897-cfd2-4f45-80f3-a9247b89fc14/moxa-mgate-mb3180-mb3280-mb3480-series-manual-v11.2.pdf> [viitattu 6.5.2024].

Niiranen J. 2000. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Yliopistokustannus/Otatieto.

Suomen Automaatioseura. 2007. Teollisuuden Laiteverkot – Johdatus väylätekniikkaan. Helsinki: Picaset Oy.

Sähkötieto ry. 2022. Espoo. Talotekniikan tiedonsiirto. ST-käsikirja 21. Sähköinfo Severi. Vaatii käyttöoikeuden. Saatavissa: <https://severi.sahkoinfo.fi> [viitattu 6.5.2024].

Texas Instruments. 2008. Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485). PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://www.ti.com/lit/an/slla036d/slla036d.pdf?ts=1715078264293> [viitattu 6.5.2024].

Verkostoitunutelama. 2022. APIPA: automaattinen yksityinen IP-osoite. Verkosivu. Saatavissa: <https://verkostoitunutelama.com/apipa-automattinen-yksityinen-ip-osoite/> [Viitattu 6.5.2024].