



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# AUTOMAATION ESITTELY- LAITTEISTON

suunnittelu ja toteutus

TEKIJÄ: Samu Väisänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Samu Väisänen			
Työn nimi Automaation esittelylaitteiston suunnittelu ja toteutus			
Päiväys	14.6.2018	Sivumäärä/Liitteet	49/8
Ohjaajat Maajohtaja Markku Leskinen, Weidmüller Finland; Lehtori Pasi Lepistö, Savonia; Lehtori Jari Ijäs, Savonia			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Weidmüller Finland Oy			
<p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Weidmüller Finland Oy. Esittelylaitteiston suunnittelu ja toteuttaminen oli aikataulutettu vuoden 2018 keväälle.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa automaatiokeskus, jossa esitellään tilaajayrityksen tarjoamia automaatiotuotteita ja niiden ominaisuuksia.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä käsitellään laajemmin keskuksen ohjaukseen valittua Raspberry Pi tietokonetta, sen ominaisuuksia, sekä valittua väylätekniikkaa ja ohjelmallista toteutusta. Opinnäytetyössä on myös esitelty valitut tuotteet ominaisuuksineen ja toteutuksen vaiheet.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena valmistunut laitteisto sijoitettiin tilaajan toimistolle Vantaalle käytettäväksi myynnin ja markkinoinnin tukena. Laitteistoa käytetään esitellessä tuotteita sekä niiden ominaisuuksia asiakkaille ja perehdyttäessä henkilökuntaa tuotteiden ominaisuuksiin. Esittelylaitteisto suunniteltiin siirrettäväksi, jotta sitä voidaan käyttää tarvittaessa myös messuilla ja muissa tilaisuuksissa tapahtuvaan markkinointiin.</p> <p>Työ valmistui aikataulussaan ja työn tuotoksena valmistunut esittelylaitteisto luovutettiin tilaajalle toukokuussa 2018. Esittelylaitteisto on tilaajan aktiivisessa käytössä ja tukee yrityksen strategian mukaista kehitystä suunnitellusti.</p>			
Avainsanat Modbus, automaatio, Raspberry, esittelylaitteisto, Node-RED			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Automation Technology			
Author Samu Väisänen			
Title of Thesis Automation Demonstration System Design and Implementation			
Date	14 June 2018	Pages/Appendices	49/8
Supervisor(s) Mr Markku Leskinen, Country Sales Manager, Weidmüller Finland; Mr Pasi Lepistö, Senior Lecturer, Savonia; Mr Jari Ijäs, Senior Lecturer, Savonia			
Client Organisation /Partners Weidmüller Finland Oy			
<p>The bachelor's thesis was commissioned by Weidmüller Finland Oy. The design and implementation of the demonstration equipment was scheduled for the spring of 2018. The purpose of the thesis was to design and implement an automation cabinet presenting the automation products and their properties offered by the company</p> <p>The theoretical part of the thesis dealt with Raspberry Pi computers, its features, the bus technology and programmatic implementation. The thesis also presents the products and the stages of implementation.</p> <p>The cabinet produced as the result of the thesis was placed at the customer's office in Vantaa to be used as sales and marketing support. The system is used to present products and their features to customers and to familiarize employees with the products. The demonstration system was designed to be movable so that it can be used for marketing at trade fairs and other events as needed. The work was completed on schedule and the demonstration equipment was handed over to the client in March 2018. The demonstration equipment is actively used by the client and it supports the company's sales and marketing as planned.</p>			
Keywords Modbus, Automation, Raspberry, Demonstration, Node-RED			

## ESIPUHE

Tämä työ antoi minulle syvällisen perehdytyksen automaatiojärjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen sekä pintaraapaisun yritysten käyttämien demolaitteiden rakenteeseen. Työn toteuttaminen syvensi osaamistani teollisuusautomaation suunnitteludokumenttien laadinnasta ja järjestelmien fyysisestä kokoonpanosta ja asennuksesta.

Tahdon kiittää tästä mahdollisuudesta Weidmüller Finland Oy:tä ja maajohtaja Markku Leskistä sekä Savonia-ammattikorkeakoulua. Haluan myös kiittää lehtori Pasi Lepistöä ja lehtori Jari Ijästä opinnäytetyöni ohjaamisesta, sekä muita sähkö- ja automaatiotekniikan opettajia opinnoistani, Hannu Korhosta ja Iiro Peltokangasta jotka ohjasivat ja neuvoivat minua työn edetessä sekä perhettäni, ystäviäni ja kaikkia niitä jotka ovat tukeneet ja avustaneet minua opiskeluideni aikana ja tämän opinnäytetyön toteutuksessa.

Kuopiossa 14.6.2018



Samu Väisänen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	9
2	RASPBERRY PI .....	11
2.1	Raspberry Pi Foundation.....	11
2.2	Raspberry Pi.....	11
2.2.1	Raspberry Pi 3.....	12
2.2.2	Raspberry Pi Zero.....	13
2.2.3	Raspberry Pi Compute Module 3 .....	14
2.2.4	Raspberry Pi Compute Module IO Board V3 .....	15
2.3	Ohjelmisto.....	16
2.3.1	Linux.....	16
2.3.2	Raspbian .....	16
2.3.3	Vuokaaviopohjainen ohjelmointi.....	17
3	MODBUS.....	18
3.1	Sarjaväylä pohjainen Modbus.....	18
3.1.1	RTU .....	19
3.1.2	ASCII .....	19
3.2	Modbus TCP/IP.....	20
4	SUUNNITTELU.....	22
4.1	Aikataulu.....	22
4.2	Määrittely.....	22
4.3	Laitteiston suunnittelu .....	23
4.3.1	Piirustukset.....	23
4.3.2	Laitteiston toimintakuvaus.....	23
5	LAITTEET JA KOMPONENTIT.....	24
5.1	Kotelointi ja liittimet .....	24
5.1.1	Kotelot .....	24
5.1.2	Liittimet ja läpiviennit.....	25
5.2	Tehonsyöttö .....	26
5.2.1	ABB S201-C10 Johdonsuojakatkaisija .....	26
5.2.2	PROtop.....	26

5.2.3	UPS.....	27
5.2.4	Omron S82S-7705 .....	28
5.2.5	maxGUARD kuormasuoja .....	28
5.3	Väyläratkaisut.....	29
5.3.1	Reititin .....	29
5.3.2	Kytkin.....	30
5.3.3	WLAN.....	30
5.4	U-remote.....	30
5.5	U-view .....	31
5.6	Releet .....	32
5.6.1	Adapterit ja kaapelointi .....	32
5.7	Virtamittari .....	32
6	SOVELLUKSET JA ASENNUS .....	33
6.1	Raspbian .....	33
6.2	Node-RED .....	34
7	OHJELMOINTI JA KONFIGUROINTI.....	35
7.1	Ohjaava ohjelmisto .....	35
7.1.1	Releiden ohjaus.....	35
7.1.2	Virran mittaus .....	37
7.1.3	Indikointi ja asetukset.....	37
7.1.4	Käyttöliittymä.....	39
7.2	U-remote.....	41
7.3	Reititin .....	41
7.3.1	U-Link .....	42
8	KOKOONPANO JA TESTAUS .....	43
8.1	Keskuksen kokoonpano .....	43
8.2	Verkko .....	44
8.3	Testaus.....	45
9	YHTEENVETO .....	46
9.1	Ammatillinen kehittyminen.....	47
9.2	Loppusanat .....	47
10	LÄHDELUETTELO.....	48

LIITE 1: KESKUSLAYOUT HMI .....	51
LIITE 2: KESKUSLAYOUT HMI OIKEA .....	52
LIITE 3: KESKUSLAYOUT .....	53
LIITE 4: KESKUSLAYOUT ETU .....	54
LIITE 5: KESKUSLAYOUT OIKEA .....	55
LIITE 6: JOHDOTUSKAAVIO .....	56
LIITE 7: PIIRIKAAVIO .....	57
LIITE 8: VÄYLÄKAAVIO .....	58

## 1 JOHDANTO

Työn tilaajana toiminut Weidmüller Finland Oy aloitti toimintansa Suomessa 2012. Aikaisemmin saksalaisen emoyhtiön Weidmüller Interface GmbH myynti ja edustus Suomessa tapahtui erillisen jälleenmyyjän toimesta ja yhtiön markkina-alue oli vahvasti keskittynyt erilaisten liitinratkaisujen ympärille. Perustamisensa jälkeen Weidmüller Finland on vahvasti pyrkinyt parantamaan merkin tunnettavuutta ja kasvattamaan markkinaosuuttaan kaikkien yhtiön tarjoamien tuotteiden osalta.

Emoyhtiön nopeasti kasvanut teollisuusautomaatiotuotteiden tuotevalikoima synnytti tarpeen suunnitella ja toteuttaa myynnin ja markkinoinnin tueksi automaation esittelylaitteisto, jonka avulla pystyttäisiin helposti esittelemään tuotteita ja niiden ominaisuuksia nykyisille ja potentiaalisille asiakkaille.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä Weidmüllerin tarjoamiin automaatiotuotteisiin ja niiden ominaisuuksiin, sekä suunnitella ja toteuttaa esittelylaitteisto yrityksen käyttöön. Tässä työn raportti osiossa käsitellään valitun Modbus väyläteknologian ja ohjaavana laitteena toimivan Raspberry Pi tietokoneen taustoja ja ominaisuuksia. Lisäksi raportissa käydään läpi laitteiston teknisen ja ohjelmistollisen suunnittelun sekä toteutuksen vaiheet.



## 1.1 Lyhenteet ja määritelmät

SO-DIMM liitin (small outline dual in-line memory module)

- Kompakti yleisimmin tietokoneen muistien kytkemiseen tarkoitettu liitintyyppi.

Ethernet

- Verkko liikenne standardi

TCP (Transmission Control Protocol)

- Verkon kommunikaatioprotokolla

IP (Internet Protocol)

- Verkon reitityksen ja osoitteenhallinnan protokolla

Modbus

- Ohjelmoitaville logiikoille kehitetty kommunikaatio protokolla.

Modbus Master

- Ohjaava laite Modbus väylässä

Modbus Slave

- Ohjattava laite Modbus väylässä

UPS (uninterruptible power supply)

- Varavirtajärjestelmä

VPN (Virtual Private Network)

- Suojattu etäyhteys

IEEE 802.11 a/b/g/n

- Langattoman tiedonsiirron standardi

Solid state relay

- Puolijohdekomponentilla toteutettu rele

Konfigurointi

- Asetusten säätäminen

Node

- Node-RED ohjelmointiympäristön ohjelmalohko, joka viestin vastaanottaessaan suorittaa siihen ennalta ohjelmoidun toiminnon.

#### Inject Node

- Lähettää siihen määritellyn viestin joko kerran ohjelman käynnistyessä tai automaattisesti määritetyllä intervallilla.

#### Switch Node

- Muodostaa käyttöliittymään kytkimen joka muuttaa tilaansa vastaanotetun viestin perusteella tai lähettää käyttäjän tekemän muutoksen viestinä eteenpäin.

#### Button Node

- Muodostaa käyttöliittymään painikkeen jota painettaessa lähettää ennalta määritellyn viestin eteenpäin.

#### Gauge Node

- Muodostaa käyttöliittymään mittarin joka muuttaa arvoaan vastaanotetun viestin mukaisesti

#### Chart Node

- Muodostaa käyttöliittymään viivakaavion jonka arvot määräytyvät vastaanotettujen viestien perusteella.

#### Message Node

- Muodostaa käyttöliittymään viesti ikkunan jonka sisältö määräytyy vastaanotetun viestin perusteella

#### Trigger Node

- Viestin vastaanottaessa lähettää ennalta määrätyn viestin eteenpäin jonka jälkeen jää odottamaan nollausta ennen uuden viestin lähettämistä.

#### Scale Node

- Skaalaa saapuvan viestin arvon sopivaksi ennalta määrättyihin rajoihin

#### Modbus Flex Getter Node

- Viestin vastaanottaessaan muodostaa Modbus käskyn jolla pyytää tietoja Modbus serveriltä. Palauttaa viestinä saadut tiedot.

#### Modbus Write Node

- Viestin vastaanottaessaan muodostaa Modbus käskyn jolla kirjoittaa tietoja Modbus serverille

#### Function Node

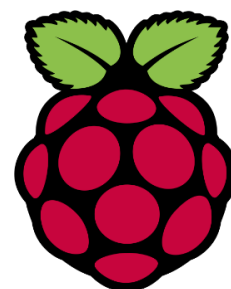
- Node jonka toiminta on vapaasti ohjelmoitavissa JavaScript ohjelmointikielellä

## 2 RASPBERRY PI

### 2.1 Raspberry Pi Foundation

Raspberry Pi Foundation on koulutuksellinen hyväntekeväisyysjärjestö, joka perustettiin Isossa-Britanniassa 2008, edistämään lasten ja aikuisten tietotekniikan osaamista ja koulutusta. Yhdistyksen perustamisen taustalla oli halu ratkaista ongelma, jossa ihmisistä oli tullut tietotekniikan kuluttajia ilman ymmärrystä ohjelmien ja laitteistojen toiminnasta tai tuottamisesta. Tämä oli seurausta siitä että, vuosikymmenien ajan kouluissa oli opetettu ohjelmistojen käyttöä, mutta ei niiden toimintaa ja tuottamista. Samaan aikaan ohjelmistoista ja laitteista oli tullut yhä suljetumpia ja vaikeammin muokattavia. Yhdistyksen perustajat halusivat luoda halvan ohjelmoitavan tietokoneen, joka toimisi nuorille väylänä ohjelmoinnin maailmaan.

Yhdistys käyttää tuotteiden myynnistä saamansa tulot hyväntekeväisyystoimintansa rahoittamiseen järjestäen mm. koulutuksia, kilpailuja ja kerhotoimintaa miljoonille ihmisille ympäri maailman. (Raspberry Pi Foundation, 2017)



Kuva 1. Raspberry Pi logo.  
(Raspberry Pi Foundation, Logo, 2018)

### 2.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi on edullinen pienikokoinen tietokone, joka tarvitsee toimiakseen vain HDMI-liitännän kautta kytketyn monitorin tai television, USB näppäimistön ja hiiren sekä micro-USB virtalähteen. Laite soveltuu esimerkiksi internet selailuun, tekstieditointiin ja teräväpiirto videoiden toistoon. Suorituskyvyltään ja toiminnoiltaan laite vastaakin lähes täysin normaalia pöytätietokonetta. (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Laitteen toimintoja ja ominaisuuksia pystytään lisäämään liittämällä laitteeseen erilaisia lisäosia ja sensoreita. Halvan hintansa, monipuolisuutensa sekä helpon muokattavuutensa vuoksi Raspberry Pi on toiminut pohjana monen harrastelijan ja ammattilaisen kehitysprojekteissa. Raspberry Piille onkin kehitetty lukematon määrä erilaisia käyttökohteita ja sen ympärille on rakentunut laaja yhteisö, jossa käydään aktiivista keskustelua, suunnitellaan uusia projekteja ja neuvotaan muita käyttäjiä projektien heidän kohtaamiensa ongelmien ratkaisussa. Raspberry Pistä on markkinoilla tarjolla useita eri versioita joista suosituimpia ovat Raspberry Pi 3 ja matalatehoisempi mutta pienempi ja virtapihimpi Raspberry Pi Zero. Lisäksi Raspberry Pi on tuonut markkinoille teollisuuskäytön prototyyppi projekteihin tarkoitetun Compute Module 3 mallin, joka on suorituskyvyltään Raspberry Pi 3 kaltainen mutta muotoilultaan ja liitännöiltään paremmin teollisuuteen soveltuva. (Raspberry Pi Foundation, 2018)

## 2.2.1 Raspberry Pi 3



Kuva 2. Raspberry Pi 3 Model B (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Raspberry Pi 3 Model B on suuren suosion saavuttaneiden Raspberry Pi sarjan tietokoneiden kolmannen sukupolven malli. Se julkaistiin vuoden 2016 ensimmäisellä vuosineljänneksellä. Suorituskyvyltään tämä luottokortin kokoinen tietokone soveltuu käytettäväksi arkikäytössä internetin selailuun ja tekstitiedointiin. Suuren suosionsa laite on kuitenkin saavuttanut sille tarjolla olevan laajan ohjelmistovalikoiman ja helpon muokattavuutensa vuoksi. Raspberry Pi 3 model B on toiminut pohjana useissa harrastelijaprojekteissa, kuten kotiautomaatiojärjestelmissä, älypeileissä ja pelikonsoleissa. Tietokone soveltuu erinomaisesti ohjelmoinnista ja tietotekniikasta kiinnostuneen ensimmäiseksi projektialustaksi. Valmistaja itse suosittelee laitetta parhaana vaihtoehtona kouluympäristöön. (Raspberry Pi Foundation, 2018) Laitteelle on verkosta saatavilla runsaasti valmiita projekteja ja ohjeita. Laitteen käyttöönotto on tehty helpoksi ja valmistajan verkkosivuilla on foorumi jossa käyttäjät voivat kysyä neuvoa ja keskustella projekteista. (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Raspberry Pi 3	Tekniset tiedot
Proessori	Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
RAM	1GB
Tallennustila	Micro SD korttipaikka
Liitännät:	
	BCM43438 WLAN & Bluetooth Low Energy
	40-pin GPIO
	4xUSB 2.0
	HDMI
	3.5mm stereo ja komposiittivideo liitäntä
	CSI kameraliitäntä
	DSI näyttöliitäntä
	Micro USB virtaliitäntä
Hinta	40.54€

## 2.2.2 Raspberry Pi Zero



Kuva 3. Raspberry Pi Zero (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Raspberry Pi Zero on edullisin versio Raspberry Pi sarjan tietokoneista. Sitä on saatavilla kahta eri mallia, jotka ovat muuten samanlaisia mutta Zero W malliin on lisätty WLAN ja Bluetooth Low Energy yhteydet. Raspberry Pi Zero on vain 6,5cm pitkä ja 3 cm leveä. (Raspberry Pi Foundation, 2018) Pienen kokonsa ja alle 150 mA virrankulutuksensa ansiosta Raspberry Pi Zero soveltuu erinomaisesti käytettäväksi vähäisempää laskentatehoa vaativissa ohjaus ja automaatioprojekteissa ja tarvittaessa se pystyy toimimaan pitkäänkin pelkän ulkoisen varavirtalähteen avulla. (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Raspberry Pi zero	Tekniset tiedot
Proessori	1GHz Single core
RAM	512MB
Liitännät:	
	WLAN & Bluetooth Low Energy (Zero W)
	40-pin GPIO
	Micro USB OTG
	Mini HDMI
	Komposiittivideo
	CSI kameraliitäntä
	Micro SD korttipaikka
	Micro USB virtaliitäntä
Hinta	5.30€ (Zero W 10.59€)

### 2.2.3 Raspberry Pi Compute Module 3



Kuva 4. Raspberry Pi Compute Module 3 (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Compute module 3 on teollisuuskäytön sovelluksiin kehitetty versio Raspberry Pi 3:sta. Compute module vastaa suorituskyvyltään Raspberry Pi 3 model B:tä, mutta tarjoaa muotoilunsa ja liitännöjensä ansiosta suunnittelijoille laajemmat mahdollisuuden hyödyntää sitä erilaisissa laitteistoissa ja projekteissa entistä monipuolisemmin ja avoimemmin. Compute module 3 mallissa on enemmän liitännöjä ja se on laajemmin muokattavissa kuin esikuvansa Raspberry Pi 3 model B. Muotoilultaan Compute module 3 on suunniteltu mahdollisimman kompaktiksi. Se on tarkoitettu kytkettäväksi standardoituun SO-DIMM (small outline dual in-line memory module) DDR2 liitännään. (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Compute Module 3	Tekniset tiedot
Proessori	Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
RAM	1GB LPDDR2
eMMC	4GB (CM3L mallissa vain eMMC liitäntä)
Liitännät:	(200 Pin SODIMM liittimen kautta)
	48x GPIO
	2x I2C
	2x SPI
	2x UART
	2x SD/SDIO
	1x HDMI 1.3a
	1x USB2 HOST/OTG
	1x DPI (Parallel RGB Display)
	1x NAND interface (SMI)
	1x 4-lane CSI Camera Interface
	1x 2-lane CSI Camera Interface
	1x 4-lane DSI Display Interface
	1x 2-lane DSI Display Interface
Hinta	42.90€ (CM3L 35.38€ )

## 2.2.4 Raspberry Pi Compute Module IO Board V3



Kuva 5. Raspberry Pi Compute Module IO Board V3 (Raspberry Pi Foundation, 2018)

Compute Module IO Board V3 on laajennuslevy Compute Module 3:lle. IO Board ei itsessään sisällä prosessoria vaan se toimii kehittämis- ja ohjelmointialustana Compute module 3:lle. Se on suunniteltu helpottamaan erilaisten lisälaitteiden ja anturien liittämistä testausvaiheen prototyyppieihin. Compute module kytketään IO Boardin SO-DIMM liittimeen. IO Boardin SO-DIMM liitin on valmiiksi juotettu ja kytketty piirilevylle asennettuihin standardoituihin liittimiin. IO Boardiin asennetut GPIO liittimet mahdollistavat erilaisten antureiden ja laitteiden kytkemisen Compute modulen prosessoriin juottamatta niitä kuitenkaan kiinteästi paikoilleen. Lisäksi Compute moduleen voidaan IO Boardin avulla liittää esimerkiksi HDMI näyttö, USB lisälaitteita ja MicroSD kortti. (Raspberry PI Foundation, 2018)

IO Board V3	Tekniset tiedot
Moduuli liitäntä	200 Pin SODIMM
Liitännät:	
	120-pin GPIO
	USB 2.0
	1x HDMI 1.3a
	1x 4-lane CSI Camera Interface
	1x 2-lane CSI Camera Interface
	1x 4-lane DSI Display Interface
	1x 2-lane DSI Display Interface
	Micro SD korttipaikka
	Micro USB virtaliitäntä
Hinta	203.76€

## 2.3 Ohjelmisto

Raspberry Pi:ssä käytettävät ohjelmistot ovat lähes kaikki avoimeen lähdekoodiin pohjautuvia. Avoin lähdekoodin ohjelmien voidaan katsoa saaneen alkunsa, kun Free Software Foundationin syntymisestä. Free Software Foundation (FSF) perustettiin 1985 vastalauseena maksullisille ohjelmistoille edistämään ilmaisten avoimen lähdekoodin ohjelmien yhteisöllistä kehitystä ja jakelua. FSF tukee vain täysin maksuttomia ja vapaasti käytettävän lähdekoodin ohjelmia. Vuonna 1998 The Open source Initiative (OSI) perustettiin FSF:stä irtaantuneiden kehittäjien toimesta. Open Source lisensoituissa ohjelmissa kehittäjät ja käyttäjät voivat vapaasti tarkastella ohjelmiston lähdekoodia, mutta koodin vapaa käyttö ja muokkaus saattavat olla kiellettyjä. (Free Software Foundation, 2018) (Open Source Initiative, 2018)

Nykyisin suurin osa avoimen lähdekoodin ohjelmista on yhteisöjen kehittämia ja ylläpitämiä. Lähes kaikista yleisimmin käytössä olevista maksullisista ohjelmista on kehitetty vastaavat ilmaiset avoimeen lähdekoodiin perustuvat versiot, jotta taloudelliset tekijät vaikuttaisivat mahdollisimman vähän ihmisten mahdollisuuksiin hyödyntää ja käyttää tietotekniikkaa elämässään.

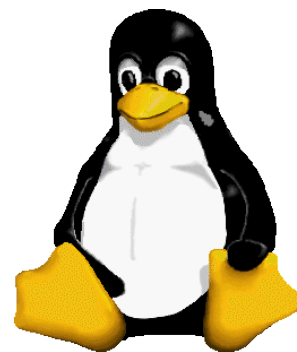
### 2.3.1 Linux

Linux sai alkunsa vuonna 1991 Helsingin yliopistossa tietotekniikka opiskelevan suomalaisen Linus Torvaldsin toimesta, kun hän alkoi harrastusmielessä kehittää uutta avoimempaa käyttöjärjestelmää tietokoneelleen. (Torvalds, 2001)

Linux on nykyään yksi maailman tunnetuimmista käyttöjärjestelmistä ja sitä käytetään esimerkiksi yritysten ja ihmisten tietokoneissa, puhelimissa, autoissa, kodinkoneissa, supertietokoneissa ja servereissä. Linuxista on saatavilla useita eri versioita jotka soveltuvat monenlaisiin käyttötarkoituksiin. (The Linux Foundation , 2018)

Suosituimmat Linux versiot	
PC	Ubuntu Linux
	Linux Mint
	Arch Linux
	Deepin
	Fedora
	Debian
Serverit	OpenSUSE
	Red Hat Enterprise Linux
	Ubuntu Server
	CentOS
Puhelimet	SUSE Enterprise Linux
	Android

Taulukko 1. ( Unsigned Integer Limited, 2018)



Kuva 6. Linux mascot Tux (Budig, 2003)

### 2.3.2 Raspbian



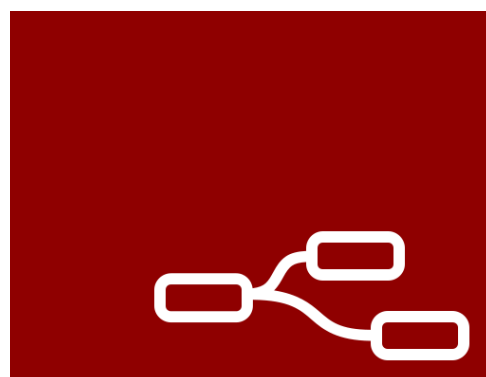
Raspbian on Raspberry Pi Foundationin virallisesti suosittelema avoimen lähdekoodin käyttöjärjestelmä. Käyttöjärjestelmä on Raspberry Pi:lle optimoitu versio Linux Debian käyttöjärjestelmästä. Käyttöjärjestelmää kehittää ja ylläpitää vapaaehtoisesti joukko yksityisiä sovelluskehittäjiä. Raspbianin asennustiedosto on kooltaan noin 4GB ja se siihen on valmiiksi esiasennettu useita opetus ja ohjelmintisovelluksia kuten Python, Scartch, Java ja Mathematica. Raspberry Pi:lle Raspbian asennetaan yleensä käyttäen NOOBS (New Out Of the Box Software) ohjelmaa, joka on Raspberry Pi:lle tarkoitettu käyttöjärjestelmän asennusohjelma. NOOBS ohjelman voi hankkia ostamalla esiasennetun NOOBS microSD kortin tai lataamalla ohjelman veloitusetta Raspberry Pin verkkosivuilta ja asentamalla sen itse tyhjälle vähintään 8Gt microSD kortille. Ohjelma sisältää esiladattuna Raspbianin sekä valikoiman ladattavia vaihtoehtoisia käyttöjärjestelmiä. Ohjelma on suunnattu aloittelijoille helpottamaan uuden Raspberry Pin käyttöönottoa ja asennusta. (Raspberry Pi Foundation, 2018)

### 2.3.3 Vuokaaviopohjainen ohjelmointi

Vuokaaviopohjaisen ohjelmoinnin kehitti 1970-luvulla J. Paul Morrison. Vuokaaviopohjaisessa ohjelmoinnissa kuvataan ohjelman toimintaa visuaalisesti toimintalohkojen verkostona. Vuokaavio koostuu useista toimintalohkoista ja niiden välisistä yhteyksistä, joita pitkin tieto kulkee ohjelman sisällä. Toimintalohkon vastaanottaessa dataa se suorittaa sille ennalta määritellyn toiminnon ja lähettää käsitellyn datan eteenpäin seuraavalle toimintalohkolle verkossa. Visusaalisen ohjelmointitapansa vuoksi vuokaaviopohjaiset ohjelmat ovat laajemman käyttäjäkunnan helpommin omaksuttavissa, ilman syvempää ohjelmoinnin ymmärrystä. Ohjelman suorittama toiminto kuvataan kaaviossa yksittäisinä vaiheina ja niiden välisenä viestintänä. (JS Foundation, 2018)

#### 2.3.3.1 Node-RED

Node-RED on JavaScriptiin pohjautuva vuokaaviopohjaisten ohjelmien ohjelmointityökalu. Node-RED sai alkunsa vuoden 2013 alussa Nick O’Learyn ja Dave Conway-Jonesin sivuprojektina heidän työskennellessään IBM:n Emerging Technology Services Group osastolla. Syyskuussa 2013 Node-RED julkaistiin GitHubissa avoimen lähdekoodin ohjelmana ja nykyisin se on yksi JS Foundationin alla kehitettävistä projekteista. (JS Foundation, 2018)



# Node-RED

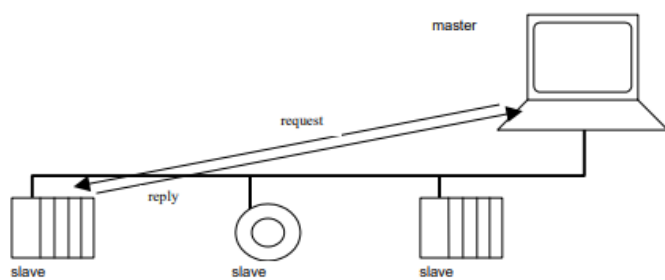
Kuva 7. Node-RED logo (JS Foundation, 2018)

### 3 MODBUS

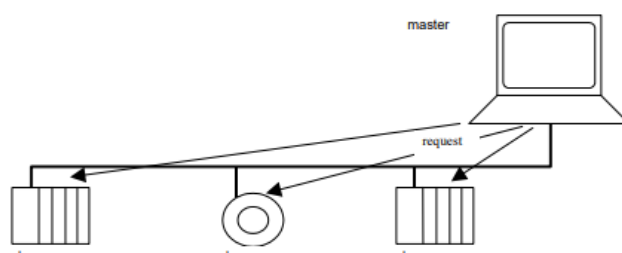
Modbus on Modiconin vuonna 1979 julkaisema ohjelmoitaville logiikoille kehitetty kommunikaatio protokolla. Protokollana Modbus on avoin eli valmistajat voivat käyttää sitä vapaasti omien tuotteidensa yhteydessä ilman että siitä täytyisi maksaa kehittäjälle lisenssimaksuja. Modbus mahdollistaa kommunikaation useiden samaan väylään kytkettyjen laitteiden välillä. Jokaiselle väylässä olevalle Modbus laitteelle on annettu yksilöllinen osoite jonka perusteella se tunnistaa sille tarkoitetut komennot. Ohjaava laite (Modbus master) lähettää komennot väylään josta kaikki laitteet vastaanottavat ne mutta vain laite jolle viesti on osoitettu suorittaa komennot. Protokollasta on käytössä 3 versiota, sarjaväylä pohjaiset RTU ja ASCII ja Ethernet pohjainen TCP/IP. (Modbus Organization , 2018)

#### 3.1 Sarjaväylä pohjainen Modbus

Modbus sarjaväylä protokolla on Master-Slaves protokolla, jossa väylään on yhdistettynä kerrallaan vain yksi ohjaava Master-laite ja 1-247 ohjattavaa Slave-laitetta. Ohjaava laite aloittaa aina kommunikaation eivätkä ohjattavat laitteet lähetä viestiä ilman ohjaavan laitteen pyyntöä. Ohjaava laite voi lähettää vain yhden viestin kerrallaan. Ohjaava laite voi lähettää viestejä ohjattaville laitteille kahdella tapaa, joko unicast moodissa jolloin pyyntö osoitetaan tietyllä osoitteella (1-247) olevalle laitteelle joka suorittaa pyynnön ja palauttaa vastauksen toiminnon suorittamisesta takaisin ohjaavalle laitteelle (Kuva 8) tai broadcast moodissa jolloin viesti lähetetään 0 osoitteella kaikille väylään kytketyille laitteille, jotka suorittavat pyydetyn toiminnon mutta eivät palauta vastausta toiminnon suorittamisesta. (Kuva 9) (Modbus Organization, 2018)



Kuva 8. Unicast moodi (Modbus Organization, 2018)

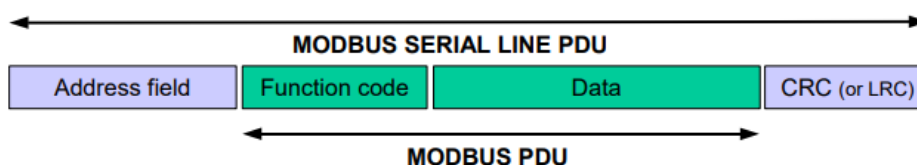


Kuva 9. Broadcast moodi (Modbus Organization, 2018)

Viestit laitteiden välillä lähetetään biteinä, jotka ovat arvoltaan ykkösiä tai nollia. Jokainen ykkös bitti muutetaan lähettäessä negatiiviseksi jännitteeksi ja jokainen nolla bitti positiiviseksi jännitteeksi. Sarjaväylän yleisimmin käytetty siirtonopeus on 9600 baudia eli bittiä sekunnissa.

Modbus viesti koostuu neljästä perättäisestä osasta (Kuva 10). Ensimmäinen osa on osoiteosa joka määrittää mille ohjattavalle laitteelle viesti on tarkoitettu. Toinen osa on toimintokoodi, joka kertoo ohjattavalle laitteelle, mikä toiminto sen tulee suorittaa. Kolmas osa on dataosio, joka kertoo ohjattavalle laitteelle tarkemmat ohjeet toiminnon suorittamiseksi. Neljäs ja viimeinen osa on tarkistusluku, joka on lähettävän laitteen viestin sisällöstä kaavan mukaan muodostama summaluku. Vastaanottava laite muodostaa vastaanottamasta viestistään saman kaavan mukaisen tarkistusluvun ja vertaa sitä alkuperäiseen viestiin liitettyyn lukuun. Mikäli luvut eivät täsmää on viestin siirrossa tapahtunut virhe

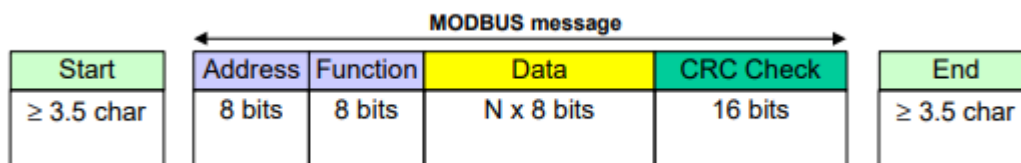
ja viestin vastaanottanut laite palauttaa ohjaavalle laitteelle virhekoodin. Modbus sarjaväyläliikenteessä on käytössä kahta eri viestintätapaa jotka määrittelevät viestin bitti-sisällön ja sen, kuinka tieto viestissä koodataan ja tulkitaan. Lähetettävä viesti muutetaan aina binäärikoodiksi jakamalla viesti binäärikoodista koostuviin paketteihin. Nämä paketit koostuvat aina aloitusbitistä, databiteistä, tarkistusbitistä ja loppubitistä. Tarkistusbitti määräytyy sen mukaan, onko paketin dataosion binäärikoodissa parillinen vai pariton määrä 1 bittejä. mikäli käytössä on yleisemmin käytetty parillinen parillisuustarkastustapa, 1 bittien määrän ollessa parillinen luku asetetaan tarkistusbitin arvoksi 0 ja määrän ollessa pariton asetetaan arvoksi 1. Parittomassa parillisuustarkistustavassa arvot asetetaan päinvastoin. Kaikki sarjaväylään kytketyt laitteet pitää olla määritetty käyttämään samaa viestintä- ja parillisuustarkistustapaa (Modbus Organization, 2018)



Kuva 8. Sarjaväyläpohjaisen viestin rakenne (Modbus Organization, 2018)

### 3.1.1 RTU

RTU (Remote Terminal Unit) viestintätavassa jokainen viestin tavu muutetaan kahdeksi 4 bittiseksi hexadesimaali merkiksi, jotka lähetetään binäärikoodina lisäten jokaisen tavun eteen aloitusbitti ja perään tarkistusbitti sekä lopetusbitti. Viestintätavan mukainen viesti koostuu taukojen lisäksi Modbus viestirakenteen mukaisesti neljästä osasta: yhden tavun kokoisista osoitteesta ja toimintokoodista, 0-252 tavun dataosasta sekä 2 tavun tarkistusluvusta (Kuva 11). Koko viesti lähetetään yhtenä yhtäjaksoisena merkkijonona ja vastaanottava laite tunnistaa viestin päättymisen ja uuden alkamisen viestien väliin jätettävästä vähintään 3.5 merkin mittaisesta tauosta. Mikäli viestin lähetys häiriintyy ja viestiin tulee yli 1.5 merkin mittainen tauko ennen tarkistusluvun vastaanottamista tulkitsee vastaanottava laite viestin virheelliseksi ja palauttaa lähettäjälle virhekoodin. (Modbus Organization, 2018)



Kuva 9. RTU viestin rakenne (Modbus Organization, 2018)

### 3.1.2 ASCII

ASCII (American Standard Code for Information Interchange) viestintätavassa jokainen viestin tavu muutetaan kahdeksi 4 bittiseksi hexadesimaaliksi jotka muutetaan vastaaviksi ASCII merkeiksi. viestin sisältö lähetetään binäärikoodina yhden ASCII merkin koodi kerrallaan lisäten eteen aloitusbitti ja perään tarkistusbitti ja lopetusbitti. ASCII viestintätavan viesti koostuu aloitus- ja lopetusmerkkien lisäksi Modbus viestirakenteen mukaisesti neljästä osasta, aloitusmerkistä, kahden merkin pituisesta osoitteesta ja toimintokoodista, 0-504 merkkisestä dataosasta, kahden merkin pituisesta tarkastusluvusta ja kahdesta lopetusmerkistä (Kuva 12). ASCII viestin ei tarvitse saapua perille yhtenäisenä ja tauotomana merkkijonona, sillä ASCII viestintätapa käyttää viestin alun ja lopun määrittämiseen aloitusmerkkiä ja lopetusmerkkejä tauon sijaan. ASCII viestintätapa on RTU tapaa tehottomampi, sillä ASCII

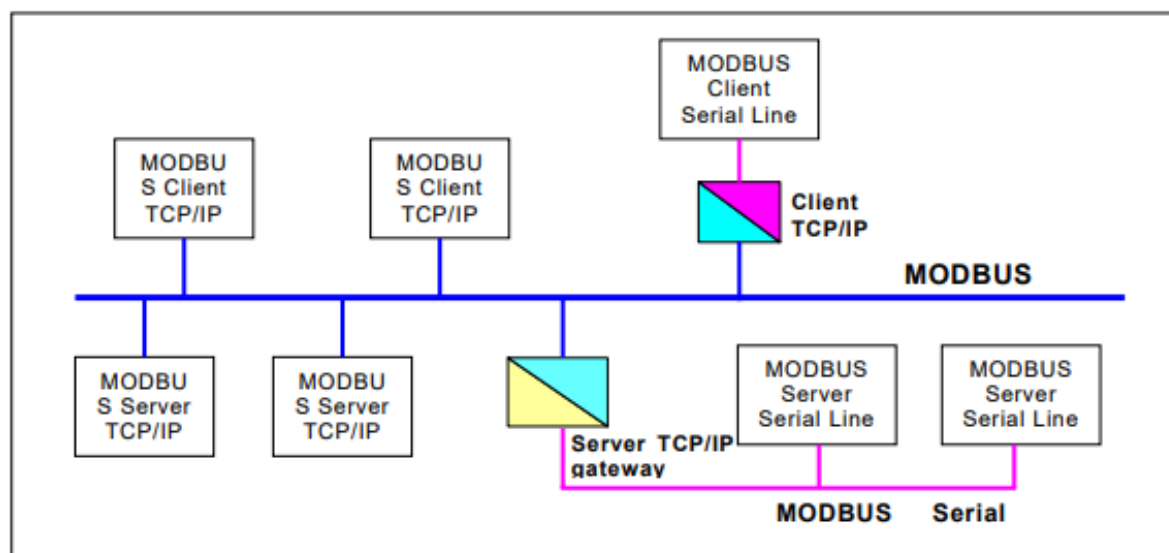
viestintätavassa jokaisen tavun lähettämiseksi vaaditaan kahden ASCII merkin lähettämistä. (Modbus Organization, 2018)

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char :	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

Kuva 10. ASCII viestin rakenne (Modbus Organization, 2018)

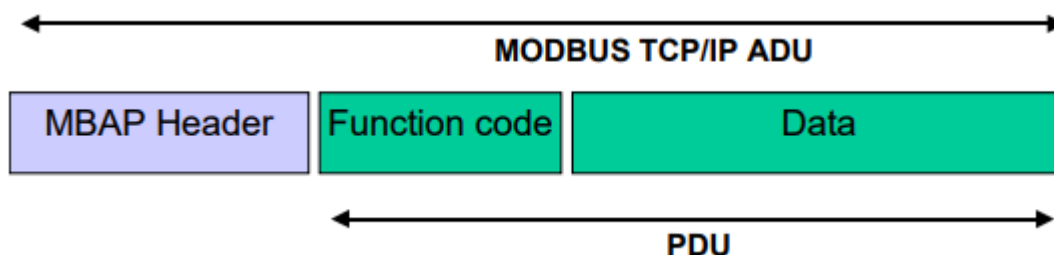
### 3.2 Modbus TCP/IP

Ethernet verkkoon pohjautuva Modbus TCP/IP on sarjaväyläpohjaisia RTU ja ASCII versioita monipuolisempi. Modbus TCP/IP järjestelmään voi kuulua ohjaavien Client laitteiden ja ohjattavien Server laitteen lisäksi myös reitittämiä ja kytkimiä sekä Modbus sarjaväyläpohjaisten RTU ja ASCII laitteiden liittämisen mahdollistavia gateway laitteita. (Kuva 13) (Modbus Organization, 2018)



Kuva 11. Modbus TCP/IP järjestelmä (Modbus Organization, 2018)

TCP/IP viestinnässä ohjaava laite muodostaa käskyn joka koostuu kolmesta osasta. Ensimmäinen osa on MBAP (Modbus Application Protocol) Header, joka koostuu käskyn yksilöllisestä tunnisteesta, Modbusin protokolla tunnisteesta (0), viestin pituustiedosta ja vastaanottavan laitteen tunnisteesta. Vastaanottavan laitteen osoite määritellään MBAP Headeriin vain, mikäli halutaan viestiä sarjaväyläpohjaisille Slave laitteille gatewayn läpi, muuten laiteentunniste on oletusarvoisesti nolla. Toinen ja kolmas osa ovat Modbus protokollan mukaiset toimintokoodi ja dataosio. (Kuva 14) (Modbus Organization, 2018)



Kuva 12. TCP/IP viestin rakenne (Modbus Organization, 2018)

Muodostuksen jälkeen käsky siirretään TCP (Transfer Control Protocol) yhteyshallintamoduulille. Yhteydenhallintamoduuli avaa yhteyden ohjattavan laitteen porttiin 502 IP osoitteen perusteella. Kun yhteys on muodostettu, viesti lähetetään TCP standardin mukaisessa muodossa ohjattavalle laitteelle, joka vastaanottaa viestin ja tulkitsee sen sisällön. Vastaanottava laite vertaa viestin MBAP Headerin pituustietoa vastaanotettuun viestiin ja palauttaa virhekoodin, mikäli pituus ei täsmää. Laite palauttaa ohjaavalle laitteelle uudella pituustiedolla varustetun viestin käskyn vastaanottamisesta kopioiden käskyn tunnisteeseen, protokolla tunnisteeseen, vastaanottavan laitteen osoitteen alkuperäisestä viestistä. Palautettavan viestin pituus riippuu palautettavasta viestisisällöstä. Normaalitilanteessa viestin vastaanottanut laite palauttaa käskyn alkuperäisessä muodossaan takasin, mutta vikatilanteessa palautetaan alkuperäinen toimintokoodi +0x80 ja virheen määrittelevä virhekoodi (Kuva 15). (Modbus Organization, 2018)

Exception Code	MODBUS name	Comments
01	Illegal Function Code	The function code is unknown by the server
02	Illegal Data Address	Dependant on the request
03	Illegal Data Value	Dependant on the request
04	Server Failure	The server failed during the execution
05	Acknowledge	The server accepted the service invocation but the service requires a relatively long time to execute. The server therefore returns only an acknowledgement of the service invocation receipt.
06	Server Busy	The server was unable to accept the MB Request PDU. The client application has the responsibility of deciding if and when to re-send the request.
0A	Gateway problem	Gateway paths not available.
0B	Gateway problem	The targeted device failed to respond. The gateway generates this exception

Kuva 13. Modbus virhekoodit (Modbus Organization, 2018)

## 4 SUUNNITTELU

Projektin suunnittelu alkoi tilaajan kanssa pidetystä aloituspalaverista helmikuussa 2018. Opinnäytetyön tai sen tuloksena toteutettavan keskuksen sisältöä ei vielä tuolloin haluttu rajata vaan aiheen ja sisällön rajaukset tarkentuisivat suunnittelun edetessä. Suunnittelu alkoi välittömästi käytettävissä olevan ajan määrittelemisellä ja aikataulun laatimisella, jotta pystyttäisiin muodostamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kokonaiskuva opinnäytetyöhön käytettävissä olevista resursseista ja tätä kautta myös aikataulun asettamat rajat projektin kokonaislaajuudelle.

### 4.1 Aikataulu

Aikataulullisesti toteutus rajattiin alustavasti viikkojen 7 ja 16 väliselle ajalle jolloin projektiin oli laskennallisesti normaalien viikkotyötuntien mukaan käytettävissä yhteensä 400 työtuntia. Alustavassa aikataulussa projektin määrittelyyn varattiin 30 tuntia, suunnitteluun 65 tuntia, ohjelmointiin 106 tuntia, laitteiston toteutukseen 47 tuntia, laitteiston testaukseen ja luovutukseen 24h ja raportin laatimiseen sekä taustatyöhön yhteensä 128 tuntia. (Kuva 16)

Viikko	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Yhteensä (h)
Pvm	12-18.2.	19-25.2.	29.2-4.3.	5-11.3.	12-18.3	19-25.3	26.3-1.4.	2-8.4.	9-15.4	16-22.4	
Taustatyö	10	10	5								25
Määrittely	25	5									30
Suunnittelu		20	30	15							65
Ohjelman toteutus				20	38	13	20	15			106
Laitteiston toteutus						22	10	15			47
Testaus ja luovutus							8	6	5	5	24
Dokumentointi	5	5	5	5	2	5	2	4	35	35	103
Viikkotyötunnit	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	400

Kuva 14. Alkuperäinen aikataulu

### 4.2 Määrittely

Laitteiston kokoonpanon ja toiminnan määrittely lähti liikkeelle aloituspalaverissa tilaajan toiveesta saada älykäs ja kompakti esittelylaitteisto joka esittelisi mahdollisimman laajasti yrityksen tarjoamia tuotteita ja niiden ominaisuuksia. Valmiiseen keskukseen haluttiin sisällyttää ainakin yrityksen tarjoamat ratkaisut tehonjakelun, 24V kuormasuojan, releiden, riviliittimien ja keskuskalusteiden osalta sekä etä-IO ja HMI paneeli. Ohjaavana laitteena päätettiin käyttää Raspberry Pi tietokonetta sen helpon ohjelmitavuuden ja monipuolisten toimintojen vuoksi. Väyläratkaisuksi keskukseen valittiin avoimen protokolan Modbus TCP/IP, joka toimii sujuvasti Ethernet-verkon yli mahdollistaen keskuksen etäohjauksen myös WLAN verkosta. Laitteistoon haluttiin sisällyttää mahdollisimman runsaasti asiakkaille esiteltäviä älykkäitä toimintoja releidenohjauksen ja laitteiston sisäisen hallinnan muodossa.

Projektin edetessä työhön päätettiin lisätä myös yrityksen Ethernet-tuotteet VPN toiminnolla, huolto-liittymä, erilaisia liitinratkaisuja sekä analoginen virtamittari, joilla laitteiston esiteltävien komponenttien ja toimintojen määrää saatiin laajennettua entisestään.

### 4.3 Laitteiston suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin listaamalla keskukseseen käytettävät tuotteet ja niiden mahdollistamat toiminnallisuudet. Laitteiden asettamat vaatimukset tehonsyötön ja väyläratkaisujen osalta määrittivät tarkemmin laitteiston lopullisen kokoonpanon, myös kotelon koko valittiin laitteiston lopullisen kokoonpanon vaatiman tilantarpeen mukaan. Tilankäytön tehostamiseksi HMI päätettiin sijoittaa erilliseen koteloon, jolloin tarjoutui myös mahdollisuus esitellä yrityksen tarjoamia erilaisia liitin tuotteita.

#### 4.3.1 Piirustukset

Keskuksen piirustukset laadittiin käyttäen CADS electric pro-ohjelmistoa, joka on sähkösuunnitteluun tarkoitettu kotimaisen Kymdata Oy:n valmista ohjelma. Keskuksen piirustusten piirtäminen aloitettiin laiteluettelon pohjalta. Ensimmäisenä laadittiin Excel taulukkomuotoinen johdotuslista, josta selviää laitteiston sisäiset kytkennät ja niihin käytettävät johtimet virranjaon, ohjaussignaalien ja väylän osalta. Kuvien piirtäminen aloitettiin laatimalla johdotuskaavio, jossa esitetään keskuksen sisäinen virranjako visuaalisessa muodossa ilman kaapelityyppejä. Tämän jälkeen laadittiin keskuslayout kuvat, joista selviää laitteiden sijoittelu koteloon sekä johtokourujen ja läpivientien paikat. Lopuksi laadittiin ohjausvirtapiiristä piirikaavio ja väyläkaapeloinnista väyläkaavio joissa kuvataan loput keskuksen sisäiset kytkennät. Piirustuksia päivitettiin aktiivisesti projektin edetessä. Muutoksia tehtiin muutamien komponenttien vaihtuessa toimitusongelmien vuoksi ja liittimien paikkoja säädettiin asennusteknisistä ja visuaalisista syistä. Valmiit piirustukset ovat tämän dokumentin liitteinä (LIITE 1-8).

Piirustuksia laatiessa noudatettiin keskuksen dokumentoinnista annettuja standardeja ja määräyksiä.

#### 4.3.2 Laitteiston toimintakuvaus

Laitteiston toiminta suunniteltiin alustavasti siten, että ohjaavalla tietokoneella pyörivästä Node-RED pohjaisesta käyttöliittymässä annetut käskyt lähetetään Modbus väylän kautta U-remote etä-IOLle joka muuttaa käskyt ohjattaville laitteille vietäväksi 24V jännitesignaalksi. Laitteiden toimintaa indikoivat viestit taas kulkevat 24V jännitesignaalina U-remotelle, joka muuttaa vastaanotetun signaalin Modbus viestiksi ja palauttaa sen ohjaavalla tietokoneelle joka näyttää arvon muutoksen käyttöliittymässä. Kaikki laitteiston toimintaa ohjaavat ja toiminnasta kertovat signaalit sisällytettiin osaksi käyttöliittymää. Laitteiston toimintaa ja ohjausta käsitellään tarkemmin kohdassa 7 Ohjelmointi ja konfigurointi.

## 5 LAITTEET JA KOMPONENTIT

Laitteita ja komponentteja valittaessa käytettiin mahdollisimman paljon yrityksen omia tuotteita ja ratkaisuja. Ainoastaan Johdonsuojakatkasija, Raspberry Pi ja tämän virtalähde sekä kytkentään käytetyt johtimet hankittiin ulkopuoliselta toimittajalta. Keskuksessa käytettäviksi laitteiksi ja komponenteiksi valittiin ominaisuuksiltaan mahdollisimman monipuolisia ja yrityksen tuotesarjoja parhaiten edustavia malleja.

### 5.1 Kotelointi ja liittimet

Projektin varsinaiseksi koteloksi valikoitui Weidmüllerin valikoimista Klippon TB sarjan 762\*508\*200mm ruostumattomasta teräksestä valmistettu salpalukittava kotelo. HMI:lle koteloksi valittiin samaan mallisarjaan kuuluva 306\*306\*200 ruuvilukittava kotelo. Keskuksen kylkeen sijoitettiin IP68 luokitettu metallikantinen lukittava FrontCom Vario huoltoliittymä, jossa on keskuksen huoltoa varten 230V maadoitettu pistorasia ja keskuksen verkkoon yhteydessä oleva RJ45 liitäntä. Keskuksen syöttö toteutettiin syöttökaapelin osalta käyttäen IP 68 luokitettua ruostumattomasta teräksestä valmistettua M25 koon kaapeliläpivienttiä ja Ethernet-liitännän osalta käyttäen FrontCom Micro RJ45 liittintä. Keskuksen ja HMI kotelon välisen tehonsyötön ja väyläliikenteen kohdalla päädyttiin käyttämään kaapeleita ja RockStar HDC- sekä M12 X type cat 6a- liittimiä. Keskuksessa johtokouruina käytettiin Weidmüllerin 40\*40mm kourua, syöttökaapelin ja maadoituksen toteuttamisessa riviliittiminä toimivat Klippon A sarjan liittimet. Johtimien, kaapeleiden sekä laitteiden merkinnöissä käytettiin Weidmüllerin valikoimista löytyviä tuotteita ja tulostimia.

#### 5.1.1 Kotelot

Klippon® TB sarjan kotelot on valmistettu elektrolyyttisesti kiillotetusta ruostumattomasta teräksestä. Kotelon kansi ja läpivientilevyt on tiivistetty silikonisilla tiivisteillä ja ne soveltuvat käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. Rakenteeltaan ja pinnoitukseltaan kotelot ovat muokattavissa asiakkaan tarpeiden mukaisesti ja ne täyttävät IP 66 kotelointiluokan asettamat vaatimukset. Kotelointia on saatavissa kolmella erilaisella lukitusvaihtoehdolla, joista jokaisesta on saatavilla 12 eri kokoa 3 vakio-syvyydellä. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 15. Klippon® TB kotelo  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)



### 5.1.2 Liittimet ja läpiviennit



Kuva 16. A4C 2.5 riviliitin  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Keskuksen syötössä käytetyt Klippon A-sarjan A4C 2.5 riviliittimissä on neljä sisäisesti yhteen kytkettyä 2,5mm<sup>2</sup> johtimille tarkoitettua PUSH-IN liitäntäpistettä ja ne on mitoitettu käytettäväksi maksimissaan 800V jännitteellä ja 24A virralla. Riviliittimiä on asennettu keskukseseen yhteensä 3 kappaletta eri väreissä, vaihejohtimen, nollajohtimen ja PE-johtimen kytkentää varten. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 17. A4C 2.5 PE riviliitin  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Keskuksen maadoituksessa käytetyissä Klippon sarjan maadoitusriviliittimissä on neljä sisäisesti yhteen kytkettyä 2,5mm<sup>2</sup> johtimille tarkoitettua PUSH-IN liitäntäpistettä. Liitäntäpisteiden lisäksi maadoitusriviliitin kytkeytyy kiinnitys rakenteensa kautta DIN kiskoon maadoittaen keskuksen rungon samaan potentiaaliin. Liittimet on yhdistetty johtimella keskuksen syötön maapotentiaaliin. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Keskuksen kylkeen asennettu huoltoliittymä on FrontCom® Vario sarjan modulaarinen ratkaisu. Huoltoliittymässä on 230V maadoitettu pistorasia huoltolaitteen syöttöä varten ja RJ45 liitin joka on kytketty keskuksen sisäisen LAN verkkoon. FrontCom® Vario sarjan huoltoliittymät ovat modulaarisia ja niihin voidaan asentaa useita erilaisia data, signaali ja tehonsyöttö moduuleita asiakkaan tarpeiden mukaisesti. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 18. FrontCom® Vario  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Keskuksen WAN-verkkoon liittämiseksi asennettu FrontCom micro sarjan RJ45 liitäntä edustaa FrontCom micro sarjan huoltoliittymiä. Liittymät on suunniteltu tarjoamaan keskuksen huoltoa varten kompakti ja helppo liityntäpiste. Liittymiä on saatavilla USB ja RJ45 versioina useina erilaisina malleina. Liittymän ollessa poissa käytöstä täyttää liittymä tulpattuna IP67 kotelointiluokan ja soveltuu näin ollen käytettäväksi haastaviin ja korkeisiin kotelointiluokkaa vaativiin asennuksiin. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 19. FrontCom® Micro  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Keskuksen ja HMI-koteloinnin välisen tietoliikenteen toteuttamisessa käytetyt M12 X type cat 6a liittimet ovat teollisuuden tiedonsiirtoratkaisuissa yleisesti käytettyjä IP 67 luokitettuja liittimiä. Liittimet muuntavat keskuksen sisäisen RJ45 liitännän M12 x tyyppin liitännäksi mahdollistaen jopa 10 Gigabitin Ethernet-yhteyden kohteiden välillä. Kaapelin urosliitin kiinnittyy kotelon naarasliittimeen kierteillä estäen kaapelin tahattoman irtoamisen. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 20. M12 X type Cat 6a liitin  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

## 5.2 Tehonsyöttö

Keskuksen syöttö verkosta toteutettiin pistotulppaliitännäisellä kumikaapelilla ABB:n 10A C käyräisen johdonsuojakatkaisijan kautta virtalähteelle ja FrontCom vario huoltoliittymälle. Tasajännitepuolen virtalähteenä käytettiin yksivaiheista PROtop sarjan 24V 240W virtalähdettä ja laitteiston syöttö varmennettiin UPS hallintayksiköllä ja 1.3Ah akulla. Lisäksi tasajännitepiiriin asennettiin potentiaalinjakoja ja suojausta varten maxGUARD kuormasuoja erotuskytkimillä. Raspberry Pi:n vaatima 5V syöttö toteutettiin varmennetusta syötöstä Omronin S82S-7705 7.5W 24V/5V DCDC hakkurilla.

### 5.2.1 ABB S201-C10 Johdonsuojakatkaisija



Keskuksen pääkytkimenä, ylikuormitus ja oikosulkusuojanan 230V puolella toimii DIN kiskoon kiinnitettävä ABB s201-C10 johdonsuojakatkaisija. Johdonsuojakatkaisija on luokitettu katkaisukyvyiltään jopa 10kA virralle jännitteen ollessa 230V ja se kestää 4kV syöksyjännitteen. C-käyräinen suoja on tarkoitettu käytettävästi suuren kytkentävirran laitteiden johtojen suojaukseen ja se kestääkin hetkellisesti yli 5 kertaisen kuormitusvirran sähkömagneettisen laukaisun reagoimatta ja termisen laukaisun asettelu mahdollistaa tilapäisesti jopa tunnin mittaisen 1.45 kertaisen kuormituksen suojauksen laukeamatta. Kuitenkin oikosulkuvirran ylittäessä 10 kertaisesti nimellisvirran arvon suoja katkaisee syötön alle 100 millisekunnissa suojaten laitteistoa näin tehokkaasti oikosulun aiheuttamilta vaurioilta. (ABB, 2018)

Kuva 21. S201-C10  
(ABB, 2018)

### 5.2.2 PROtop

Keskuksen pääasiallisena virtalähteenä toimii PROtop sarjan 10A 240W malli. Virtalähde on yksivaiheinen 230VAC/24VDC virtalähde, joka kykenee tarvittaessa tuottamaan 1.3 kertaisen tehon käyttölämpötilan ollessa alle 40 astetta. Diagnostiikkaa varten virtalähteessä on sisäänrakennettuna normaalisti avoimena oleva rele, joka sulkeutuu normaalin toiminnan aikana ja avautuu vikatilanteessa. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



PROtop 240W	Tekniset tiedot
Input	
Voltage	100...240V AC/ 120...340V DC
Inrush current	max 5A
Output	
Voltage	22.5...29V DC
Current	10A
Efficiency	92.5%
Protection degree	IP 20
Short-circuit protection	Internal
Operating tempature	-25 °C...75 °C

Kuva 22. PROtop 240W  
(Weidmüller Interface GmbH,  
2018)

## 5.2.3 UPS

Tehonsyöttö 24V tasajännitepiirin puolella on varmennettu käyttäen CP DC UPS 24V 20A/10A tyyppin UPS-hallintayksikköä ja CP A BATTERY 24V DC1.3AH tyyppin akkumoduulia. Normaalisissa käyttötilanteissa virtalähde syöttää UPS-hallintayksikköä joka vuorostaan syöttää kuormaa samalla varastoiden osan energiasta akkumoduuliin. Syötön katketessa UPS-hallintayksikkö alkaa automaattisesti purkaa varastoitua energiaa laitteiston käyttöön. CP DC UPS 24V 20A/10A hallintayksikkö on tarkoitettu käytettäväksi 10 ja 20A kuormilla soveltuvan akku moduulin kanssa. Hallintayksikkö on varustettu sisäisellä oikosulkusuojauksella ja diagnostiikkatietoa varten olevilla liitännöillä. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 23. UPS-hallintayksikkö  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

UPS control unit	Tekniset tiedot
Input	
Voltage	24VDC
Input current	max 28A
Output	
Voltage (Load)	24V DC $\pm$ 1 %
Voltage (Battery)	27V DC
Current (Load)	max 24A
Current (Battery)	0.15 A
Efficiency	96%
Protection degree	IP 20
Short-circuit protection	Internal
Operating temperature	-25 °C...75 °C

1.3Ah akku moduuli on varustettu huoltovapaalla AGM lyijyakulla, sisäänrakennetulla lämpötila-anturilla ja vaihdettavalla 15A sulakkeella. Täyteen varautuneena akku kykenee syöttämään kuormattavaa laitteistoa 180sekuntia täydellä 10A purkuvirralla ja noin 6 minuuttia normaalikäytössä. Akun kapasiteetti mahdollistaa järjestelmän hallinnan säilyttämisen ja turvallisen alasajon yllättävissä vikatilanteissa. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 24. Akku-moduuli  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Battery	Tekniset tiedot
Input	
Voltage	24VDC
Input current	max 0.2A
Output	
Voltage	24V DC $\pm$ 1 %
Current	max 15A
Capacity	1.3Ah
Protection degree	IP 20
Short-circuit protection	15A
Temperature probe	NTC 100 kΩ
Operating temperature	0 °C...40 °C

### 5.2.4 Omron S82S-7705

Keskukseksa Raspberry Pi:n virtalähteenä on Omronin S82S sarjan DIN kiskoon kiinnitettävää 7.5W DCDC virtalähde. Virtalähde tuottaa tasajännitepiirin 24V jännitteestä Raspberry Pi:n tarvitseman 5V DC jännitteen ja 1.5 ampeerin virran. Virtalähde on varustettu automaattisesti palautuvalla ylikuormitussuojalla. (OMRON Corporation, 2018)

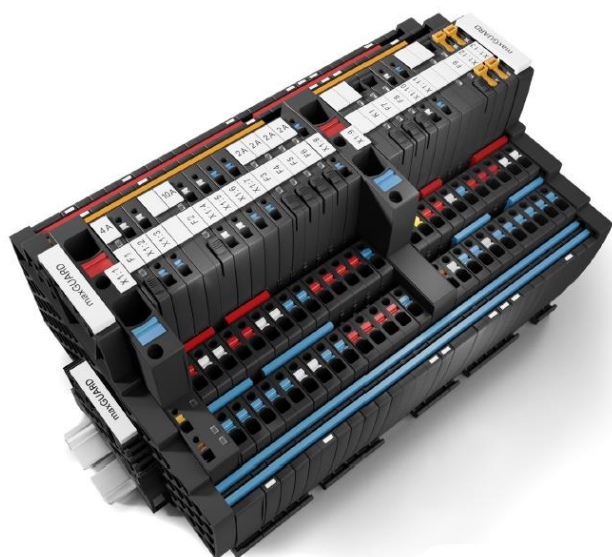


Kuva 25. 5.2.4 Omron S82S-7705  
(OMRON Corporation, 2018)

Omron S82S-7705	Tekniset tiedot
Input	
Voltage	10.2...27.6V DC
current	max 1.2A
Output	
Voltage	5V DC
Current	1.5A
Efficiency	> 66%
Protection degree	IP 20
Overload protection	Internal
Operating tempature	0°C...50 °C

### 5.2.5 maxGUARD kuormasuojaja

Tasajännitepiirissä kuormasuojana ja potentiaalinjakopisteenä toimii maxGUARD järjestelmä, joka koostuu säädettävistä ylikuormitussuojamoduuleista, erotuskytkinmoduuleista ja syöttömoduulista sekä hallintamoduulista. Järjestelmää syötetään UPS-hallintayksiköstä syöttömoduulin kautta. Yksittäiset kuormasuojamoduulit on säädetty kytkettävän laitteen tehontarpeen mukaisesti ja ne suojaavat järjestelmää ylikuormitus tilanteissa. Hallintamoduuli tarjoaa kytkentäpisteet maxGUARD järjestelmän sisäiseen väylään, jonka kautta saadaan digitaalisena signaalina ennakkovaroitus kuorman ylittäessä 90% nimellisestä kuormituksesta sekä ilmoitus kuormasuojien laukeamisesta. Väylään syötetyn digitaalisen signaalin avulla pystytään myös nollaamaan lauennet kuormasuojat sekä katkaistaan syöttö kaikilta järjestelmään kytketyiltä laitteilta. Järjestelmään asennetut erotuskytkinmoduulit mahdollistavat yksittäisen laitteen täydellisen erottamisen syötöstä vianetsintää ja huoltoa varten. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 26. maxGUARD kuormasuojaja  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

## 5.3 Väyläratkaisut

Väyläratkaisuksi valitun Modbus TCP/IP väylän lisäksi haluttiin toteuttaa keskukselle oma sisäverkko, ja yhteys Ethernet verkkoon jonka kautta laitteistoon saataisiin yhteys myös ulkopuolista etähallintaa varten. Keskukseen valittiin Weidmüllerin valikoimista VPN valmiudella oleva IE-SR-2GT-UMTS/3G reititin, IE-SW-VL08-8GT kytkin ja IE-WL-BL-AP-CL-EU WLAN yhteyspiste.

### 5.3.1 Reititin

Reitittimeksi keskukseseen valittu IE-SR-2GT-UMTS/3G teollisuuskäytön reititin tukee Gigabit Ethernet ja 3G mobiiliyhteyttä. Reitittimessä on sisäänrakennettu palomuuuri ja valmius VPN yhteyteen sekä Weidmüllerin oman U-Link palvelun, että OpenVPN palvelun kautta. Lisäksi reitittimessä on valmius Modbus-TCP serverille, jonka kautta laitteen toimintaa voidaan teollisuusverkossa valvoa ja ohjata. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Router	Tekniset tiedot
Input	
Voltage	24VDC
Input current	0,6A
Supports	
	UMTS/3G
	Gigabit Ethernet
	VPN
	Modbus-TCP
	IPv4
	u-link
Protection degree	IP20
Operating tempature	-20 °C...70 °C

Kuva 27. Reititin

(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

### 5.3.2 Kytkin

Keskuksen sisäisen verkon kytkentäpisteeksi valittiin Weidmüllerin valikoimista IE-SW-VL08-8GT kytkin. Kytkin on hallintaominaisuuksiltaan "Unmanaged" -mallia, eli se on asetettu automaattisesti välittämään eteenpäin kaiken sille tulevan verkon sisäisen viestinnän. Kytkin toimii laitteistossa verkon tähtipisteinä, jonka kautta kaikki keskuksen laitteet on kytketty toisiinsa. Valittu malli on varustettu kahdeksalla RJ 45 liitännällä jotka tukevat 1000Mbs siirtonopeutta. Kytkin on varustettu sisäänrakennetulla diagnostiikkareleellä, jonka avulla laitteelta saadaan vikatilanteessa tieto signaalijohtimen avulla etä-IOlle. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 28. Kytkin  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

### 5.3.3 WLAN

Laitteiston hallinta haluttiin mahdollistaa myös mobiililaitteilla langattoman verkon yli. Keskuksen valittiin IE-WL-VL-AP-BR-CL-EU WLAN yhteyspiste, joka tukee yleisimmin käytössä olevia IEEE 802.11 a/b/g/n protokollia. Yhteyspiste on IP 30 suojausluokitettu ja on suunniteltu kestävään teollisuusympäristön jopa 60 asteen käyttölämpötilat ja 95% ilmankosteuden. Langaton tiedonsiirto tapahtuu 2.4GHz taajuudella ja se on suojattu vahvalla WPA2 salauksella. Keskuksen oma WLAN verkko mahdollistaa tarvittaessa myös tietokoneen yhdistämisen langattomasti huoltoa varten. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 29. WLAN yhteyspiste  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

### 5.4 U-remote

Laitteistossa Modbus serverinä toimii Weidmüllerin u-remote etä-IO Modbus kytkinlaitteella. U-remote koostuu väylän kytkinlaitteesta, johon on liitetty erilaisia analogisia ja digitaalisia IO-kortteja. u-remotea on saatavilla IP20 (Kuva 32) ja IP67 luokitettuna sekä useilla erilaisilla IO-korteilla. u-remoten IO-kortit ovat rakenteeltaan modulaarisia jolloin vikatilanteessa niiden vaihtaminen tai huolto on vaivatonta, eikä vaadi järjestelmän sammuttamista huollon ajaksi. Kytkinlaitteita on saatavilla kaikille yleisimmin käytössä oleville väyläratkaisuille. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 30. u-remote IP20 (Weidmüller Interface GmbH, 2018)

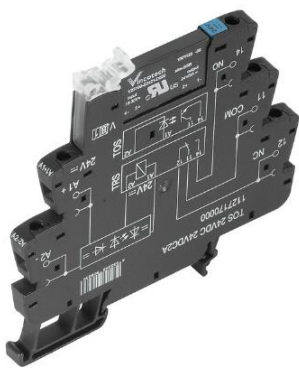
## 5.5 U-view

Laitteiston hallintaa ja käyttöä varten valittiin kapasitiivinen 10" UV66-ADV-10-CAP-W kosketusnäyttöpaneeli (Kuva 33). U-view paneeli edustaa Weidmüllerin uusimpia lisäyksiä u-mation tuoteperheeseen. Paneelissa on sisäänrakennettu tietokone, joka on varustettu 1GB ram muistilla ja 1GHz ARM Cortex A9 Prosessorilla. Laite liitetään RJ45 liittännän kautta keskuksen sisäverkkoon. Paneelissa on esiasennettuna linux pohjainen käyttöjärjestelmä ja HTML5 selain. Avoimen lähdekoodin käyttöjärjestelmä ja HTML5 selain tekevät paneelista valmistajariippumattoman, eli se sopii käytettäväksi laajasti eri valmistajien tuotteiden kanssa erilaisissa automaattioratkaisuissa ja sovellutuksissa. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)



Kuva 31. u-view 10" HMI (Weidmüller Interface GmbH, 2018)

## 5.6 Releet



Keskuksessa esiteltäväksi valittiin TERMSERIES sarjan solid-state releet. Solid-state releet ovat äänettömiä perinteisiin mekaanisiin releisiin verrattuna ja soveltuvat siksi erinomaisesti käytettäväksi nopeita kytkentätoimintoja esittelevässä laitteessa. Solid-state releet toteuttavat kytkentätoiminnon puolijohdekomponentin avulla ja ne kykenevät erittäin nopeisiin jopa alle 12ms kytkentätoimintoihin. Valitut releet on suunniteltu kestämään 230v 1A jatkuvan kuorman. Keskuksessa Releitä ei kuitenkaan ole kytketty ohjaamaan mitään kuormaa vaan kytkentätoimintoa indikoi releen sisäänrakennettu ledi. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Kuva 32. TERMSERIES rele  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

### 5.6.1 Adapterit ja kaapelointi



Releiden kytkennästä haluttiin tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja siistin näköinen. Tähän tarkoitukseen valittiin TIAL-F20 adapteri ja PLC liitäntäinen valmiskaapeli. Adapteri asetettiin releiden ohjausliitäntöihin ja kytkettiin etä-IOn PLC liitännällä varustettuun digitaaliseen ulostulokorttiin. Adapteri tukee kaikkia TERMSERIES sarjan 6.4mm leveitä releitä. Adapterin avulla saadaan liitettyä kerrallaan 16 relettä yhteen ulostulokorttiin. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Kuva 33. TIAL-F20  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

## 5.7 Virtamittari



Keskuksen kuluttamaa virtaa haluttiin tarkkailla reaaliajassa ja keskukseseen asennettiin ACT20P-CMT-30-AO-RC-S virtamittari. Mittari mittaa keskuksen syöttöpuolen DC johtimen virtaa induktion avulla ja muuntaa sen 4-24mA virtaviestiksi. Valittu virtamittari on tarkoitettu mittaamaan AC ja DC virtaa aina 30A asti. (Weidmüller Interface GmbH, 2018)

Kuva 34. ACT20P virtamittari  
(Weidmüller Interface GmbH, 2018)

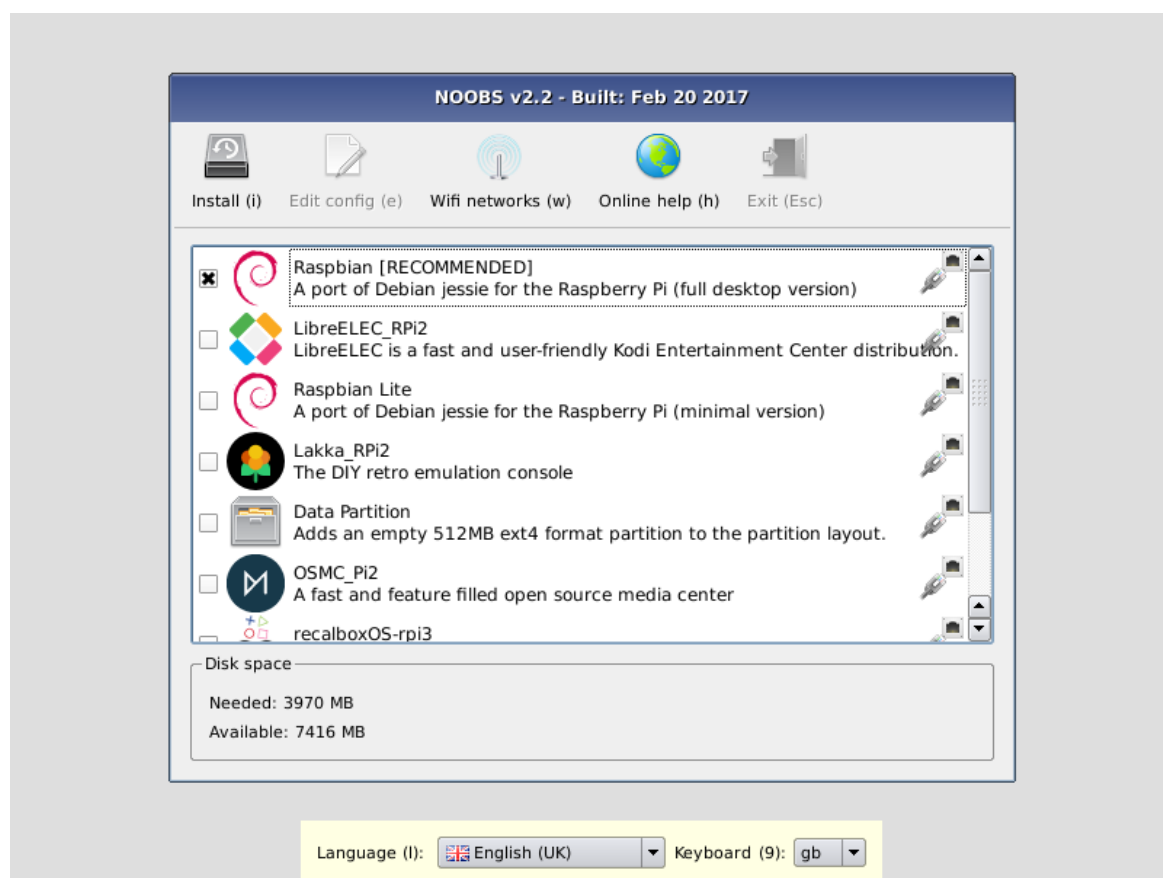


## 6 SOVELLUKSET JA ASENNUS

Laitteiston ohjelmistollinen toteuttaminen aloitettiin asentamalla ohjavana laitteena toimivaan Raspberry Piin Raspbian käyttöjärjestelmä sekä laitteiston hallintaan käytettävän ohjelman vaatimat Node-RED ohjelmointiympäristö ja laajennukset. Tämän lisäksi laitteiston ohjelman toteuttamiseksi ja sen ohjelmoinnin helpottamiseksi asennettiin pöytätietokoneelle Node-RED ohjelmointiympäristö ja sen vaatimat laajennukset. Asennukset toteutettiin käyttäen apuna valmistajien internetsivuillaan julkaisemia oppaita ja asennusohjeita.

### 6.1 Raspbian

Raspberry Piin käyttöjärjestelmä Raspbian asennettiin käyttäen NOOBS käyttöjärjestelmän asennusohjelmaa. NOOBS ladattiin Raspberry Piin virallisilta sivuilta pakattuna ZIP tiedostona. ZIP tiedosto purettiin ja sen sisältö siirrettiin FAT32 tiedostojärjestelmään alustetulle 16Gt microSD muistikortille, joka asennettiin Raspberry Pi tietokoneeseen. Ensimmäisen käynnistyksen yhteydessä avautuvasta asennusikkunasta (Kuva 37) valittiin asennettavaksi käyttöjärjestelmäksi Raspbianin täysversio ja kieleksi sekä näppäimistöasetteluksi suomi.



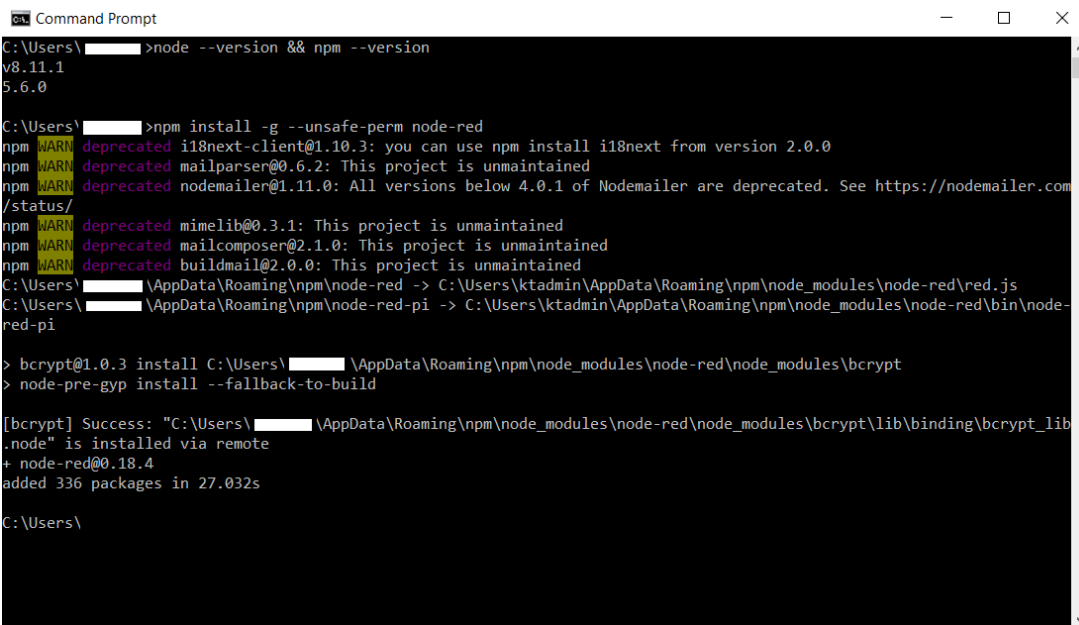
Kuva 35. NOOBS asennusikkuna (Raspberry Pi Foundation, NOOBS)

Asennuksen valmistuttua Raspberry Pi käynnistyi uudelleen suoraan Raspbianin työpöytäkäyttöön. Vaikka asennukseen käytettiin uusinta NOOBS versiota, päivitettiin järjestelmä ja kaikki sen ohjelmat

komentorivin kautta antamalla komennot "sudo apt-get update" jolla päivitettiin lista järjestelmään asennetuista paketeista ja "sudo apt-get dist-upgrade" jolla päivitettiin kaikki paketit uusimpiin versioihinsa. Päivityksen valmistuttua Raspberry Pi oli valmis Node-RED asennusta varten.

## 6.2 Node-RED

Käyttömukavuuden vuoksi ohjelmointi toteutettiin kokonaisuudessaan Windows pohjaisella pöytäietokoneella, josta tuotetut ohjelmat siirrettiin niiden valmistuttua Raspberry Pille asennettuun versioon. Ohjelmoinnin aloittamiseksi pöytäkoneelle ladattiin ja asennettiin viimeisin versio Node.js ohjelmasta. Kun Node.js oli asennettu, käskettiin Windowsin komentokehotteella Node.jsn mukana asentunutta paketinhallintasovellusta asentamaan Node-RED paketit sekä lisäämään "node-red" järjestelmän sisäiseksi komennoksi käyttäen komentoa "**npm install -g --unsafe-perm node-red**". (Kuva 38)



```

C:\Users\ [redacted] >node --version && npm --version
v8.11.1
5.6.0

C:\Users\ [redacted] >npm install -g --unsafe-perm node-red
npm WARN deprecated i18next-client@1.10.3: you can use npm install i18next from version 2.0.0
npm WARN deprecated mailparser@0.6.2: This project is unmaintained
npm WARN deprecated nodemailer@1.11.0: All versions below 4.0.1 of Nodemailer are deprecated. See https://nodemailer.com/status/
npm WARN deprecated mimelib@0.3.1: This project is unmaintained
npm WARN deprecated mailcomposer@2.1.0: This project is unmaintained
npm WARN deprecated buildmail@2.0.0: This project is unmaintained
C:\Users\ [redacted] \AppData\Roaming\npm\node-red -> C:\Users\ [redacted] \AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\red.js
C:\Users\ [redacted] \AppData\Roaming\npm\node-red-pi -> C:\Users\ [redacted] \AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\bin\node-red-pi

> bcrypt@1.0.3 install C:\Users\ [redacted] \AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\bcrypt
> node-pre-gyp install --fallback-to-build

[bcrypt] Success: "C:\Users\ [redacted] \AppData\Roaming\npm\node_modules\node-red\node_modules\bcrypt\lib\binding\bcrypt_lib
.node" is installed via remote
+ node-red@0.18.4
added 336 packages in 27.032s

C:\Users\ [redacted]

```

Kuva 36. Komentorivi asennuksen aikana

Kun asennus oli suoritettu, Node-RED käynnistettiin komentokehotteen kautta komennolla "**node-red**". Node-red käynnistyi paikallisena serverinä ja sen ohjelmointinäkymään päästiin käsiksi selaimen kautta osoitteesta <http://localhost:1880>. Jotta kaikki keskuksen ohjaamisen halutut toiminnot pystyttiin toteuttamaan, Node-REDin vakio Nodes kirjastoon ladattiin Modbus ja Dashboard laajennukset käyttäen Node-RED ohjelmointinäkymän Manage Palette toimintoa, jossa voidaan hakea ja asentaa ohjelman toimintaa laajentavia Node paketteja.

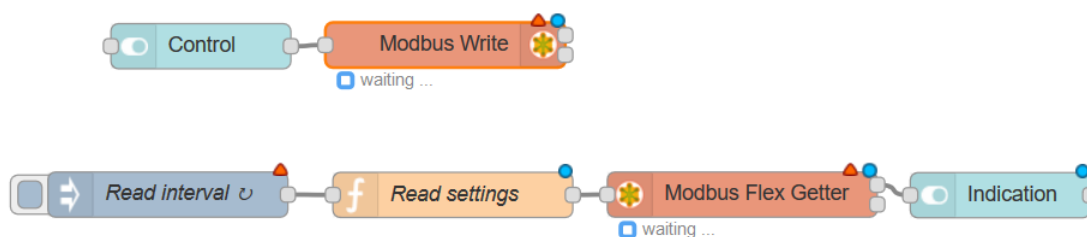
Rasbian käyttöjärjestelmä sisälsi jo valmiiksi esiasennettuna Node-RED ohjelmiston, joka kuitenkin käytti oletusarvoisena vanhentunutta versiota Node.js sovelluksesta. Node.js ja Node-RED päivitettiin uusimpiin versioihin käyttäen komentoriviä ja bash komentoa "**bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/raspbian-deb-package/master/resources/update-nodejs-and-nodered)**", joka automaattisesti latsi ja päivitti uusimmat versiot. Node-RED serveri ohjelmoitiin käynnistymään automaattisesti jokaisen käynnistyskerran yhteydessä komentorivin komennolla "**sudo systemctl enable nodered.service**" Node-RED ohjelman vakio Nodes kirjastoa laajennettiin Modbus ja Dashboard laajennuksilla käyttäen Manage palette toimintoa

## 7 OHJELMOINTI JA KONFIGUROINTI

Keskuksen toimintoja ohjaava Node-RED pohjaisen ohjelman ja käyttöliittymän ohjelmointi toteutettiin halutuilla ominaisuuksilla valmiiksi asti Windows ympäristössä, josta se siirrettiin valmistuttuaan ohjaavana laitteena toimivalle Raspberry Pi:lle. Ohjelman ja käyttöliittymän toimintaa sekä ominaisuuksia testattiin ohjelmoinnin ja kehityksen aikana simuloidussa ympäristössä. U-remote laitteiston, reitittimen ja VPN yhteyden konfigurointi toteutettiin laitteiden sisäisillä käyttöliittymillä, joihin päästiin käsiksi kytketyillä keskuksen verkkoon ja yhdistämällä laitteeseen internetselaimen avulla.

### 7.1 Ohjaava ohjelmisto

Ohjelman rakenne koostuu yksittäisistä ohjelmalohkoista eli nodeista, jotka viestin vastaanottaessaan suorittavat ennalta määrätyn toiminnon ja niiden välisestä viestinnästä. Ohjelma tärkeimmät toiminnot on toteutettu säännöllisin aikavälein Modbus viestin avulla U-remotelta tietoja lukevista osista ja käyttäjän käyttöliittymässä tekemien toimintojen Modbus viestiksi muuttavista osista. Tietojen lukeminen on toteutettu käyttäen Inject Nodea, joka säännöllisin väliajoin lähettää viestin Modbus Flex Getter Nodelle, joka hakee digitaalisten sisäntulojen tiedot U-remotelta ja palauttaa viestinä luetun tiedon. Tämä tieto välitetään käyttöliittymässä oleville Switch Nodeille jotka vaihtavat tilaansa päälle tai pois viestin sisällön perusteella. Käyttäjän käyttöliittymässä antamien komentojen kirjoitus on toteutettu Switch Nodeilla jotka lähettävät käyttäjän komennot Modbus Write Nodelle joka kirjoittaa käyttäjän asettaman tilan u-remoten digitaalisiin ulostuloihin. Ohjelman ja Nodejen toimintaa lähdettiin testaamaan ja kehittämään edellä mainitulla yksinkertaisella rakenteella. u-remotea simuloi ohjelman sisälle määritelty Modbus server.



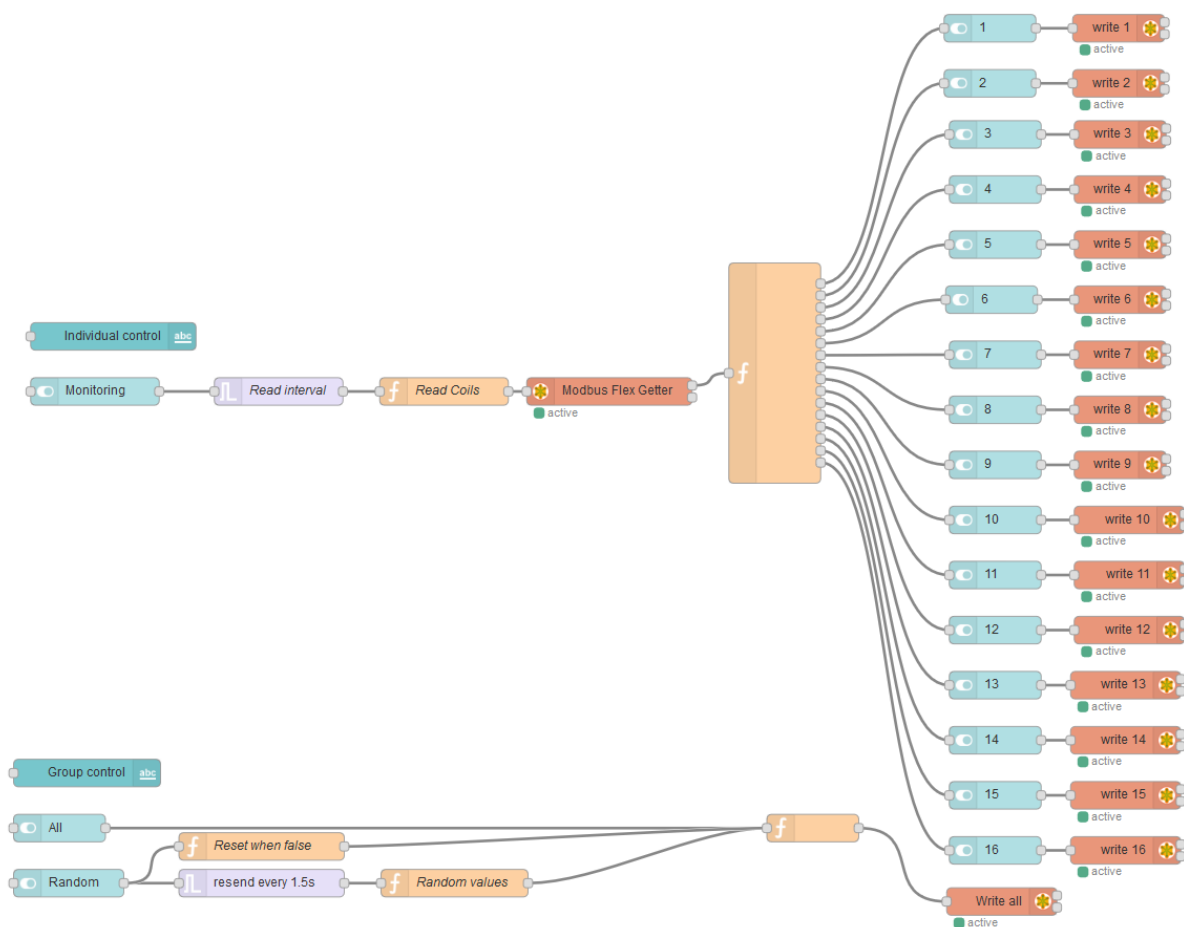
Kuva 37. Ohjelmassa yleisimmin käytetyt Nodet

#### 7.1.1 Releiden ohjaus

Ohjattavat releet on kytketty u-remoten ensimmäiseen digitaaliseen ulostulokorttiin. Releiden tilaa pystytään valvomaan lukemalla u-remoten digitaalisten ulostulojen tila ja siirtämällä tämä tieto käyttöliittymään visuaaliseksi kytkimen tilaksi. Releiden tilaa voidaan myös muuttaa kirjoittamalla käyttäjän käyttöliittymässä kytkimellä antama päällä tai pois arvo kortin vastaavalle ulostulolle.

Releitä ohjaavan ohjelman osan vuokaavion alkuun on sijoitettu Switch Node josta käyttäjä voi kytkeä releiden tilatiedon lukemisen päälle tai pois. Päälle kytkettäessä tämä kytkin lähettää päällä viestin lukutiheyttä säätelevälle Trigger Nodelle joka lähettää ennalta määritetyllä 500ms intervallilla päällä viestin Function Nodelle, johon on JavaScript ohjelmointikielellä ohjelmoitu koodi, joka viestin vas-

taanottaessaan lähettää Modbus Flex Getter Nodelle viestin, joka sisältää Modbus käskyn muodostamiseen vaadittavat tiedot, kuten käytettävän toimintokoodin, luettavien rekisterien määrän ja sijainnin. Modbus Flex Getter Node muodostaa käskyn ja lähettää sen väylää pitkin Modbus serverille. Serveri palauttaa vastausviestillä pyydetyt tiedot jotka Flex Getter lähettää eteenpäin käsiteltäväksi Function Nodelle, johon sijoitettu JavaScript koodi pätkii ja jakaa viestin sisältämät tiedot oikeille releitä vastaaville käyttöliittymän kytkimille, jotka vaihtavat tilaansa vastaamaan releiden todellista tilaa. Kun käyttäjä muuttaa kytkimen tilaa käyttöliittymässä kytkin lähettää siihen kytketylle Modbus Write Nodelle käskyn muuttaa ulostulon arvo vastaamaan syötettyä arvoa. Mikäli tilatietojen lukeminen kytketään pois, lähtee käyttöliittymästä kytkimen tilaa muuttamalla edelleen käsky vaihtaa ulostulon tilaa mutta releiden tilatietoja ei lueta enää säännöllisesti eikä käyttöliittymän kytkimen tila välttämättä indikoi todellista tilatietoa. (Kuva 40)



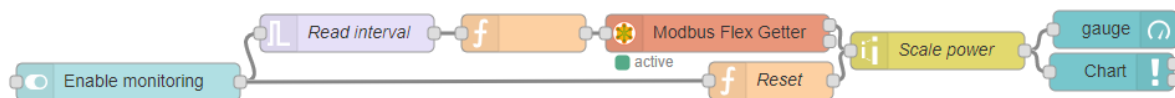
Kuva 38. Releiden ohjaukseen käytetty ohjelma

Releiden ohjaukseen toteutettiin myös ryhmähallinta, jossa kaikkien ulostulojen tilat pystytään vaihtamaan kerralla. Ryhmähallinta toimii Switch Nodella joka lähettää kaikille releille tarkoitetun tilatiedon sisältävän viestin Function Nodelle. Function Nodeen kirjoitettu koodi lähettää viestin vastaanottaessaan Modbus Flex Write Nodelle viestin joka sisältää tiedot kaikkien ulostulojen tilan muuttavan Modbus komennon muodostamiseksi. Modbus Flex Write Node muodostaa ja lähettää käskyn väylää pitkin Modbus serverille. Ulostulojen tilatiedot voi myös pistää muuttumaan satunnaiseen arvoon tasaisella 1500 ms intervallilla. Satunnaistoiminnon aktivoiva käyttöliittymän kytkin lähettää viestin Trigger

Nodelle, joka säännöllisellä intervallilla aktivoi Function Noden koodin. Koodi arpoo jokaiselle ulostulolle satunnaiset päällä tai pois arvot ja lähettää ne lopuksi yhtenä viestinä ryhmähallinnassakin käytetylle Function Nodelle. Function Node lisää viestiin muut Modbus käskyn muodostamiseen vaadittavat tiedot ja välittää sen Modbus Flex Write Nodelle lähetettäväksi väylään. (Kuva 40)

### 7.1.2 Virran mittaus

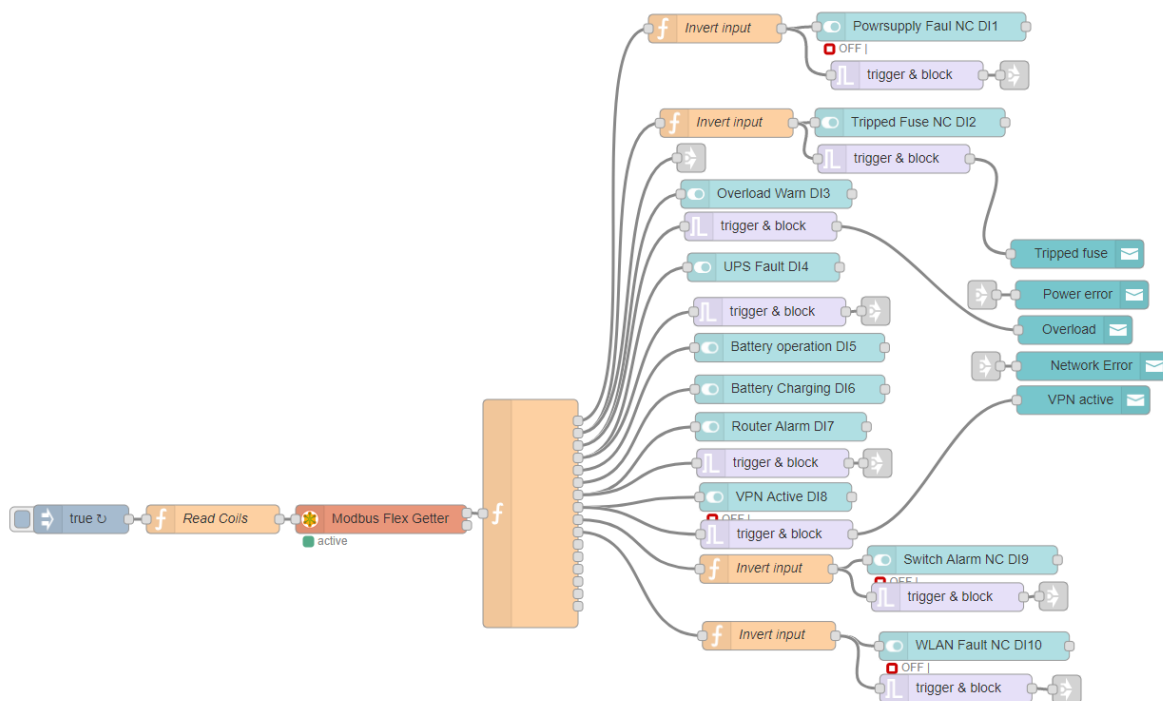
Järjestelmään asennettu virtamittari mittaa syötetyn virran määrää ja muuttaa sen analogiseksi 4-20 mA virtaviestiksi. Mittari lähettää jatkuvasti mittaustuloksen u-remotelle asennettuun Analogiseen sisääntulokorttiin. Ohjelman alkuun on sijoitettu Switch Node josta käyttäjä voi kääntää virtaviestien arvon lukemisen päälle tai pois. Kun kytkin asetetaan päälle lähettää se päällä viestin lukutiheyttä säätelevälle Trigger Nodelle. Vastaanottaessaan viestin Trigger Node alkaa säännöllisesti lähettää päällä viestiä Function Nodelle jonne on ohjelmoitu koodi, joka viestin vastaanottaessaan lähettää Modbus Flex Getter Nodelle viestin. Viesti sisältää tiedot analogisen virta-arvon lukemiseen käytettävän Modbus viestin muodostamiseen. Modbus Flex Getter lähettää viestin serverille ja välittää vastauksena saamansa arvon Scale Nodelle. Scale Node skaalaa viestissä saamansa analogisen arvon prosentti arvoksi ja lähettää sen Gauge Nodelle, mikä näyttää mittarilukemana hetkellisen virranarvon ja Chart Nodelle joka esittää uusimman mittaustuloksen historiatietoa indikoivassa diagrammissa. Kun virranmittaus kytketään pois lähettää Switch Node pois viestin Trigger Nodelle ja Function Nodelle jossa oleva koodi asettaa mittarilukeman ja viimeisimmän historiatiedon arvot nollassa.



Kuva 39. Virran mittaukseen käytetty ohjelma

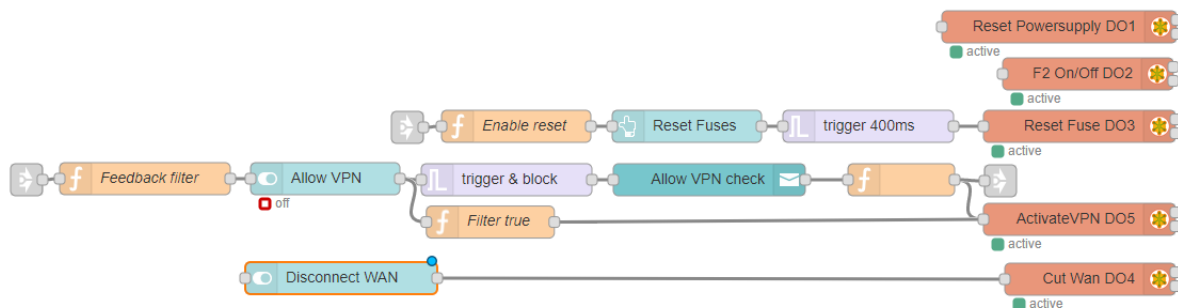
### 7.1.3 Indikointi ja asetukset

Vikatilanteiden indikointi on toteutettu hyvin samankaltaisesti kuin aikaisemmin kuvailtu releiden ohjaus. Indikoinnissa kaavion alkuun on sijoitettu Inject Node, joka alkaa lähettää Function Nodelle päällä viestiä kiinteällä 1s intervallilla aina järjestelmän käynnistyessä. Function Nodeen on kirjoitettu JavaScript koodi, joka viestin vastaanottaessa lähettää Modbus Flex Getter Nodelle viestin joka sisältää tarvittavat tiedot indikointien tilan lukemiseksi palvelimen digitaaliselta sisääntulokortilta. Flex Getter Node palauttaa vastauksen saatuaan viestin Function Nodelle, mikä jakaa saadut tiedot niitä vastaaville käyttöliittymän kytkimille ja hälytysviestin laukaiseville Trigger Nodeille. Kytkimet vastaanottavat viestit ja asettavat tilansa osoittamaan vastaanotettua viestiä. Trigger Nodet lähettävät virheen laadun indikoivan tiedon sisältävän viestin käyttöliittymän Message Nodelle joka näyttää käyttäjälle viestin sisältämät tiedot ja sen jälkeen jäävät odottamaan vian poistumista nollautukseen ennen saman sisältöisen uuden viestin lähettämistä. (Kuva 42)



Kuva 40. Indikointien ohjelmallinen toteutus

Asetuksista käyttäjä pystyy hallitsemaan järjestelmän eri toimintoja. Järjestelmän kahta ensimmäistä hallintatoimintoa virtalähteen uudelleenkyynnistystä ja tehonjakelun katkaisua ei lisätty käyttöliittymään, vaikka valmius niiden käyttöön sisältyikin ohjelmaan. Sulakkeiden nollaamisen mahdollistavan ohjelman osan alussa on Enable reset Function Node, joka vastaanottaa viestin lauenneesta sulakkeesta vikatilanteiden indikoinnin puolelta ja lähettää reset fuse Button Nodelle viestin aktivoitua. Kun käyttäjä painaa Reset Fuses painiketta käyttäjäpaneelista Node lähettää päällä viestin Trigger Nodelle. Trigger Node lähettää viestin vastaanottaessaan päällä viestin Modbus Write Nodelle käskyn kirjoittamiseksi digitaaliselle ulostulokortille, jonka jälkeen odottaa 400 ms ja lähettää uuden pois viestin kirjoitettavaksi ulostulolle. Näin saadaan luotua sulakkeen resetoiva 400 ms mittainen 24 V signaali. VPN yhteyden salliminen tapahtuu ohjelmassa kaksivaiheisella varmentamisella, jossa käyttäjän painaessa käyttöliittymän Allow VPN kytkintä lähettää kytkin päällä viestin Trigger Nodelle joka lähettää Message Nodelle viestin muodostaa varmennusikkuna jossa käyttäjän täytyy painaa Allow vahvistaakseen yhdistämisen tai Cancel peruuttaakseen sen. Käyttäjän valinnasta riippuen Message Node palauttaa joko vahvistavan tai kieltävän viestin. Viestin sisältö välitetään Modbus Write Nodelle joka kirjoittaa asetetun arvon serverille. Viesti palautetaan myös Switch Nodelle Feedback filter Function Noden kautta, Function Node suodattaa vahvistavan viestin pois jolloin ohjelma ei voi jäädä jumiin positiivisen viestin aiheuttamaan silmukkaan. Kielteinen viesti välittyy kytkimelle ja ohjaa sen tilan takaisin pois päältä asentoon (Kuva 43)



Kuva 41. Asetusten hallinnan ohjelma

#### 7.1.4 Käyttöliittymä

Dashboard Nodet muodostavat automaattisesti asetuksista määriteltyjen ryhmittelyidensä mukaisen käyttöliittymän. Käyttöliittymää varten Nodet ryhmiteltiin käyttötarkoituksensa mukaan neljään ryhmään, jotka kuvaavat niiden toimintaa ja vaikutusta järjestelmään. Relay control ryhmässä sijaitsevat kaikki releiden tilan indikointiin ja hallintaan liittyvät Nodet. Power measurement ryhmässä sijaitsevat Analogisen virtamittarin mittaustulosta indikoivat mittari ja historiatietoa näyttävä diagrammi sekä mittauksen aktivoiva kytkin. Power control ryhmässä sijaitsevat virtalähteen, UPS hallintayksikön ja kuormasuojan indikointiin ja hallintaan liittyvät kytkimet ja painikkeet. Network control ryhmässä sijaitsevat reitittimen, kytkimen ja WLAN liityntäpisteen toiminnan indikointiin ja hallintaan käytettävät kytkimet.

Laitteiston toiminnan tilatietoja indikoivat kytkimet eivät painettaessa anna käyttäjän lähettää tilatietoa vaan ne on asetettu näyttämään ainoastaan laitteiston toiminnasta kertovien sisään tulevien signaalien tilaa. Kytkimien symbolit on vaihdettu niiden toiminnallisuutta kuvaaviin Material Designin symboleihin.

Kuva 42. Käyttöliittymä

Nodejen sijaintia ryhmän sisällä ja ryhmien sijaintia hallintapaneelissa sekä käyttöliittymän ulkoasua ja väriä pystyy muuttamaan Node-RED:in asetuksista. Käyttöliittymän teema ja väri valittiin muistutamaan Weidmüllerin yrityksen yleisilmettä ja ryhmien asettelu ja koko optimoitiin käytettävyydellään valitulle 10 tuumaiselle kosketusnäyttöpaneelille sopivaksi. (Kuva 44)

Relay control ryhmässä olevat kytkimet indikoivat releiden reaaliaikaista tilaa tilatiedon lukemisen ollessa päällä. Käyttäjä pystyy kytkintä koskettamalla muuttamaan yksittäisen releen tilaa joko päälle tai pois. Yksittäisen releen hallintaan ja tilan indikointiin käytettävien kytkimien alla on sijoitettuna kaikkia releitä samanaikaisesti hallitseva kytkin, jota koskettamalla kaikkia releitä voidaan ohjata päälle tai pois samanaikaisesti. Kaikkia releitä hallitseva kytkin indikoi ainoastaan käyttäjän asettamaa tilatietoa eikä näin ollen reagoi releiden todellisiin tilatietoihin. Tämän alle on sijoitettu satunnaistoiminnon aktivoiva kytkin, jonka ollessa aktiivinen releiden tila kirjoitetaan sattumanvaraiseksi 1500 ms intervalleilla. Satunnaistoiminnon kytkin indikoi käyttäjän asettamaa tilatietoa siitä onko toiminto päällä vai ei. (Kuva 44)

Power measurement ryhmässä oleva mittari indikoi prosentteina analogisen virtamittarin mittaustuloksen ja järjestelmän 10 A maksimi syöttövirran suhdetta. Mittariin on määriteltä kaksi ylärajaa, joista ensimmäinen on asetettu 75% kohdalle. Tämän rajan ylittyessä mittarin indikointiväri muuttuu vihreästä keltaiseksi. 90% rajan ylittyessä indikointiväri vaihtuu keltaisesta punaiseksi varoittaen käyttäjään järjestelmän ylikuormasta. Mittarin alla sijaitsee mittauksen historiatietoa ilmaiseva viiva-diagrammi. Diagrammin x-akseli kuvaa viimeisen kuluneen minuutin mittausta ajanjaksoa ja y-akseli kuvaa kuormituksen suuruutta prosentteina. Diagrammi päivittyy automaattisesti poistaen näkyvistä mittausdataa vanhimmasta päästä minuutin ajanjakson tullessa täyteen. Alimpana ryhmässä sijaitsee Analogisen virtamittarin mittaustietojen lukemisen aktivoiva kytkin. (Kuva 44)

Power control ryhmässä ylimmäiseksi on sijoitettu virtalähteen vikaa indikoiva pistotulppa symbolinen kytkin vaihtaa indikoinnin väriä punaiseksi vian ilmetessä. UPS järjestelmän toimintaa kuvaa kolme akkusymbolista kytkintä joista ylin ilmaisee hallintayksikön tai akun vikatilannetta punaisella indikoinnilla, keskimäinen kytkin indikoi akun latautumista oranssilla ja alin vihreällä värillä keskuksen toimintaa varavirralla. Ryhmän alimmista varoitus symbolilla varustetuista kytkimistä ensimmäinen indikoi oranssilla kuormasuojan varoitusta lähestyvistä ylikuormituksesta ja toinen punaisella värillä kuormasuojan sulakkeen laukeamisesta. Alimmaisena on kuormasuojan sulakkeiden nollaamiseen käytettävä painike, joka muuttuu aktiiviseksi ja väriltään punaiseksi, mikäli joku järjestelmän sulakkeista on lauennut. Painikkeen ollessa aktiivinen käyttäjä voi nollata lauennun kuormasuojan sulakkeen ohjauspaneelin kautta. (Kuva 44)

Viimeisessä Network control ryhmässä sijaitsevat ylimpänä vikatilannetta punaisella värillä indikoivat reititin symboleilla varustetut reitittimen ja kytkimen sekä WLAN symbolilla varustettu WLAN liityntäpisteen kytkimet. Vikaa ilmaisevien kytkimien alla on VPN-yhteyden aktiivisuutta ilmaiseva kytkin, jonka symboli muuttuu vihreäksi lukolliseksi maapallo symboliksi VPN-yhteyden ollessa aktiivinen. Alimpana ryhmässä on kaksi kytkintä, joista ylemmästä käyttäjä pystyy sallimaan VPN-yhteyden muodostamisen ja alemmasta katkaisemaan järjestelmän yhteyden ulkopuoliseen verkkoon. Sallittaessa



VPN-yhteyden muodostamista järjestelmä avaa vielä erillisen ikkunan jossa pyydetään käyttäjää varmistamaan, että haluaa sallia etäyhteyden muodostamisen keskuksen verkkoon. (Kuva 44)

## 7.2 U-remote

U-remoten asetukset määriteltiin tietokoneen verkkoselaimen avulla laitteensisäistä web-server pohjaista käyttöliittymää käyttäen. (Kuva 45) Laite muodostaa käyttöliittymään visualisoidun kokoonpanon automaattisesti siihen liitettyjen laitteiden perusteella. Käyttöliittymästä laitteelle määritettiin staattinen IP-osoite ja laitteen analogisen sisääntulokortin sisääntuloksi valittiin virranmittausta varten, virtamittarin käyttämä 4-24 mA virtaviesti.



Kuva 43. u-remote käyttöliittymä (Weidmüller Interface GmbH, 2018)

## 7.3 Reititin

Reititin määriteltiin VPN yhteyden ja ulospäin suuntautuvan liikenteen IP osoitteiden osalta Weidmüllerin käyttöohjeiden mukaisesti. Keskuksen sisäverkon laitteille varattiin staattiset IP-osoitteet, jotta ne pysyvät käytön aikana muuttumattomina. Huoltolaitteilla ja kaikille muille keskuksen myöhemmin liitettävälle laitteille reitittimeen määritettiin DHCP serveri, joka antaa liitetylle laitteelle tilapäisen 24 tuntia voimassaolevan IP-osoitteen. Reitittimen omaa palomuuria ei määritely suodattamaan verkkoliikennettä keskuksen tulevaa liikennettä vakioasetuksia tarkemmin, sillä laite on suunniteltu aina liitettäväksi erillisen palomuurin omaavan reitittimen alaiseen verkkoon.

**Weidmüller Router Configuration**  
IE-SR-2GT-UMTS/3G

**System data**

System name: IE-SR-2GT-UMTS/3G-AX00687399  
 Device type: IE-SR-2GT-UMTS/3G  
 Serial-No.: AX00687399  
 Firmware version: 2.2.3 (Build 61039)  
 MAC-Address WAN: 00:18:92:01:DF:78  
 MAC-Address LAN: 00:18:92:01:DF:77  
 Device mode: IP router

**System state**

Date & time: Monday, 03 Jan 2000, 19:35(Europe/Berlin)  
 Uptime: 19:35:04 up 31 min, load average: 0.08, 0.01, 0.00  
 OpenVPN sessions: Masters: active 0, listening 0, Clients: 0  
 IPsec tunnels: 0

**System usage**

Flash: 18%  
 Memory: 23%  
 CPU: 1%

**Network statistic**

Interface: WAN

Interface	State	IP/Netmask	IP Assignment	DHCP Server
WAN	enabled	192.168.2.110 / 255.255.255.0	static	disabled
LAN	enabled	192.168.1.110 / 255.255.255.0	static	disabled
3G	disabled			

**Latest five messages**

Eventlog

Jan 3 19:15:54 IE-SR-2GT-UMTS-AX00687399 config db: 'Language' = 'en'  
 Jan 3 19:15:54 IE-SR-2GT-UMTS-AX00687399 config db: Settings change by: 'admin', from source: 'web interface'  
 Jan 3 19:03:41 IE-SR-2GT-UMTS-AX00687399 statusd: Inserted card cannot be read!  
 Jan 3 19:03:40 IE-SR-2GT-UMTS-AX00687399 system: IE-SR-2GT-UMTS 2.2.3 SVN-R6199.B-61039, system ready!  
 Jan 3 19:03:33 IE-SR-2GT-UMTS-AX00687399 adsdspd: Starting daemon for ethernet connections

Quicklinks: [Secureflow!](#) [Reload](#)

Kuva 44. Weidmüller Router Configurator ( Weidmüller Interface GmbH, 2018)

### 7.3.1 U-Link

Weidmüller u-link Remote Access Service mahdollistaa huoltotietokoneen turvallisen yhdistämisen määrittelyihin ethernet laitteisiin verkon yli. u-link VPN serveri toimii kohtaamispaikasta huoltoon käytettävän tietokoneen ja keskuksessa sijaitsevan ethernet-laitteen välillä. VPN yhteyden määrittely toteutettiin Remote Access Service verkkopalvelussa antamalla reitittimen yksilöllinen aktivointitunnus. (Kuva 47) Tietokone yhdistettiin verkkopalveluun asentamalla tietokoneelle VPN sovellus ja yhdistämällä se palvelun käyttäjätiliin.



## u-link | Remote Access Service

Navigation: Administration > Device Management    Active license: Entry Version ⓘ    Language: English ▼    Logged in as: samu.vaisanen    Logout

► Home  
 ► Service  
 ▼ Administration  
 User Management  
 Device Management  
 Status

**Device Management**

Device Topology

```

graph TD
  Demo[Demo] --- Router[Router/Firewall]
  Router --- Raspberry[Raspberry Pi]
  Router --- uremote[u-remote]
  Router --- uview[u-view]
  Router --- WLAN[WLAN]
  
```

Device configuration	Access rights (groups)	New
<b>Properties</b>		
Name	Router/Firewall	✎
Icon		✎
Device Type	Router/Firewall	✎
Identification		✎
Location		✎
Serial Number		✎
IP		✎
Activation Code	QG-██████R	✎
Status-WWH	Inactive	
Status-VPN Router ↔ u-link	Disconnected	
Status-VPN PC ↔ u-link ↔ Router	Disconnected	
<b>Actions</b> <a href="#">Add</a>		
Connect VPN Router ↔ u-Link		
Connect VPN PC ↔ u-link ↔ Router		
Open Dashboard		
<b>Documents</b> <a href="#">Add</a>		
No documents to display.		
<b>Comments</b> <a href="#">Add</a>		

Kuva 45. Remote Access Service

## 8 KOKOONPANO JA TESTAUS

Keskuksen kokoonpano ja testaus toteutettiin kokonaisuudessaan tilaajan tiloissa Vantaalla. Koteloiden läpivientien ja asennusaukkojen koneistuksen teetätettiin EC Electro Center Oy:llä Tampereella.

### 8.1 Keskuksen kokoonpano

Keskuksen kokoonpano suoritettiin kaikkien komponenttien saavuttua tilaajan toimistolle. Keskuksen kokoonpano aloitettiin sovittamalla kaikki keskuksen tulevat komponentit piirustuksen mukaisille paikoilleen ja tarkastelemalla keskuksen jäävän asennustilan määrää ja tarpeita muuttua piirustuksissa olevaa sijoittelua. (Kuva 48)

Keskuksen ylintä ja alinta johtokourua päätettiin siirtää ulospäin, jolloin käyttöön saatiin lisää asennustilaa. Keskimmäisen kiskon laitteista, Omronin virtalähde ja Raspberry Pi siirrettiin alemmalle kiskolle. Keskuksen alalaitaan ja oikeaan alanurkkaan vaihdettiin 60mm korkea johdotuskouru, jolloin HMI paneelin Ethernet-lähtöä varten asennettu M12 liitin asettui siististi kourun kannen alle piiloon. Kun komponentit saatiin soviteltua alustavasti paikoilleen, mitoitettiin asennuslevyyn johdotuskourujen ja asennuskiskojen lopulliset paikat. Kiskoille ja kouruille porattiin kiinnitysreiät ja ne kiinnitettiin tarvittavista kohdista M5 koon pulteilla ja lukkomuttereilla levyyn. (Kuva 49)

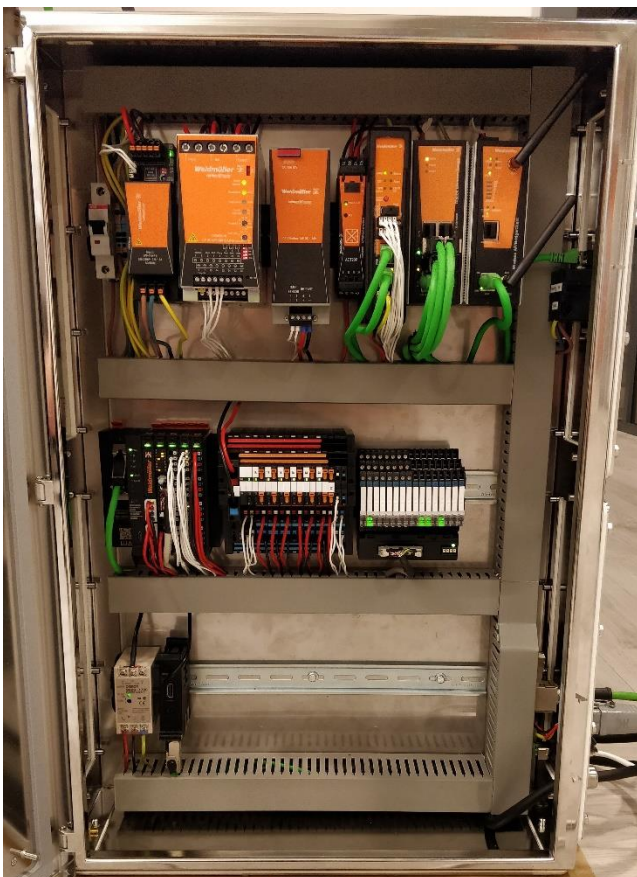


Kuva 46 Komponentit soviteltuna paikoilleen



Kuva 47 Kourut ja kiskot kiinnitetynä

Keskuksen kokoonpanoa jatkettiin asentamalla laitteet asennuskiskoilleen valmiiksi johdotusta varten. Laitteet johdotettiin johdotuskaavion mukaisesti aloittaen 230V syötöstä. Keskuksen johdotuksessa käytettiin 230V syötön osalta 3x2.5mm<sup>2</sup> kumikaapelia ja 2.5mm<sup>2</sup> MKEM johtimia standardin mukaisilla väriyksillä. 24V tasajännitepuolella keskus johdotettiin käyttäen maxGUARD kuormasuojalle asti 2.5mm<sup>2</sup> MKEM johtimia ja siitä eteenpäin käyttäen 1.5mm<sup>2</sup> MKEM johtimia. +24V johtimien värinä päädyttiin käyttämään punaista ja 0v johtimien värinä mustaa. Signaali johdotukset toteutettiin piirikavion mukaisesti. Signaali johtimena käytettiin hienolainkaista valkeaa 0.75mm<sup>2</sup> johdinta. Kaikkien johtimien päihin asennettiin johdinholkit. (Kuva 50)



Kuva 50. Johdotettu keskus



Kuva 51. u-view HMI

## 8.2 Verkko

Keskuksen verkkoa lähdettiin rakentamaan tarkastellen käytettävissä olevia valmiskaapeleita ja työkaluvapaita RJ45 liittimiä. Varastosta löytyvien valmiskaapeleiden mitat eivät soveltuneet kaikkiin vaadittuihin käyttötarkoituksiin, joten suurin osa verkon kaapeleista päädyttiin tekemään itse. Kaapeloinnin yhtenä lähtökohtana pidettiin keskuksen visuaalista ilmettä ja erimallisista RJ45 liittimistä valittiin aina asennustapaan siisteimmän sopiva vaihtoehto. (Kuva 50)

## 8.3 Testaus.

Kokoonpanon valmistuttua keskuksessa suoritettiin yleismittarilla mittaukset, joilla varmistettiin suojaohjtimen jatkuvuus ja johtimien eristysresistanssi. Mittausten tulosten ollessa standardin mukaiset, suoritettiin laitteiston käyttöönotto laite kerrallaan. Käyttöönoton yhteydessä laitteistolle suoritettiin ennalta laaditun testausuunnitelman mukainen käyttöönotto testaus. Laitteiston kuormasuojia testattiin yksitellen painikkeellisesti ja yksittäisen suojan toimintaa oikosulkutilanteessa aiheuttamalla oikosulku piirissä. UPS yksikön toiminta testattiin katkaisemalla keskuksen syöttö johdonsuojakatkaisijasta. Verkon toiminta testattiin tietokoneen avulla yhdistämällä laitteisiin yksitellen. Käyttöliittymän toiminnot käytiin kohta kohdalta läpi mahdollisten virheiden havaitsemiseksi. Lopuksi koko laitteistoa testattiin todellista käyttöä vastaavissa olosuhteissa.

**Testauspöytäkirja Weidmüller demo****Käyttöliittymä:**

Relay control	ON	OFF	Indikointi	Network Control	Indikointi
Rele 1	OK	OK	OK	Router Alarm	OK
Rele 2	OK	OK	OK	Switch Alarm	OK
Rele 3	OK	OK	OK	WLAN Fault	OK
Rele 4	OK	OK	OK	VPN Active	OK
Rele 5	OK	OK	OK	Allow VPN	OK
Rele 6	OK	OK	OK	Disconnect WAN	OK
Rele 7	OK	OK	OK		
Rele 8	OK	OK	OK		
Rele 9	OK	OK	OK	<b>Laitteisto:</b> Kuormasuojat	Toimii
Rele 10	OK	OK	OK	1A Raspberry	OK
Rele 11	OK	OK	OK	1A Router	OK
Rele 12	OK	OK	OK	1A Switch	OK
Rele 13	OK	OK	OK	1A WLAN	OK
Rele 14	OK	OK	OK	4A u-view	OK
Rele 15	OK	OK	OK	4A u-remote	OK
Rele 16	OK	OK	OK		
All	OK	OK	OK	Varavirta	
Random	OK	OK	OK	UPS Bufferoi	OK
				UPS Lataa	OK

(Vain u-remotella)

Power measuremet	Indikoi
Enable monitoring	OK
Mittaus toimii	OK
mittaus heitto %	<5

Power Control	Indikoi	Input
Power supply fault	OK	OK
UPS fault	OK	OK
Battery charging	OK	OK
Battery operation	OK	OK
Overload	OK	OK
Tripped fuse	OK	OK
Reset fuses	OK	Error

Ajoitusta säädettävä

Verkko	Toimii
Modbus	OK
Sisäverkko	OK
WLAN	OK
Yhteys ulos	OK
VPN	OK

## 9 YHTEENVETO

Projektin toteuttaminen käynnistyi nopeasti aloituspalaverin jälkeen ja laitteiston määrittely ja ohjelmallinen suunnittelu etenivät nopeasti yhteistyössä tilaajan kanssa ilman suurempia ongelmia. Ohjelmiston toteuttaminen entuudestaan tuntemattomalla Javascript ohjelmointikielellä Node-RED ohjelmointiympäristössä vaati lyhyessä ajassa suuren määrän perehtymistä ja uuden opettelua. JavaScript ohjelmointikielen ja Node-RED ympäristön helposti omaksuttava toimintalogiikka, saatavilla oleva runsas dokumentaatio ja opetusmateriaali helpottivat kuitenkin merkittävästi projektin toteutusta. Laitteiston alustava määrittely ja kokoonpano sekä perusrakenteellinen ohjelmisto saatiin toteutettua nopeasti valmiiksi.

Laitteiston teknillistä suunnittelua varten vaaditun taustatiedon ja dokumentaation hankinta viivästytti projektin etenemistä. Alustavien suunnitelmieni mukaisesti piirustukset oli tarkoitus toteuttaa minulle entuudestaan tuntemattomalla Eplan suunnitteluohjelmalla, joka olisi tukenut laitevalmistajan olemassa olevaa tuotetietokantaa ja olisi soveltunut ominaisuuksiltaan paremmin kyseisen laitteiston suunnitteluun. Eplan suunnitteluohjelman opetusmateriaalien huono saatavuus ja sen merkittävät toiminnalliset eroavaisuudet minulle jo entuudestaan tutumpaan CADS sovellukseen johtivat kuitenkin suunnittelusovelluksen vaihtamiseen projektin etenemisen takaamiseksi. Piirustusten toteuttaminen CADS-ohjelmistolla ilman valmista tuotetietokantaa ja yritykset uuden ohjelmiston opettelemiseksi hidastivat piirustusten valmistumista ja johtivat aikataulussa varatun tuntimäärän ylittymiseen. Piirustuksista tuli kuitenkin laadukkaat ja ne valmistuivat määräaikaan mennessä. Keskuksen kolmiulotteiset layout kuvat ja sähkösuunnittelua vähemmän tunteville henkilöille suunnatut havainnollistavammat kuvat jäivät kuitenkin ohjelmiston vähäisempien ominaisuuksien vuoksi toteuttamatta. Myös oma vähäinen suunnittelukokemus ja tietämättömyys tilaajayrityksen toimitavoista ja toiveista suunnitelmien osalta hidastivat osaltaan teknisen suunnittelun vaihetta.

Laitteiston kokoonpano ja konfigurointi toteutettiin kahdessa 2 päivän mittaisessa jaksossa tilaajan tiloissa. Valittujen komponenttien toimitusaikojen venyminen uhkasi viivästyttää kokoonpanon aloittamista. Tilajayrityksen onnistui kuitenkin järjestää kaikkien osien toimitus niin että kokoonpano pystyttiin aloittamaan aikataulussaan. Laitteiston kokoonpanon aikana suuremmilta ongelmilta vältyttiin huolellisen suunnittelun ja valmistautumisen vuoksi. Laitteistoon kokoonpanon aikana tehdyt muutokset saatiin toteutettua pienillä lisähankinnoilla ja vähäisillä muutoksilla piirustuksiin.

Laitteiston konfigurointi onnistui nopeasti laitteiden valmistajan hyvän dokumentaation ja kattavien ohjeiden avulla.

Viestinnällisesti projekti oli onnistunut, sillä yhteydenpito tilaajan kanssa oli molemmin puolin aktiivista. Yhteistyössä toteutettu laitteiston määrittely onnistui välimatkasta huolimatta erinomaisesti Skypen välityksellä. Projektin edistyessä pidettiin useita palavereja projektin nykytilan raportoinnin ja suunnittelun merkeissä.

Aikataulullisesti projekti oli haastava. Ongelmien aiheuttamat tuntimääräiset ylitymät saatiin kuitenkin paikattua ylitöiden muodossa ja projekti eteni kokonaisuudessaan annettujen aikarajojen puitteissa.

Alkuperäisessä aikataulussa määritelty tuntimäärä ei pitänyt projektin edetessä ja laajetessa tuntimäärä kasvoi merkittävästi. Tärkeimmät syyt aikataulun ylittymiselle olivat merkittävät virhearviot taustatyöhön ja tiedonhakuun sekä toteutuksen vaatiman osaamisen ja tietotaidon hankkimiseen kuuluvasta ajasta. Verrattaessa alkuperäistä aikataulua (Kuva 16) ja toteutunutta aikataulua (Kuva 52) voidaan huomata, että suunniteltu tuntimäärä ylittyi noin 160 tunnilla. Kokonaisuudessaan projekti

Viikko	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Yhteensä (h)
Pvm	12-18.2.	19-25.2.	29.2-4.3.	5-11.3.	12-18.3.	19-25.3.	26.3-1.4.	2-8.4.	9-15.4.	16-22.4.	23-29.4.	30.4-6.5.	7-13.5.	14-20.5.	21-27.5.	28.5-3.6.	
Tiedonhaku	25	15	10	20	20	15	15	10	10	5	5		3			5	158
Määrittely	10	5	5														20
Suunnittelu		2	5	25	50	10											92
Ohjelman toteutus	15	20	25				20	15		5	5		3				108
Laitteiston toteutus											36		15				51
Testaus ja luovutus													7				7
Raportti		5		5	2	20	20	25	25	5	5					16	128
Viikkotyötunnit	50	47	45	50	72	45	55	50	35	15	51		28			21	564

Kuva 52. Toteutunut aikataulu

saatiin kuitenkin valmiiksi ja luovutettua annettuun luovutuspäivään mennessä.

## 9.1 Ammatillinen kehittyminen

Projektin toteuttaminen koetteli laajasti ammatillista osaamistani ja vaati runsaasti uuden tiedon ja osaamisen hankkimista. Aikataulullisesti projekti kehitti koulutuksen tuomaa projektihallintaosaamistani ja paljasti sieltä monia vielä kehitettäviä osa-alueita, kuten oman ammattitaidon asettamat aikataululliset hidasteet tietyn työsuorituksen toteuttamiseksi. Koulutuksen aikana kertynyt kokemus teknillisestä suunnittelusta oli täysin riittämätön itsenäiseen työskentelyyn. Työn edetessä turvauduinkin useita kertoja kokeneempien kollegoiden apuun oman osaamiseni loputtua. Työn toteuttaminen toimi oppimiskokemuksena, joka kehitti merkittävästi valmiuksiani itsenäiseen työskentelyyn ja asiantuntijatyöhön. Työn ohjelmoinnillinen puoli antoi minulle valmiuksia toteuttaa ja opetella uudenlaisia ja tulevaisuudessa yleistyviä automaation ohjelmointitapoja. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö kehitti ammatillista osaamistani ja opetti merkittävästi myös omista työskentely- ja toimintatavoistani.

## 9.2 Loppusanat

Kokonaisuudessaan tämä opinnäytetyö vaati lähes kaiken koulutuksen aikana hankitun tiedon soveltamista ja uuden oppettelua. Opinnäytetyön toteuttaminen oli itsessään valikoituneen aiheen vuoksi erittäin mielenkiintoista ja välillä siihen liittyvään taustamateriaaliin tuli perehdyttyä liiankin syvällisesti. Opinnäytetyön tuloksena tuotetut raportti sekä esittelylaitteisto onnistuivat suunnitellusti. Suunnitelmallisuuden ja aikatauluttamisen kohdalla jäi kuitenkin vielä parannettavaa. Projektin alussa asetettuihin tavoitteisiin kuitenkin päästiin ja opinnäytetyön tuloksena tuotettu laitteisto on tilaajan aktiivisessa käytössä ja sen jatkokehitysmahdollisuuksia tutkitaan.

## 10 LÄHDELUETTELO

- Unsigned Integer Limited. (17. Maaliskuu 2018). *DistroWatch Page Hit Ranking*. Noudettu osoitteesta <https://distrowatch.com/dwres.php?resource=popularity>
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). Noudettu osoitteesta Router Manual: <http://download.weidmueller.com/asset/download/file/39905>
- ABB. (25. Huhtikuu 2018). *S201-C10*. Noudettu osoitteesta <https://new.abb.com/products/ABB2CDS251001R0104>
- Budig, S. (2003). *Linux Logo*. Noudettu osoitteesta <http://www.home.unix-ag.org/simon/penguin/>
- Free Software Foundation. (2018). *What is free software*. Noudettu osoitteesta <https://www.fsf.org/about/what-is-free-software>
- JS Foundation. (2018). *Node-RED Logo*.
- JS Foundation. (31. Toukokuu 2018). *Node-RED About*. Noudettu osoitteesta <https://nodered.org/about/>
- Modbus Organization . (31. Toukokuu 2018). *Modbus Application Protocol*. Noudettu osoitteesta [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf)
- Modbus Organization. (31. Toukokuu 2018). *Modbus over serial line* . Noudettu osoitteesta [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf)
- Modbus Organization. (31. Toukokuu 2018). *TCP/IP*. Noudettu osoitteesta [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Messaging\\_Implementation\\_Guide\\_V1\\_0b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf)
- OMRON Corporation. (20. Huhtikuu 2018). *S82S*. Noudettu osoitteesta <http://www.ia.omron.com/products/family/789/lineup.html>
- Open Source Initiative. (2018). *About*. Noudettu osoitteesta <https://opensource.org/about>
- Raspberry Pi Foundation. (2017). *Strategy 2018-2020*. Raspberry Pi Foundation. Noudettu osoitteesta <https://static.raspberrypi.org/files/about/RaspberryPiFoundationStrategy2018%E2%80%932020.pdf>
- Raspberry Pi Foundation. (2018). *NOOBS*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/images/noobs.png>
- Raspberry PI Foundation. (3. Toukokuu 2018). *Compute Module IO Board V3*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/products/compute-module-io-board-v3/>
- Raspberry Pi Foundation. (3. Toukokuu 2018). *Documentation*. Noudettu osoitteesta [https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/mechanical/rpi\\_MECH\\_Zero\\_1p2.pdf](https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/mechanical/rpi_MECH_Zero_1p2.pdf)
- Raspberry Pi Foundation. (2018). *FAQ*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#topGeneral>
- Raspberry Pi Foundation. (3. Toukokuu 2018). *FAQ Power*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#topPower>
- Raspberry Pi Foundation. (3. Toukokuu 2018). *Forums*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/forums/>
- Raspberry Pi Foundation. (2018). *Logo*. Noudettu osoitteesta [https://www.raspberrypi.org/files/Raspberry\\_Pi\\_Logo.zip](https://www.raspberrypi.org/files/Raspberry_Pi_Logo.zip)
- Raspberry Pi Foundation. (2018). *Pruducts*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/products/>
- Raspberry Pi Foundation. (31. Toukokuu 2018). *Raspbian*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>
- Raspberry Pi Foundation. (2018). *What is a Raspberry Pi*. Noudettu osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>
- Suomen Automaatioseura ry. (2007). *Automaatiosuunnittelun prosessimalli*. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.
- The Linux Foundation . (2018). *What is Linux*. Noudettu osoitteesta <https://www.linux.com/what-is-linux>



- Torvalds, L. (2001). *Just For Fun - The Story Of An Accidental Revolutionary*. Noudettu osoitteesta <https://archive.org/details/JustForFun>
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *ACT20P-CMT-30-AO-RC-S*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=F91E5CC0E1C90F52AF0B0B2BE4A97EF1?productId=\(%5b1510540000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=F91E5CC0E1C90F52AF0B0B2BE4A97EF1?productId=(%5b1510540000%5d)&page=Product)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *A-series*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=\(%22group6628294557648%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=(%22group6628294557648%22)&page=Group)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *Connect Power PROtop single-phase*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=BA110052A0206C99D36E4FC3B73425D0?groupId=\(%22group15352624894317%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=BA110052A0206C99D36E4FC3B73425D0?groupId=(%22group15352624894317%22)&page=Group)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *CP A BATTERY 24V DC1.3AH*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=BA110052A0206C99D36E4FC3B73425D0?productId=\(%5b1406930000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=BA110052A0206C99D36E4FC3B73425D0?productId=(%5b1406930000%5d)&page=Product)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *CP DC UPS 24V 20A/10A*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=BA110052A0206C99D36E4FC3B73425D0?productId=\(%5b1370050010%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=BA110052A0206C99D36E4FC3B73425D0?productId=(%5b1370050010%5d)&page=Product)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *FrontCom Micro*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=\(%22group3776308690846%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=(%22group3776308690846%22)&page=Group)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *FrontCom Vario*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=\(%22group2132585425632%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=(%22group2132585425632%22)&page=Group)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *Fuse for 24V DC electric circuits*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=B351053612FFBC676380025166DCE2A0?groupId=\(%22group69976204529287%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=B351053612FFBC676380025166DCE2A0?groupId=(%22group69976204529287%22)&page=Group)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *IE-SR-2GT-UMTS/3G*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=\(%5b1345250000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=(%5b1345250000%5d)&page=Product)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *IE-SW-VL08-8GT*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=\(%5b1241270000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=(%5b1241270000%5d)&page=Product)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *IE-WL-VL-AP-BR-CL-EU*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=\(%5b2536680000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=(%5b2536680000%5d)&page=Product)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *Klippon TB*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=\(%22group5104392239753%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=9A252A243C37CECE935C9801D0B606A0?groupId=(%22group5104392239753%22)&page=Group)
- Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *M12 x-type*. Noudettu osoitteesta [https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=B351053612FFBC676380025166DCE2A0?groupId=\(%22group4864877745358%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=B351053612FFBC676380025166DCE2A0?groupId=(%22group4864877745358%22)&page=Group)

Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *Software and documents*. Noudettu osoitteesta

<http://download.weidmueller.com/asset/download/file/53287>

Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *TERMSERIES Complete module*. Noudettu osoitteesta

[https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?groupId=\(%22group5224390512176%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?groupId=(%22group5224390512176%22)&page=Group)

Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *TIAL F20*. Noudettu osoitteesta

[https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=\(%5b1463550000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=(%5b1463550000%5d)&page=Product)

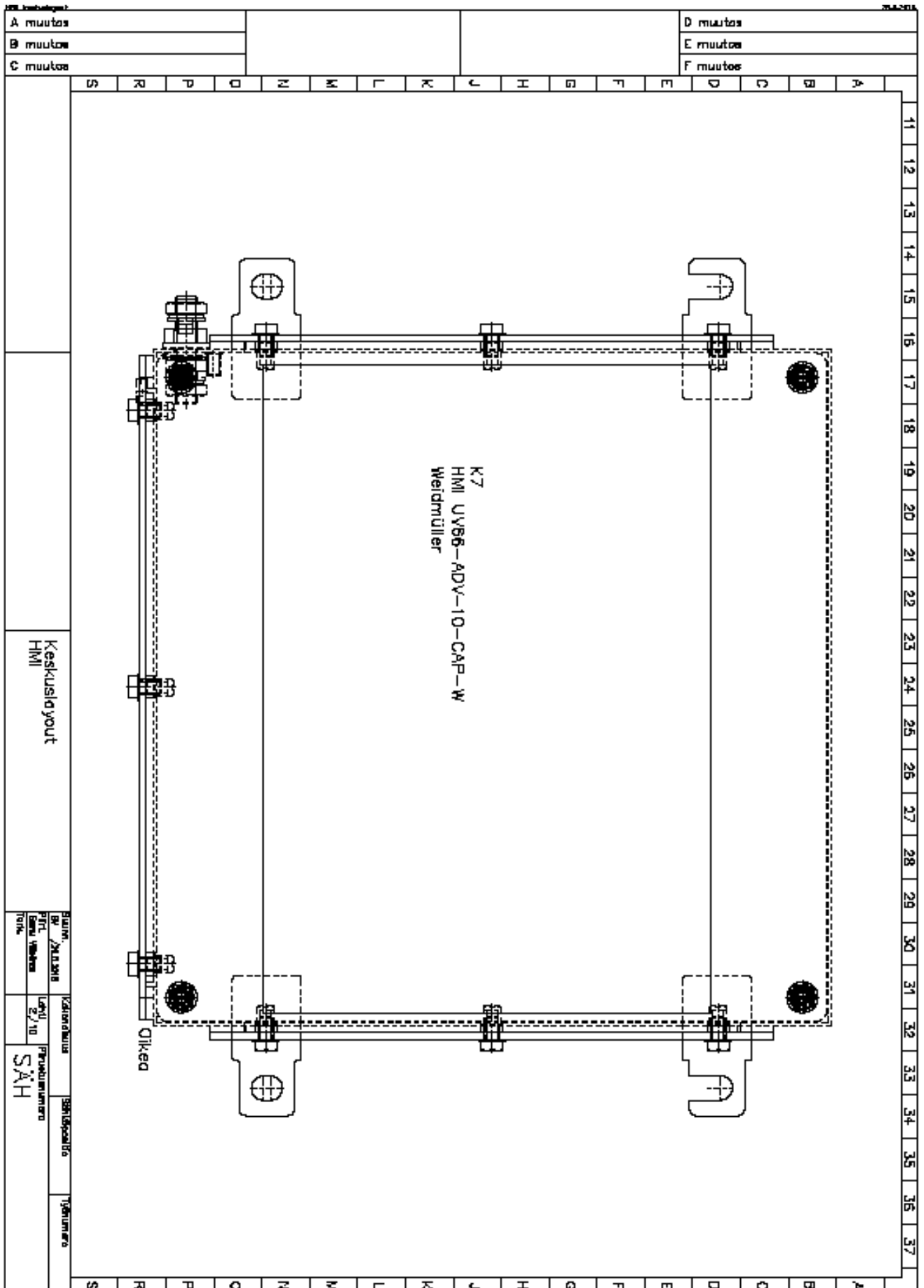
Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *u-remote*. Noudettu osoitteesta

[https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?groupId=\(%22group6112950853819%22\)&page=Group](https://catalog.weidmueller.com/procat/Group.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?groupId=(%22group6112950853819%22)&page=Group)

Weidmüller Interface GmbH. (31. Toukokuu 2018). *UV66-ADV-10-CAP-W*. Noudettu osoitteesta

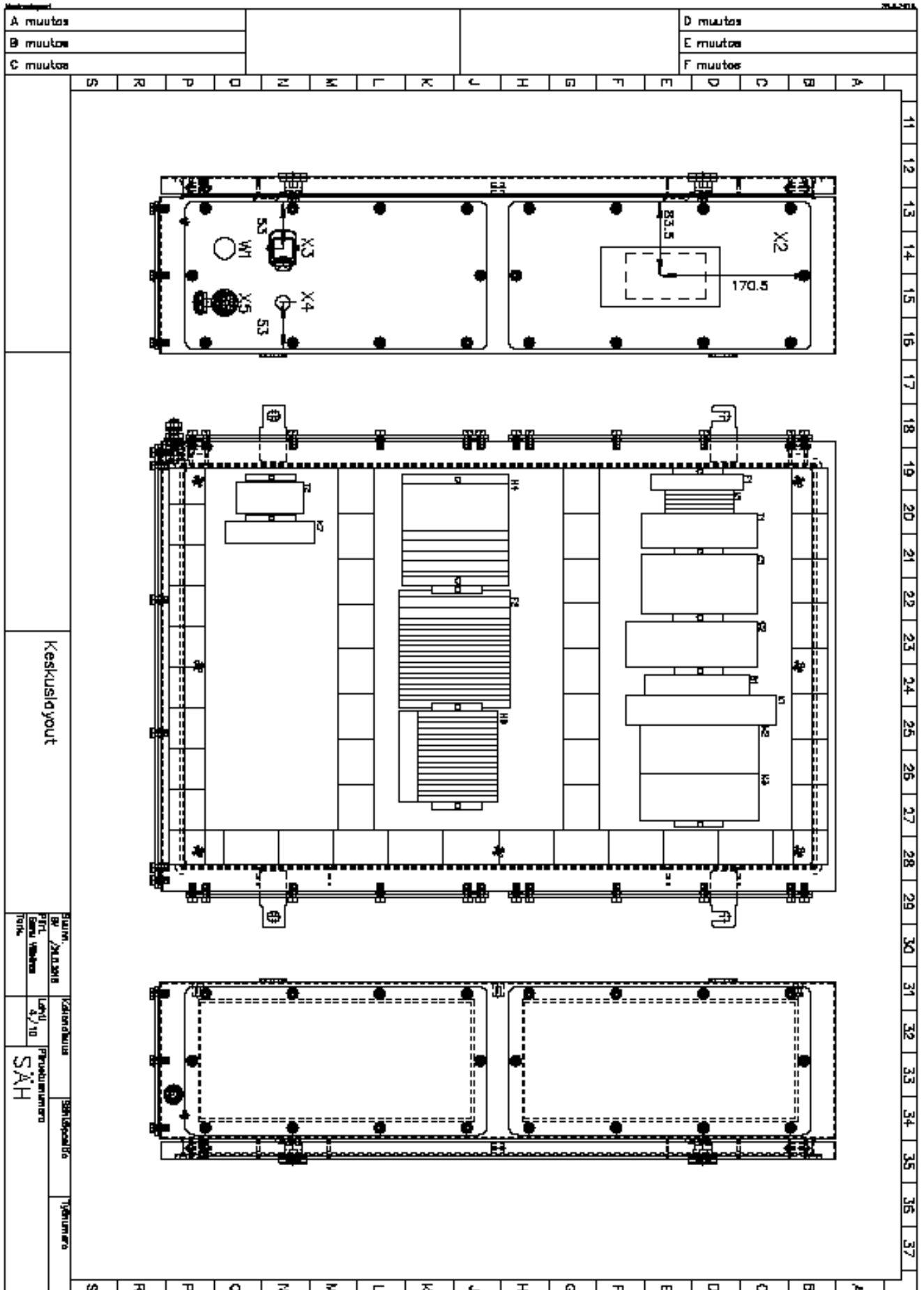
[https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=\(%5b2555840000%5d\)&page=Product](https://catalog.weidmueller.com/procat/Product.jsp;jsessionid=5E8AB26F79813BFE252584589CE6C92F?productId=(%5b2555840000%5d)&page=Product)

LIITE 1: KESKUSLAYOUT HMI

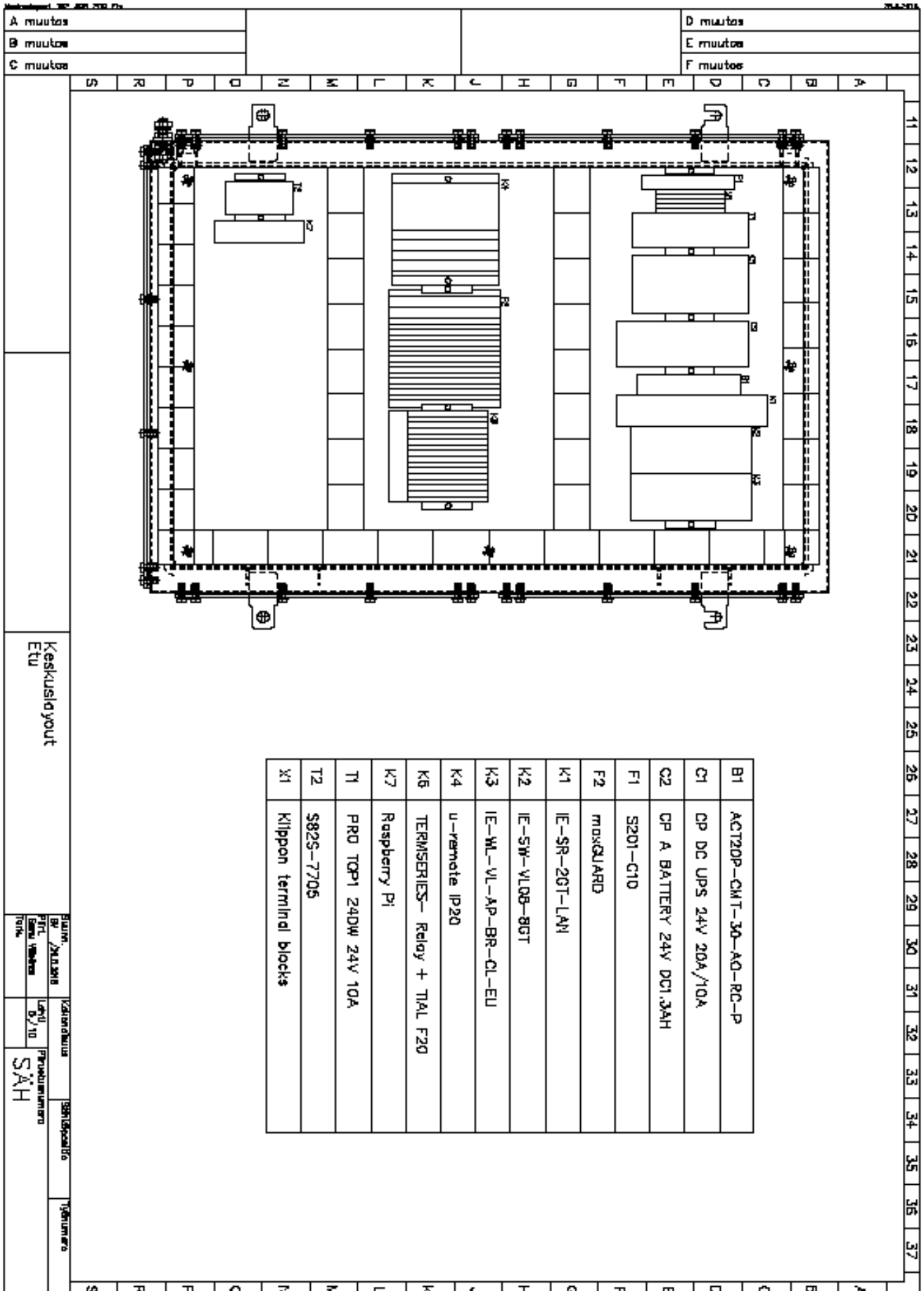




LIITE 3: KESKUSLAYOUT

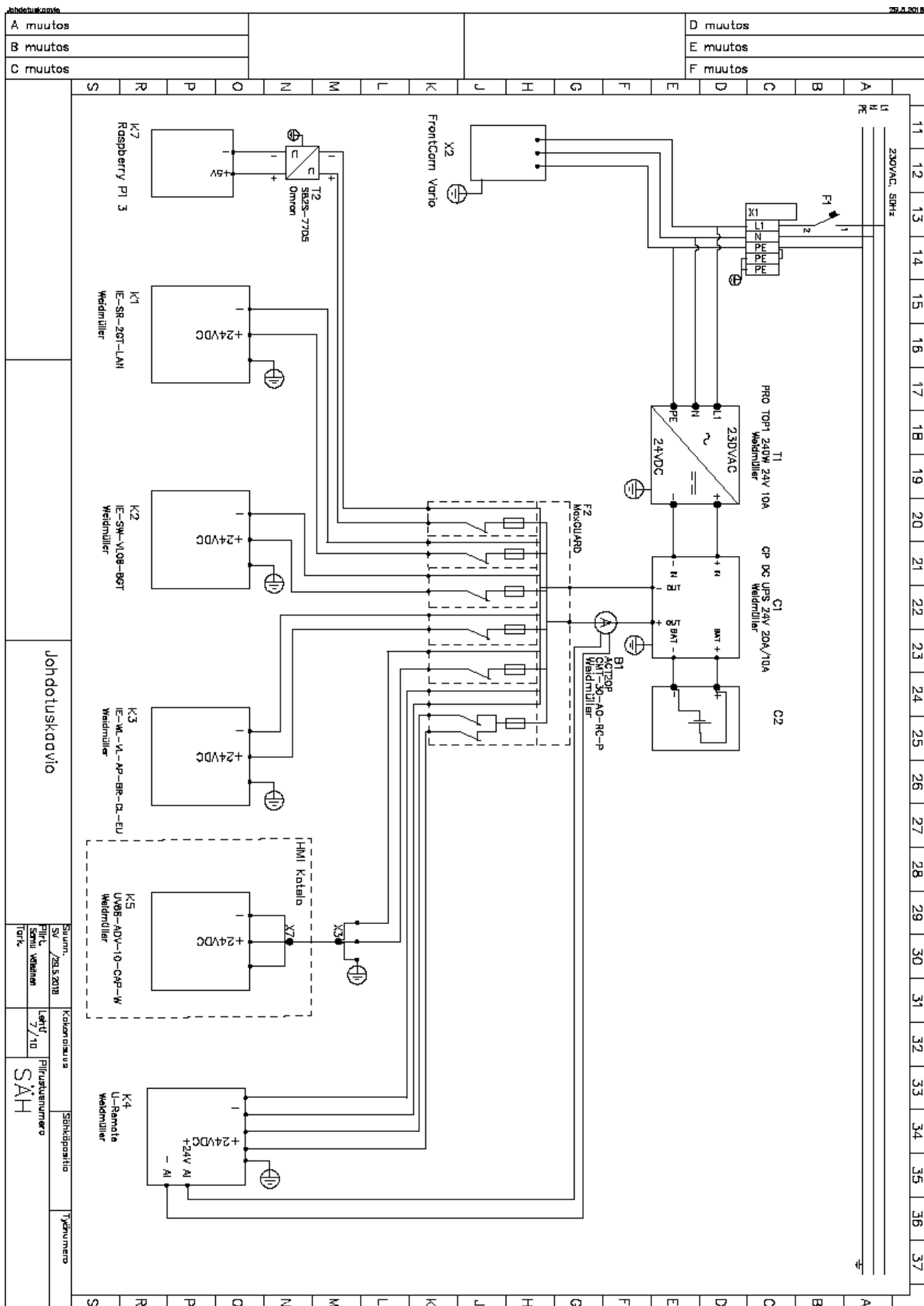


## LIITE 4: KESKUSLAYOUT ETU





LIITE 6: JOHDOTUSKAAVIO



A muutos	D muutos
B muutos	E muutos
C muutos	F muutos

Johtotuskaavio

Suunn. 28.5.2018  
Piltä. Sanni Vaheri  
Tark.

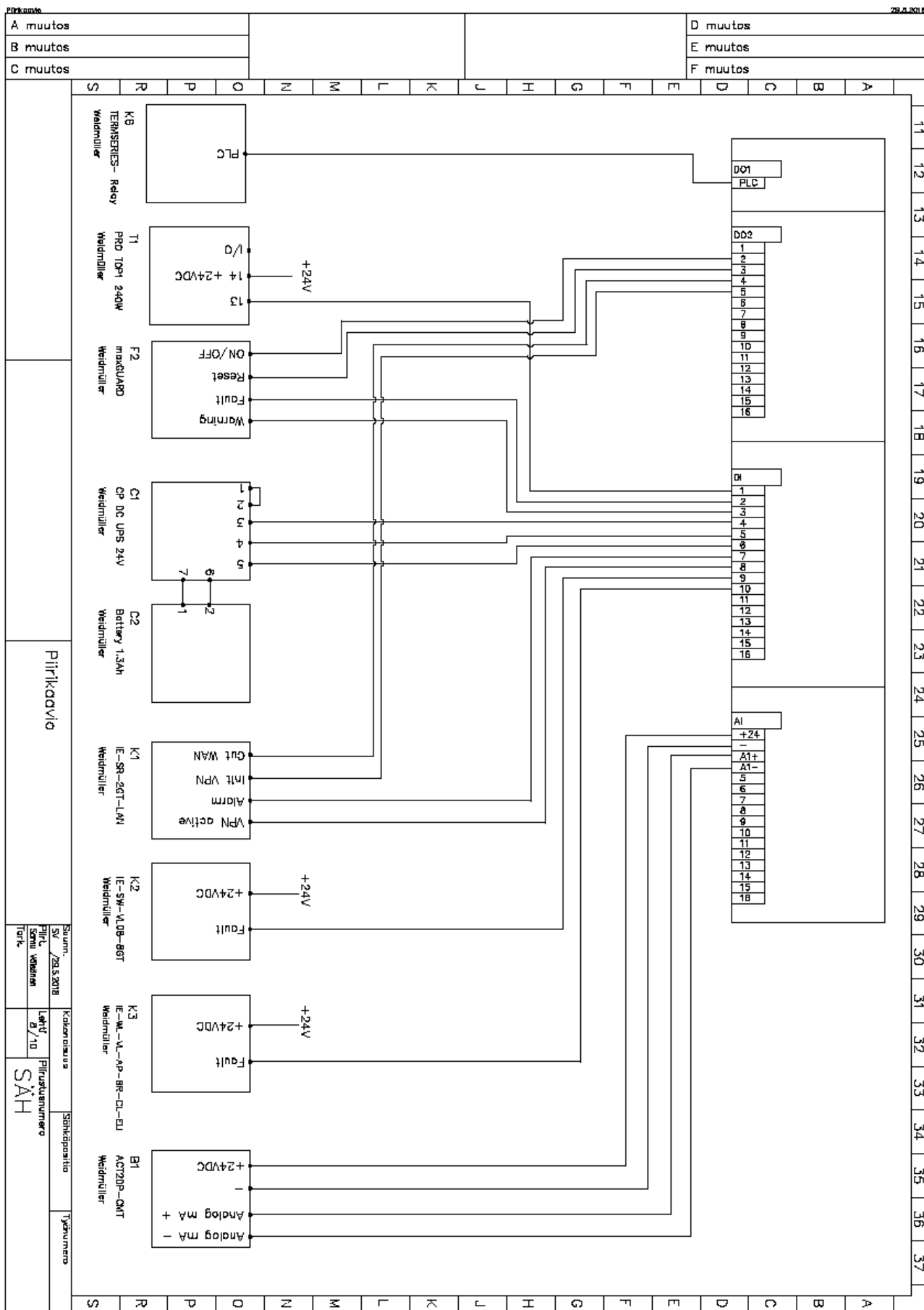
Kokonaus  
Lohd. 7/10

Piirustusnumero  
**SÄH**

Sähköpiirite  
Tyyppinumero



LIITE 7: PIIRIKAAVIO



Piirikaavio

Suunn. / 25.5.2018	Kokonaissivu
Piir. / 10	Lehti / 10
Sivu / 10	Piirikaavio
<b>SÄH</b>	
Sähköpiirito	
Tyyppinumero	

LIITE 8: VÄYLÄKAAVIO

