

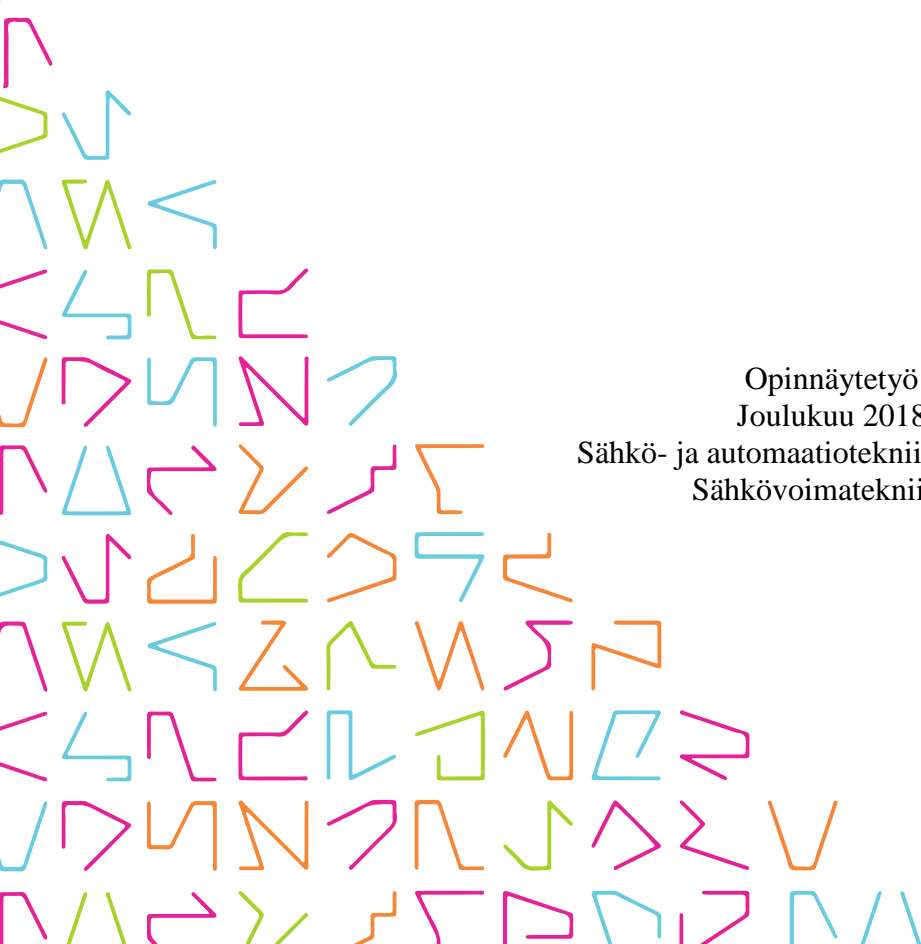


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# ENERGIAMONITORI

Juha Taipale

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2018  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus  
Sähkövoimatekniikka

TAIPALE, JUHA:  
Energiamonitori

Opinnäytetyö 80 sivua, joista liitteitä 10 sivua  
Joulukuu 2018

---

Opinnäytetyön aiheena oli rakentaa kotiautomaatiojärjestelmä, joka kykenee näyttämään kotitalouden hetkellisen tehonkulutuksen. Lisätavoitteina oli mitatun datan tallennus johonkin myöhemmin käsiteltävään formaattiin, mittausarvojen monitorointi ja laitteiden päällekytkentä etänä. Kotiautomaatio oli kiinnostanut minua jo pidemmän aikaa ja koin aihepiirissä olevan potentiaalia jatkokehitykselle.

Järjestelmä toteutettiin Raspberry Pi -mikrotietokonetta hyödyntäen. Työssä käytettiin Raspbian-käyttöjärjestelmälle asennettavaa CODESYS-alustaa, joka mahdollisti teollisesti standardisoitujen (IEC 61131-3) ohjelmointikielien käytön.

Opinnäytetyössä esiteltiin projektin elinkaari visiosta laitteen käyttöönottoon asti. Laitteen toiminnan havainnollistamiseksi esiteltiin muun muassa mittausjärjestely, jossa vertailtiin uunin asetuslämpötilaa todelliseen lämpötilaan. Lämpötilaa ja kulutettua virtaa tallennettiin, josta tuloksena saatiin kuvaaja lämpötilan ja uunin termostaatin käyttäytymisestä.

Opinnäytetyön lopputuloksena oli mittaussalkku, jolla voi tutkia erilaisia sähköisiä kuormituksia sekä lämpötilamuutoksia, tallentaa dataa talteen paikallisesti, etäohjata laitteita sekä lukea sensoridataa pilvipalvelusta. Työlle asetetut tavoitteet siis täytettiin ja järjestelmää jatkokehitettiin vielä hieman pidemmälle.

Mittaussalkku ei kotitalouskäyttöön ole ideaali ratkaisu, sillä se on suurikokoinen. Seuraava tavoite on toteuttaa vastaavanlainen järjestelmä niin, että se mahtuu minkä tahansa kotitalouden ryhmäkeskukseen.

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering  
Electrical Power Technology

TAIPALE, JUHA:  
Energy monitor

Bachelor's thesis 80 pages, appendices 10 pages  
December 2018

---

The topic of this thesis was to build a home automation system, which can show the current power consumption. Additional targets were ability to save measured data for a format that can be processed later, monitoring and switching devices on remotely. I have been interested in home automation for a while and I felt that it has big potential for further development.

The system was built using Raspberry Pi microcomputer. CODESYS-platform for Raspbian operating system was used, which enabled the use of industrially standard (IEC 61131-3) programming languages.

The whole lifecycle of project was presented in the thesis from vision until commissioning. For demonstrating the functioning of the system, a measuring arrangement was performed with oven. In a test a set temperature was compared to real temperature. Temperature and consumed current were logged as a file, from which the data was led to chart. The behavior of temperature and oven thermostat can be seen from the chart.

As a result of the thesis was a measuring suitcase for exploring different electrical loads and thermal changes, logging data locally, controlling devices remotely and read sensor data from cloud servers. So, the targets were met, and the system was developed even further.

The measuring suitcase is not convenient for household use, since it is too big. Next goal will be to implement a similar system so that it can fit inside a regular household main cabinet.

---

Key words: energy measurement, Raspberry Pi, CODESYS, PLC

## **ALKUSANAT**

Tämä opinnäytetyö on toteutettu ja kirjoitettu ajanjaksona 2015 – 2018, prosessi oli kokonaisuudessaan pitkä ja raskas.

Haluankin kiittää vaimoani Herttaa ja tytärtäni Hildaa jaksamisesta ja kaikesta tuesta työn valmiiksi asti saattamiseksi. Iso kiitos myös ohjaavalle opettajalle Heikki Yli-Rämille.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	INDUSTRIAL INTERNET .....	11
2.1	Teollisuus 4.0 - koneiden verkko.....	11
2.2	Hajautettu kenttäväylä .....	12
2.3	EtherCAT -kenttäväylä .....	14
2.4	Pilvipalvelut .....	15
2.5	Anyviz -pilvipalvelu .....	15
2.6	CODESYS .....	16
3	HARDWARE.....	18
3.1	Komponenttien valinta ja hankinta .....	18
3.1.1	Raspberry Pi .....	18
3.1.2	Beckhoff EK1100.....	20
3.1.3	Beckhoff EL1018 .....	22
3.1.4	Beckhoff EL2008 .....	23
3.1.5	Beckhoff EL3314 .....	24
3.1.6	Beckhoff EL3403 .....	25
3.1.7	K-tyyppin anturi .....	29
3.1.8	Virtamuunnin .....	30
3.1.9	Mittakaapelit .....	32
3.1.10	Salkku.....	33
3.1.11	Sähköturvallisuus .....	34
3.2	Rakentamisen vaiheet .....	36
4	RASPBERRY PI.....	42
4.1	Raspberry Pi konfigurointi.....	42
4.1.1	WLAN-yhteyden luominen.....	42
4.1.2	Staattinen IP-osoite .....	43
4.1.3	VNC Viewer.....	45
5	SOFTWARE .....	46
5.1	Esivalmistelu.....	46
5.2	Hardwaren konfigurointi.....	49
5.2.1	Kirjastot.....	50
5.3	Ohjelma.....	51
5.3.1	Lämpötilan mittaus.....	51
5.3.2	Energian mittaus.....	52
5.3.3	Virtamuuntimien kalibrointi.....	53
5.4	Visualisointi.....	56

5.5 Anyviz.....	57
5.6 Anyviz testaus.....	61
5.7 Dataloggaus .....	63
6 POHDINTA.....	68
LÄHTEET.....	69
LIITTEET .....	71
Liite 1. Youtube-videot .....	71
Liite 2. Virtamuuntimien datasheet .....	72
Liite 3. Energiamonitorin piirikaavio 1 (8).....	73

**LYHENTEET JA TERMIT**

IoT	Internet of Things
RPi	Raspberry Pi
PLC	Programmable Logic Controller
IO	Input / Output
CPU	Central Processing Unit
RTC	Real-time clock
CSV	Comma Separated Value
HMI	Human Machine Interface
VPN	Virtual Private Network
RMS	Root Mean Square

## 1 JOHDANTO

Internet of Things kasvoi ilmiöksi vuonna 2015, osittain koska pienikokoisten tietokoneiden ja sulautettujen ohjelmoitavien mikropiirien tarjonta kasvoi valtavasti. Markkinoille tuli erilaisia pieniä laitteita (mm. Arduino, Raspberry Pi, Beaglebone), joihin on mahdollista liittää omia antureita, kirjoittaa ohjelmaa sekä liittää nämä internetiin. Verkkoon liitettävyyden mahdollistaa anturidatan monitoroinnin sekä laitteen ohjauksen etänä. Lisäksi dataa voi jakaa eri palveluihin ja sulauttaa osaksi erilaisia prosesseja.

Uudenlaiset yhden piirikortin tietokoneet olivat tehokkaita, edullisia ja liitettävien antureiden määrä markkinoilla kasvoi kovaa vauhtia. Ilmiön yleistyessä internetiin muodostui yhteisöjä, joissa rohkaistiin rakentamaan omia projekteja ja ihmiset kirjoittivat rakennusohjeita ja jakoivat lähdekoodeja erilaisiin laitteisiin. Internetistä tuli uusi rajapinta.

RPi tarjosi täydellisen alustan kokeiluluontoiseen rakenteluun sen matalan hankintahinnan ansiosta. Teollisten ohjelmoitavien logiikoiden CPU-yksiköiden hinta on lähtökohdaisesti satoja euroja. Lisäksi RPi antaa paljon enemmän vapauksia laajennettavuuteen. (Brucelin Kithion 2016)

Vuonna 2014 3S-Smart Software Solutions julkaisi RPi:lle asennettavan CODESYS-alustan, jonka avulla RPi:ta voi käyttää kuten mitä tahansa ohjelmoitavaa logiikkaa. Alustaan kuului muun muassa EtherCAT-master sovitin, joka mahdollistaa EtherCAT-slave korttien datan lukemisen väylää pitkin. Käytännössä se mahdollisti monien teollisten logiikkatuotteiden käytön RPi:n lisäosana.

Beckhoffin logiikkakorttien valikoimasta löytyy energiamittauskortti, josta kehittyi ajatus reaaliaikaisesta energiankulutuksen valvonnasta. Mittausdataa hyväksi käyttäen korttia voisi soveltaa lukuisiin eri käyttötarkoituksiin.

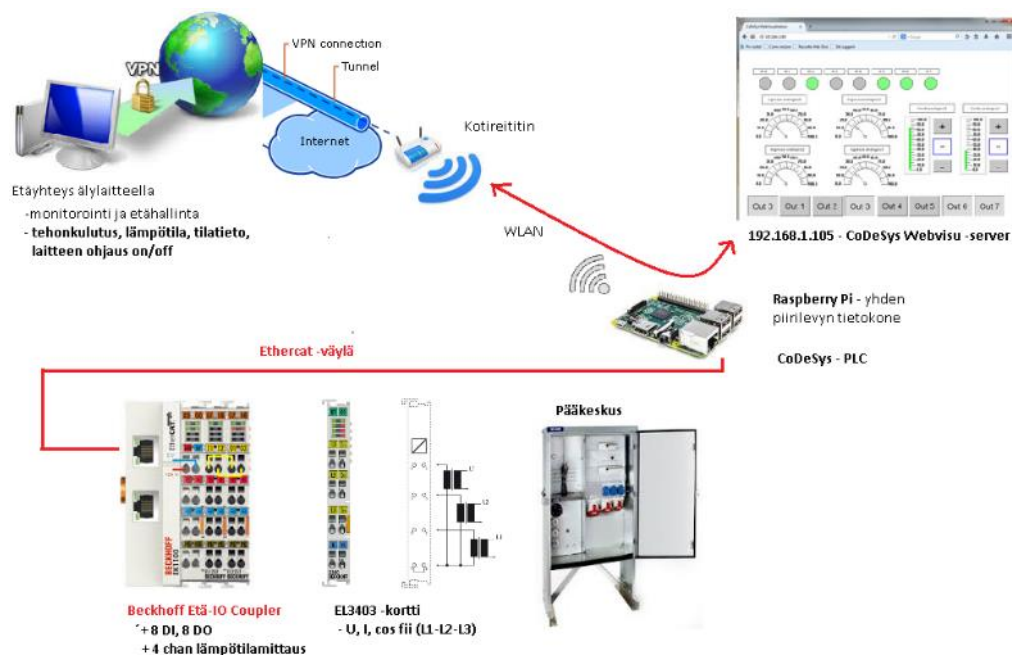
Yhtenä ajatuksena opinnäytetyöaiheeksi oli ohjelmoida sovellus sähkön laadun tarkkailuun. Tätä varten tarvitaan datan tallentamisominaisuus (loggaus), jolla tallentaa datan myöhemmin tarkasteltavaan muotoon. Datan tallentamiseen yleisesti on käytetty CSV-tiedostomuotoa. Se on tekstimuotoinen tiedosto, jota voi lukea esimerkiksi Microsoft Excelissä. Excelistä taas löytyy työkaluja datan analysointiin.



CODESYS kykenee luomaan niin sanotun Web-visualisaation. Käytännössä se tarkoittaa, että CODESYS luo Web-serverin visualisaatiolle. Serveri ylläpitää sivustoa ohjelmoijan määrittelemällä IP-alueella.

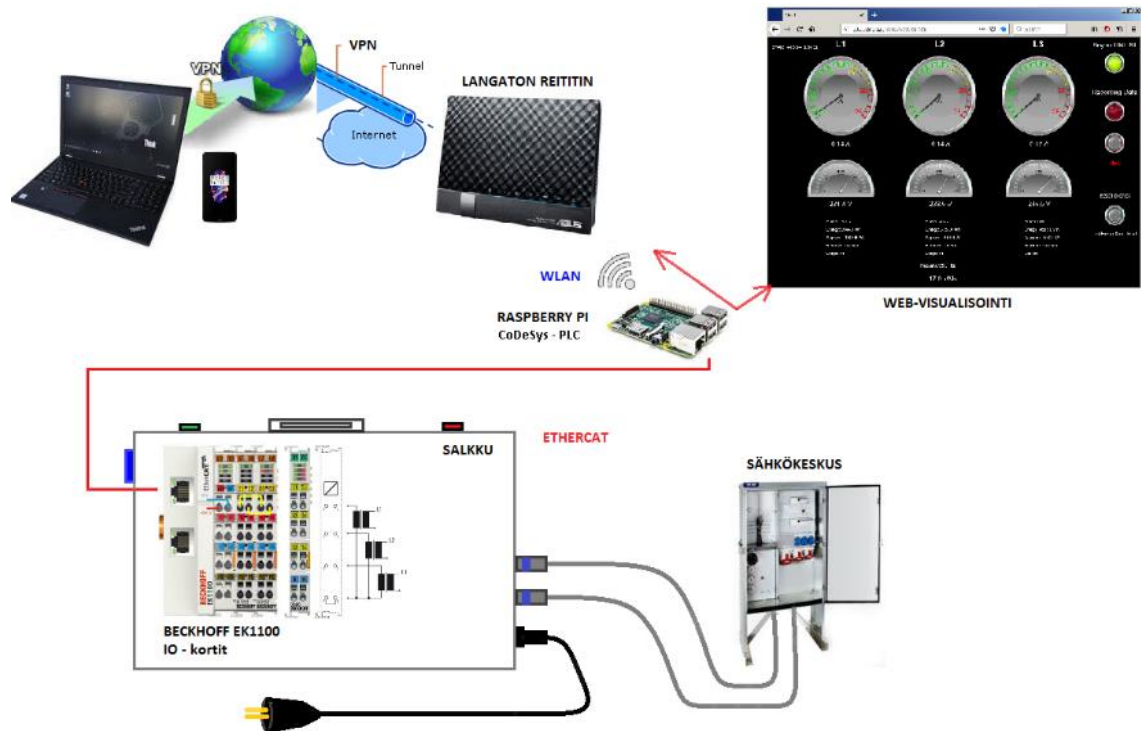
Kun RPi on kytkeytyneenä kotiverkon reitittimeen, pääsee sivuun käsiksi minkä tahansa laitteen selaimella, jos laite on yhdistetty samaan verkkoon. Visualisaation tarkastelu kodin ulkopuolelta on mahdollista, jos reitittimeen saa muodostettua VPN-yhteyden. Suurin osa kuluttajakäyttöön suunnitelluista reitittimistä ei tue VPN-yhteyden muodostamista. Projektia varten hankittiin myös uusi reititin ASUS DSL-N17U, jossa on itsessään tuki VPN-serverille.

Lukuisten opetusvideoiden ja keskusteluforumien innoittamana hankittiin RPi, sekä muutamia Beckhoff-kortteja. Tavoitteena oli rakentaa laite, joka kykenee mittaamaan energiankulutusta reaaliajassa ja monitoroimaan sen myös nähtäville. Lisäksi visiona oli, että laitetta olisi mahdollista lukea ja käskyttää etänä. Valmis laite oli tarkoitettu asennettavaksi ryhmä- tai pääkeskukseen, niin että se olisi kotiautomaatiojärjestelmän logiikkayksikkö ja jatkokehittävissä myöhemmin. Laitteet eivät kuitenkaan mahtuneet kohteen ryhmäkeskukseen, joten suunnitelma muuttui laitteiston koteloinnin suhteen. Kuvassa 1 kuvattu laitteiston toiminnot ja rajapinnat, kuten ne alun perin oli tarkoitettu.



KUVA 1. Havainnekuva laitteiston alkuperäisestä ideasta

Muun muassa edellä mainitusta syystä johtuen laite kotelointiin lopulta salkkuun. Laitteen mobiili kotelointi herätti ajatuksia myös uudenlaisista käyttötarkoituksista. Salkun voisi esimerkiksi kantaa jonkin koneen tai laitteiston viereen ja tallentaa sen toiminnasta mitausdataa (sensoreiden tilatietoja, lämpötiloja, virrankulutusta). Kuvassa 2 on kuvattu jo jalostuneen järjestelmän rakenne ja toiminta pelkistetyksi.



KUVA 2. Havainnekuva järjestelmän toiminnasta

## 2 INDUSTRIAL INTERNET

### 2.1 Teollisuus 4.0 - koneiden verkko

Myös teollisuus on herännyt ajatukseen koneiden yhdistämisestä verkkoon. Eikä välttämättä internetiin, vaan tehtaan sisäiseen koneiden verkkoon, jota ohjataan ja monitoroidaan ns. yläjärjestelmästä (SCADA). Koneiden yhdistämistä internetiin on pyritty välttämään tietoturvariskien ja toisaalta ihan konkreettisten turvallisuusriskien takia.

Jos on yhteys internetiin, on aina riski hakkeroinnista, haittaohjelmien leviämisestä tai muunlaisesta verkkohyökkäyksestä. Nämä voivat johtaa reseptien/muun varjellun tiedon varastamiseen, koneiden rikkoutumiseen tai pahimmassa tapauksessa henkilövahinkoihin, jos prosessin toimintaa häiritään ulkoverkosta.

Mitä koneiden verkolla sitten saavutetaan?

Esimerkiksi kunnossapidolla voisi olla oma lähiverkko, johon koneet lähettäisivät käyttötuntitietoja ja muuta anturidataa, joista voisi analysoida huoltojen tarvetta ja vikatilanteissa datasta saadaan apua vianhakuun. Suuriin järjestelmiin usein kuuluu paljon erilaisia koneita, joilla ei ole yhteistä väylää tai edes IO-tason kärkitietokommunikaatiota.

Koneiden verkolla voidaan optimoida erilaisten koneiden yhteistoimintaa. Väyläprotokollia on vääjäämättä tehtaissa erilaisia, mutta erilaisten järjestelmien yhteen liittämiseksi löytyy ratkaisuja niin komponentti kuin ohjelmatasollakin. Löytyy rautatason väylämuunninyksiköitä ja toisaalta yleisessä käytössä on myös ohjelmatason muuntimia, jotka kääntävät halutun prosessidatan jollekin tietylle standardoidulle ylemmän tason protokollalle (esimerkiksi OPC).

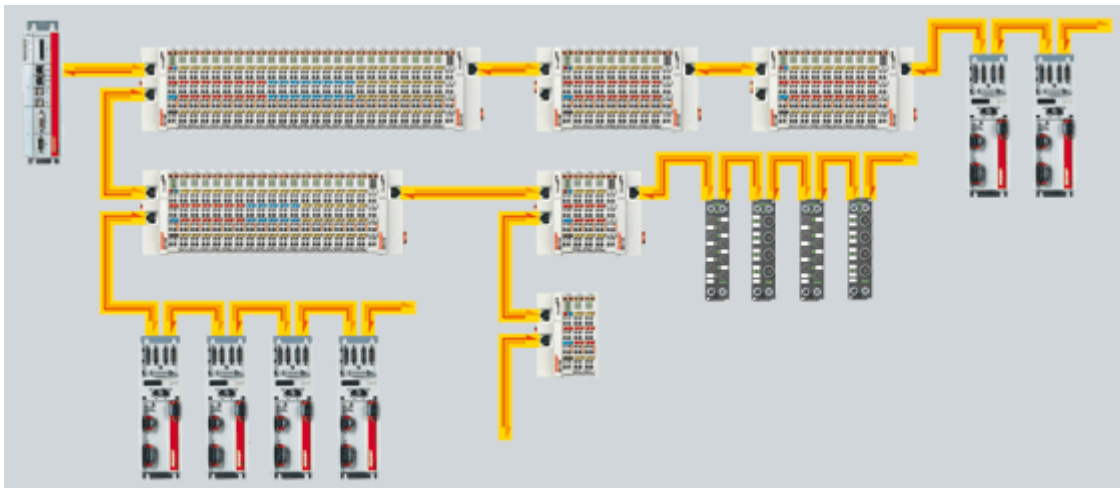
Industrial internetistä puhuttaessa mainitaan usein myös termi ”big data”, jolla kuvataan mahdollisuutta kerätä valtava määrä dataa. Tätä dataa analysoimalla, voidaan prosesseja jalostaa ja luoda uusia toimintoja myös verkkorajapintaan. Massiivisen datamäärän järkevällä käsittelyllä koneista voidaan luoda itseoppivia (tekoäly).

(Miikka Kiiski 2014) (Jacob Morgan 2014)

## 2.2 Hajautettu kenttäväylä

Hajautettu kenttäväylä tarkoittaa niin sanottujen etäkäytettävien I/O-moduulien käyttöä järjestelmissä. Hajautetun kenttäväylän voisi ajatella olevan ensivaihe koneiden yhdistymiselle toisiinsa. Aiemmin sekä PLC, että I/O-kortit ovat olleet yhdessä sähkökeskuksessa ja kaikki järjestelmän anturit ja toimilaitteet on kaapeloitu tähän kaappiin.

Hajautetun väylän ansiosta logiikan IO-kortti tuodaan lähelle antureita ja anturitiedot kulkevat yhdessä väyläkaapelissa digitaalisesti etäyksiköltä toiselle. Näin säästetään kaapeloinnissa valtavasti aikaa, sekä järjestelmästä saadaan toimintavarmempi, kun ei ole pitkiä häiriöherkkiä kaapelointeja. Kuvassa 3 Beckhoffin EtherCAT-väylään liitetty useita hajautettuja IO-kortteja ja servo-ohjaimia.

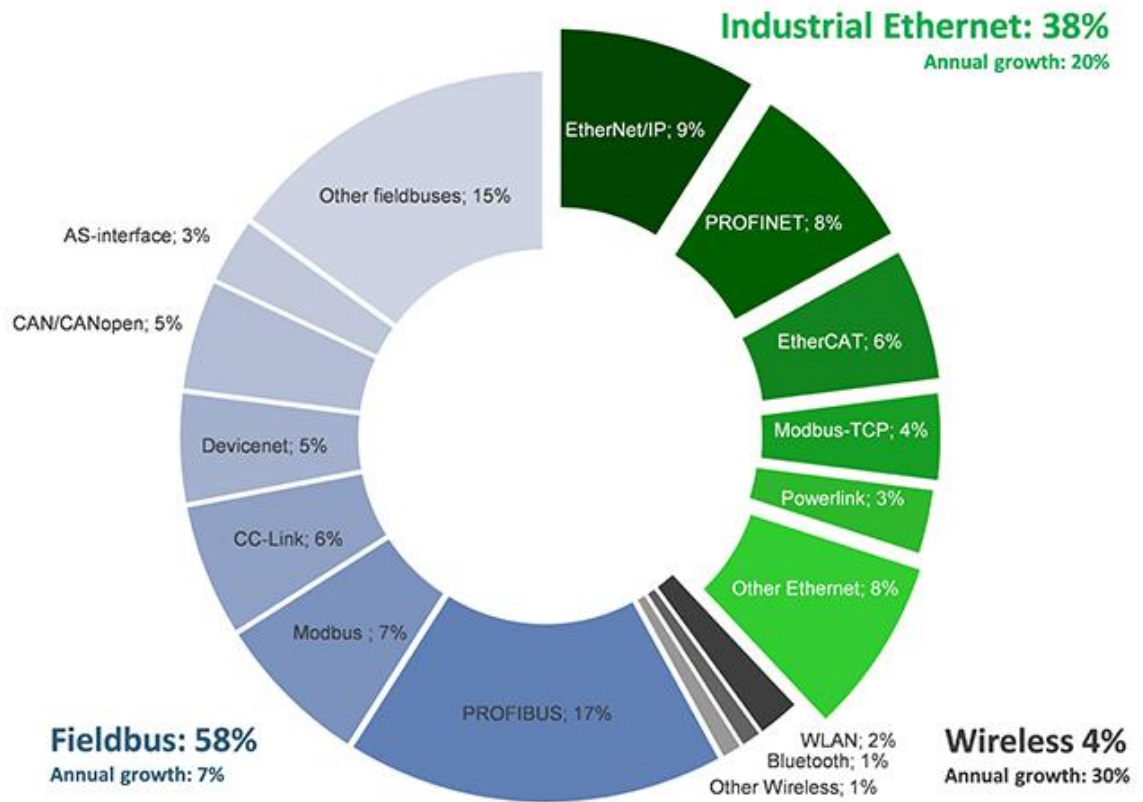


KUVA 3. Hajautettu EtherCAT-kenttäväylä (Beckhoff)

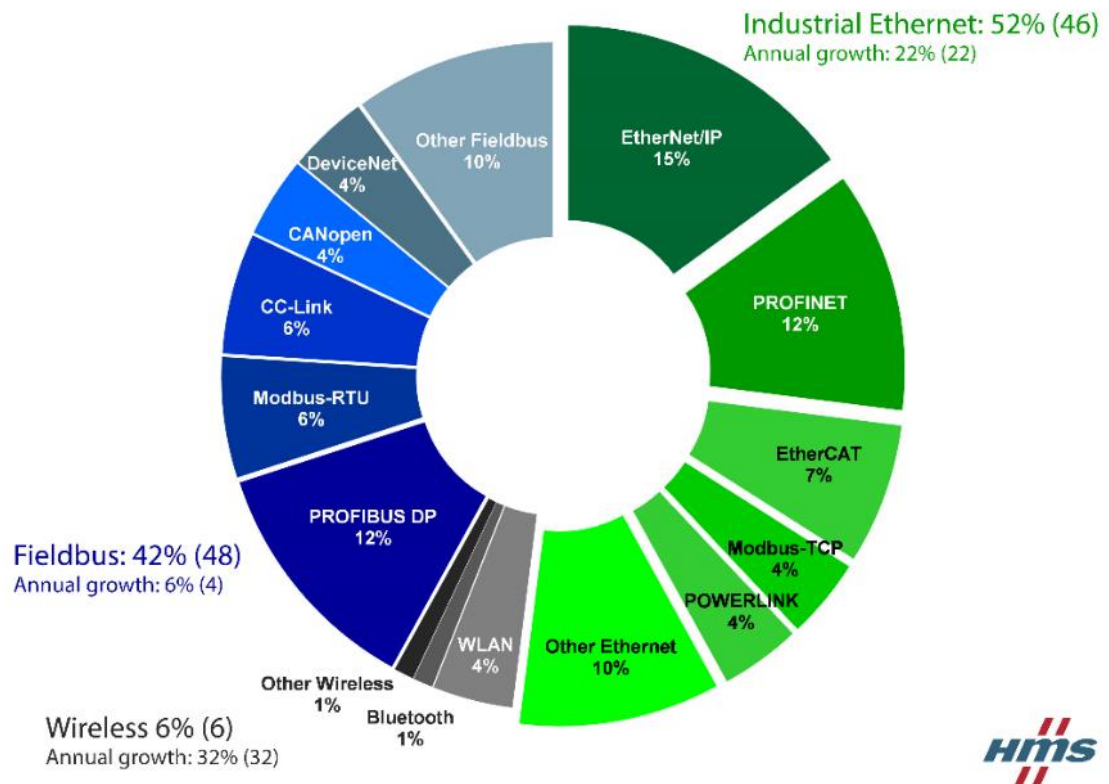
HMS Networks on ruotsalainen väyläratkaisujen toimittaja. Tuotevalikoimissaan HMS Networks tarjoaa erilaisia väylämuuntimia protokollasta toiseen. Globaalilla yrityksellä on jakelijoita yhteensä yli viidessäkymmenessä maassa. Kuvassa 4 on HMS Networksin oma ennuste vuoden 2016 väyläprotokollien jakaantumisesta markkinoilla.

(HMS 2018)

Verrattaessa kuvia 4 ja 5 voidaan huomata teollisten Ethernet-pohjaisten väylien (Industrial Ethernet) huomattava kasvu perinteisiin kenttäväyliin (Fieldbus) nähden. Teollisuudessa ylipäätään siirtyminen uusiin järjestelmiin on hyvin hidasta, sillä investoinnit ovat yleensä kerralla suuria ja teollisuuskomponenteilla on yleisesti ottaen pitkä elinkaari.



KUVA 4. Väyläprotokollien käytön jakaantuminen vuonna 2016 (HMS, 2016)



KUVA 5. Väyläprotokollien käytön jakaantuminen vuonna 2018 (HMS, 2017)

### 2.3 EtherCAT -kenttäväylä

EtherCAT (lyhenne sanoista Ethernet for Control Automation Technology) on Beckhoffin vuonna 2003 lanseeraama väyläprotokolla. Se kehitettiin alun perin yrityksen omien komponenttien väliseen yhteydenpitoon, mutta hyväksi havaittu IEC 61158-standardoitu avoin väyläprotokolla alkoi pian yleistyä ja se on sittemmin vakiinnuttanut paikkansa yhtenä merkittävimmistä. EtherCAT on teollisuuskäyttöön käännetty ethernet-väylä.

EtherCATin etu perinteisiin kenttäväyliin nähden on sen suuri väylänopeus, väyläkaapelin kantama sekä yhteensopivuus ethernet-pohjaisten komponenttien kanssa. Yhteensopivuus mahdollistaa siis varsin yleisen CAT6-parikaapelin käytön väyläkaapelina, myös liittimet ovat tavalliset RJ45.

Muutos väylän tiedonsiirrossa on perinteisiin kenttäväylämenetelmiin nähden suuri. Aiemmin prosessidata-paketti (frame) vastaanotettiin, tulkattiin, kopioitiin ja jatkolähetettiin väylän jokaisessa solmukohdassa (node). Nyt EtherCAT-väylässä kulkee yksi prosessidata-paketti, josta väylän moduulit lukevat ja kirjoittavat datan siihen ”lennossa” paketin ohittaessa ne. EtherCAT täyttää ns. reaaliaikaisuusvaatimukset 100 Mbit/s väylänopeudellaan (Profibus DP nopeus 9 – 12 Mbit/s).

Koneistuskoneiden ja muiden aikakriittisten koneiden toiminnan kannalta erittäin tärkeitä on se, että eri järjestelmien CPU-kellot (Real-time clock) toimivat synkronissa eli samaan tahtiin. Reaaliaikaisuus on termi, jota käytetään puhuttaessa väylärakenteista ja ohjelman kiertoajasta. Reaaliaikaisuus tarkoittaa käytännössä sitä, että järjestelmä toimii ilman merkittävää viivettä, edellytyksenä tälle on nopea väyläkommunikaatio ja kevyt ohjelman suoritusrakenne. (EtherCAT Technology Group 2018)

## 2.4 Pilvipalvelut

Erilaiset pilvipalvelut ovat yleistyneet sekä kuluttaja- että yrityskäytössä. Datan säilytys ulkoisilla palvelimilla on ollut jo kauan yleinen käytäntö tärkeiden dokumenttien suojaamiseksi. Viime vuosina myös kuluttajille on suunnattu helposti käyttöönotettavia palveluita esimerkiksi puhelimen kuvien varmuuskopiointiin pilvipalveluihin.

Nouseva trendi on yksittäisten koneiden, tuotantolinjojen tai kokonaisen tuotantojärjestelmän palveluun tuottaman datan monitorointi, analysointi ja raportointi. Ohjelmoitavien logiikoiden valmistajat esimerkiksi tarjoavat omia alustojansa käyttäjärajapinnan rakentamiseen. Lisäksi on erillisiä ohjelmointipalveluja tuottavia yrityksiä, jotka ovat erikoistuneet konerajapintoihin liittymiseen ja valvomoratkaisuihin (SCADA), näistä globaalisti tunnetuimmat ovat Wonderware ja Indusoft.

Valmiita alustoja käyttämällä myös teollisuuden automaattioratkaisuja tarjoavat yritykset voivat ketterästi luoda asiakkailleen pilvipalveluja.

## 2.5 Anyviz -pilvipalvelu

Yhtenä tavoitteena projektille oli rakentaa jonkinlainen rajapinta internetin kautta laitteeseen. CODESYS Store mainostaa kirjastoa Anyviz-portaaliin. Storen tarjoamiin ohjelmiin löytyy yleensä hyvät dokumentaatiot, joten palvelua päätettiin kokeilla.

Anyviz markkinoi itseään helpolla käytettävyydellä, ilmaisella kommunikaatioadapterilla ja graafisella ohjelmointiympäristöllä. Adapteri PLC-ohjelmasta web-serverille löytyy suoraan ladattavana ohjelmalohkona CODESYS-pohjaisille logiikoille, Windows CE käyttöjärjestelmälle, ARM-pohjaisille Linux laitteille, sekä adapterit suoraan OPC UA ja MQTT protokollille.

Varsinainen HMI eli käyttöliittymä on HTML5-pohjainen drag & drop -periaatteella toimiva graafinen ohjelmointiympäristö. Palvelu toimii siis internetselaimessa, sivustolla <http://anyviz.de>. Portaaliin rekisteröidään oma käyttäjätili ja samat tunnukset syötetään PLC-ohjelmalohkoon. Näin PLC avaa suoraan yhteyden portaaliin ja päivittää halutut muuttujat palveluun.

Graafinen ohjelmointiympäristö on pidetty hyvin minimalistisena ja se onkin erittäin helppokäyttöinen. Haluttu muuttuja (tag) raahataan sivulle ja sen jälkeen konfiguroidaan millä tavalla muuttujan arvoa halutaan esittää. Vaihtoehtoina on suoraan tekstinä, taulukona, trendinä, kaaviona tai jonain muuna graafisena näkymänä.

Erilaisia näkymiä rakentaessa selvisi palvelun liiketoimintamalli. Ilmainen käyttöympäristö on rajoitettu kymmeneen muuttujaan ja tiedon tallentaminen on rajoitettu 360 lukuarvoon tunnissa. Tämä on ymmärrettävää, sillä palvelu on hyvä ja toimintaa on kuitenkin rahoitettava. Suurin kulu myös Anyviz-palvelulle on kaiken asiakasdatan säilytys. Data saattaa asiakkaille olla hyvinkin kriittistä ja se on varmuuskopioitava useille eri palvelimille.

Hinnoittelu perustuu siihen, kuinka montaa muuttujaa haluat käyttöliittymässä seurata ja kuinka paljon dataa halutaan talteen. Ensimmäinen maksullinen tuotepaketti on 25 käytettävää muuttujaa, jolloin hinnaksi muodostuu 25 € / kk. Arvokkain tuotepaketti maksaa 600 € / kk ja se sisältää 5000 muuttujaa ja 10 000 tallennettavaa arvoa tunnissa.

(Anyviz 2018)

## 2.6 CODESYS

Controller Development System on saksalaisen ohjelmistoyrityksen 3S-Smart Software Solutionin vuonna 1994 julkaisema ohjelma, joka kehitettiin IEC61131-3 standardin pohjalta. Ohjelma on lisenssivapaa ilmaisohjelma ja se on ladattavissa valmistajan sivuilta. Ohjelmasta on kaksi jakeloversiota V2 ja V3, projektissa on käytetty uudempaa versiota CODESYS V3.5. Yli 350 logiikkavalmistajaa käyttää omissa ohjelmointiohjelmissaan CODESYS-alustaa pohjana, mistä johtuen yhteneväisyyksiä on paljon. CODESYS-pohjaisia ohjelmia käyttävät muiden muassa Beckhoff, ABB, Festo, WAGO ja Rexroth.

(CODESYS 2018/2010)

Projektin koko elinkaaren aikana PLC-ohjelmointi on tullut enenemässä määrin tutuksi päivätöiden parissa. Lähtötilanteessa ohjelmointikokemus oli hyvin vähäistä. Internetissä on kuitenkin paljon hyvää materiaalia ohjelmoinnista, kunhan vain löytää oikeat kanavat. Lähes kaikenlaisiin sovelluksiin, mitä vain kuvitella saattaa on joku jo ehtinyt tehdä jonkinlaisen ohjelman. Pyörää ei kannata yrittää keksiä uudestaan, sillä niin kutsuttua



avointa koodia on olemassa paljon. Insinöörin tärkeimpiä taitoja on hyödyntää jo kertaalleen tehtyä työtä.

Älykkäämpien ohjelmointikielien (C, C#, Python) parissa erilaisten ohjelmapätkien jakaminen on huomattavasti yleisempää, kuin automaatio-ohjelmoinnin saralla. Ohjelmankirjoittajia on myöskin suunnattomasti paljon enemmän ohjelmistokehityspuolella. Sivustoilla kuten GitHub ja SourceForge löytyy hyvin monipuolisesti ohjelmapätkiä kaikenlaisiin sovelluksiin ja niiden ympärille on luotu keskusteluja ohjelmien jälleen kehittämiseksi.

Tässä projektissa on hyödynnetty OSCAT -yhteisön (Open Source Community for Automation Technology) julkaisemia toimintaloikoja. Ei-kaupallinen yhteisö tarjoaa sivustolleen forumin, jossa keskustella erilaisista ohjelmointiratkaisuista, sekä kolme erilaista ja erittäin laadukasta ohjelmointikirjastoa. Yhdessä kirjastossa on tarjolla pääasiassa matemaattisia aputoimintoja, toisessa erilaisia verkkoon liitettäviä toimintoja ja kolmannessa on rakennusautomaatioon liittyviä ratkaisuja. (OSCAT 2015)

## 3 HARDWARE

### 3.1 Komponenttien valinta ja hankinta

Laitteistoa varten päädyttiin hankkimaan Beckhoff EK1100-moduuli ja muutamia logiikkakortteja. Beckhoff logiikkakomponentit sekä Beckhoffin oma CODESYS-pohjainen Twincat-ohjelmisto oli tullut tutuksi aiemmin.

Beckhoff käyttää korteissaan kahta erilaista sisäistä taustaväylärakennetta, E-väylää ja K-väylää, joista käyttöön valittiin uudempi E-väyläinen. Komponentteja valitessa on huomioitava, että eri taustaväyläiset komponentit eivät ole yhteensopivia keskenään vaikka ne ovat mekaanisesti yhteensopivia.

Teollisuuskomponenttien hankkiminen yksityishenkilönä on Suomessa hankalaa, sillä sähkötarviketukut ovat pääasiallisesti keskittyneet yritysmyyntiin. Komponentit hankittiin lopulta ebay.com –verkkokaupasta. Osa komponenteista oli käytettyjä ja osa tuli tukkukaupoista Kiinasta.

#### 3.1.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi on brittiläisen Raspberry Pi Foundationin kehittämä yhden piirilevyn tietokone (Kuva 6). Cambridgen yliopiston sekä puolijohdepiirejä valmistavan Broadcomin vuonna 2009 perustama säätiö luotiin kannustamaan tietotekniikan opetusta kouluissa. Ensimmäinen malli julkaistiin 29.02.2012 ja se oli välittömästi valtavan suosittu.

Projektia varten hankittiin Raspberry Pi 2 tietokone. Helmikuussa 2015 julkaistussa tietokoneessa on 900 MHz:n 32-bittinen neliydinprosessori, 1 GB RAM muistia. Tehoa on varsin riittävästi logiikkakäyttöön, esimerkiksi paljon teollisuudessa käytettävässä Beckhoff CX5010–mallissa on yksiytiminen 1.1 GHz suoritin ja 512 MB RAM muistia. Beckhoff logiikoihin saa lisäoptiona Windows -käyttöjärjestelmästä hiukan kevennetyn Embedded version. RPi:n on mahdollista asentaa erilaisia Linux-jakeluversioita.



KUVA 6. Raspberry Pi 3, uudempi RPi on samankokoinen kuin vanha, versio 2

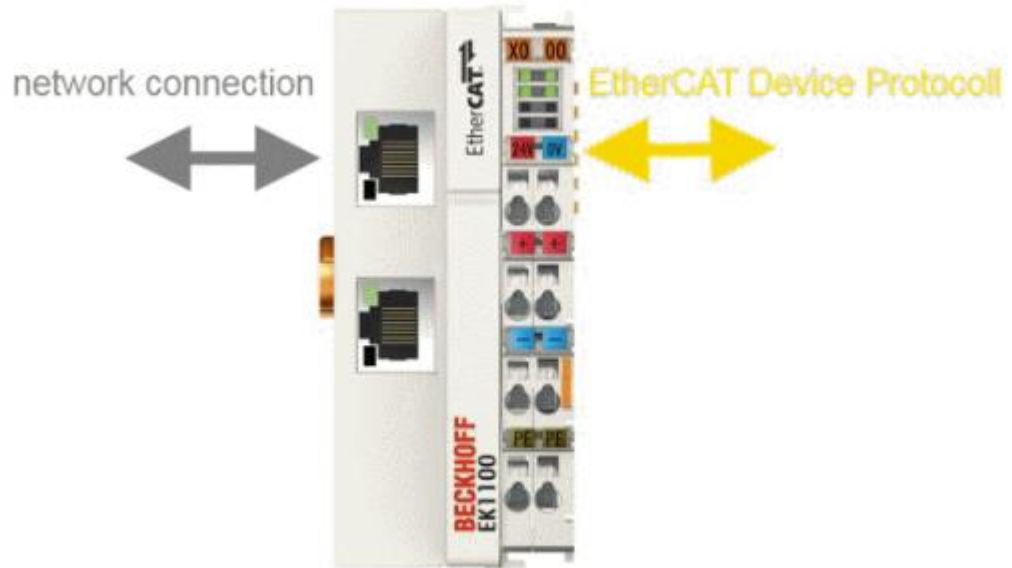
Tehoa tietokone kuluttaa 2,1 W ja sitä syötetään 5 Voltin microUSB-liitännästä. Laitteessa on 4 kpl USB 2.0 portteja, videoulostuloina HDMI ja komposiitti RCA, ääniulostulona 3,5 mm jakki, ethernet-portti sekä 40-pinninen GPIO-liitin. GPIO tulee sanoista General Purpose Input Output ja se tarkoittaa, että pinni voidaan määritellä joko signaalin vastaanottajaksi (Input) tai lähettäjäksi (Output).

Käyttöjärjestelmiä on useita. Näistä suurin osa on erilaisia Linux-jakeluversioita. Tunnetuin ja projektissa käytetty järjestelmä on Debian-jakelupaketista jalostettu Raspbian. Käyttöjärjestelmät ovat ladattavissa ilmaiseksi Raspberry Pi Foundationin kotisivuilta. Käyttöjärjestelmä asennetaan microSD-kortille, joka toimii RPi:n massamuistina.

Ainoa puute RPi:ssa on reaaliaikakello (Real Time Clock), tämä tarkoittaa, että sähkökatkon sattuessa tietokoneen kellonaika ja päivämäärä nollautuu. RPi:n on erikseen saatavissa GPIO-liittimeen liitettävä RTC-moduuli. Toisaalta RPi osaa asettaa oikean ajan järjestelmään verkon kautta, jos se on yhteydessä internetiin. (Raspberry Pi Foundation 2018)

### 3.1.2 Beckhoff EK1100

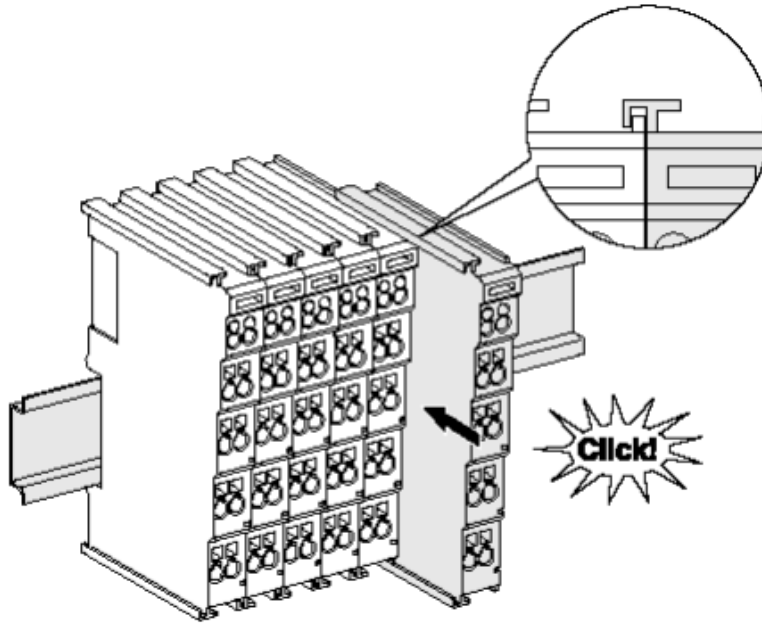
EK1100 on EtherCAT-väylän kautta kommunikoiva IO-hajautuskortti (KUVA 7). Se toimii EtherCAT-väylässä niin sanottuna slave-yksikkönä. RJ45-porttiin tuodaan EtherCAT-väylä ja toisesta portista jatketaan seuraavalle laitteelle. Terminaaleihin kytketään käyttöjännite +24 VDC sekä PE. Kortille on oma toiminnallinen virransyöttö ja toinen virransyöttö on perään lisättäviä IO-kortteja varten.



KUVA 7. EK1100 (EK1100 manuaali, Beckhoff)

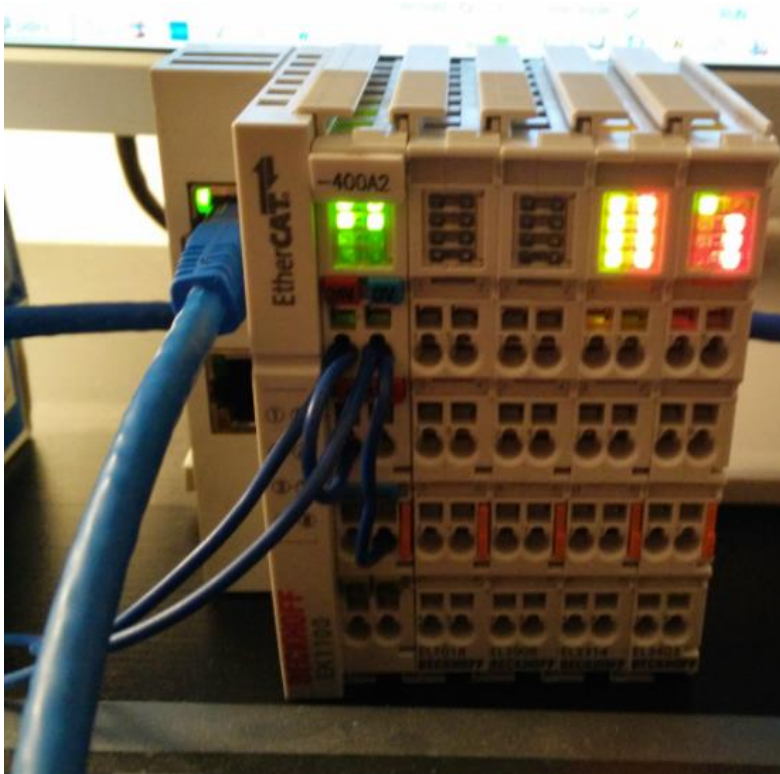
Kortin oikealle puolelle voi lisätä tarpeen mukaan erilaisia IO-kortteja riviin. Kortit painetaan hahloja pitkin pohjaan asti. Kuvassa 8 on havainnoitu kuinka kortit kiinnittyvät toisiinsa. Korttien järjestyksessä on huomioitava, että toiset kortit saattavat tarvita oman virtalähdekortin kyseisen kortin vasemmalle puolelle. Joissain korteissa virran syöttö saattaa katketa, jolloin seuraavaksi kortiksi tulee valita virransyöttökortti.

(Beckhoff 2017)



KUVA 8. Korttien kiinnitys toisiinsa (EK1100 manuaali, Beckhoff)

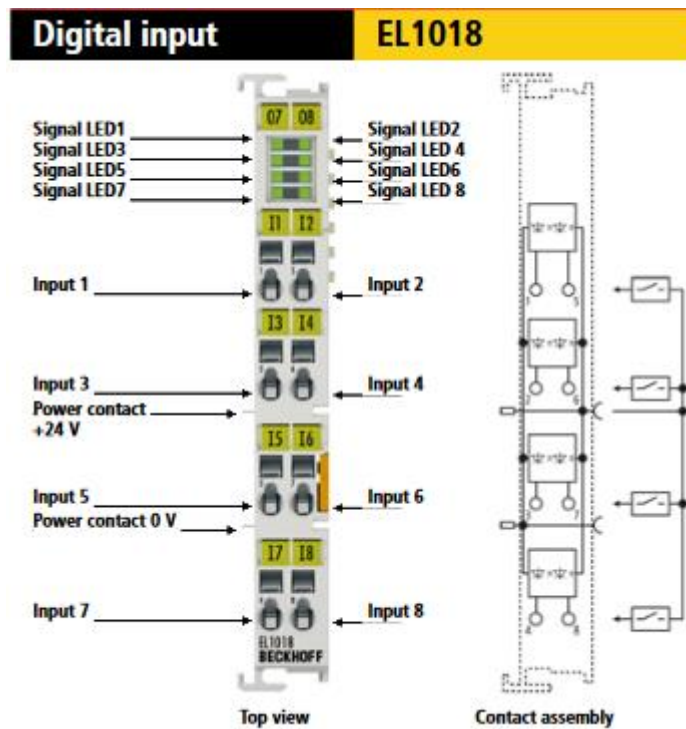
Korttien kyljessä olevat kontaktit kuljettavat taustaväylän ja IO-käyttöjännitteen korteille. Korttien pohjassa on ura DIN-kiskoon kiinnitystä varten. Kuvassa 9 logiikkakorttipaketti ensimmäistä kertaa kasassa.



KUVA 9. Kortit kiinni EK1100-moduulissa ja ohjausjännite päällä

### 3.1.3 Beckhoff EL1018

EL1018 on kahdeksankanavainen digitaalitulokortti (KUVA 10). Sillä on huomattavasti nopeampi näytteenottotaajuus (10 us) kuin yleisemmällä EL1008-moduulilla (3 ms). EL1018 pystyy siis vastaanottamaan 1 MHz:n taajuudella pulsseja. Tästä ominaisuudesta on hyötyä, jos tarvitaan esimerkiksi erittäin nopeata pulssitietoa joltain anturilta.

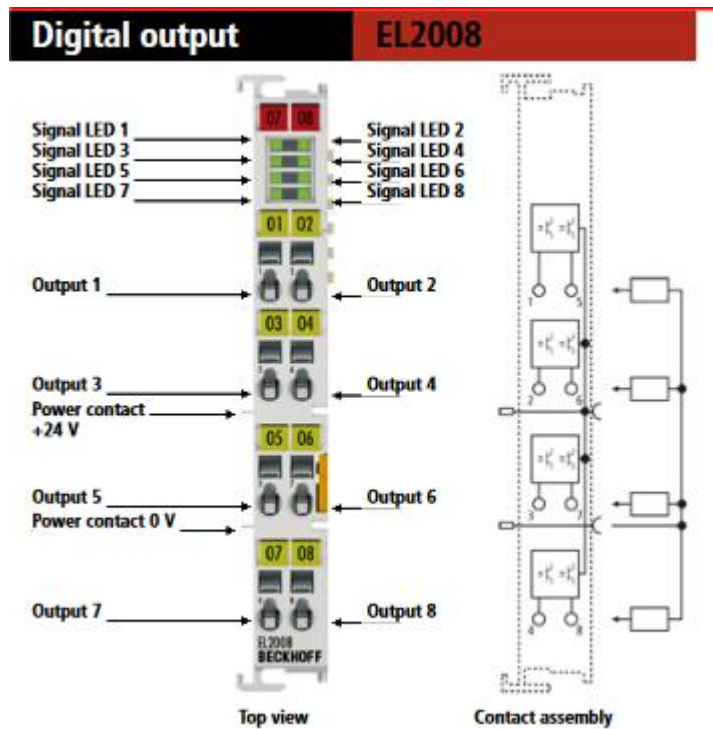


KUVA 10. EL1018 (EL1018 manuaali, Beckhoff)

Kortin yläosassa on kullekin kanavalle merkkivalo sen tilasta. Useimmiten digitaalitulokortteihin kytketään antureiden tilatietoja, painonappeja tai esimerkiksi kontaktorien tilatietoja. Työssä korttiin kytkettiin kaksi nappia. (Beckhoff 2016)

### 3.1.4 Beckhoff EL2008

EL2008 on kahdeksankanavainen digitaalilostulokortti (KUVA 11). Kun jokin kanavalähtö on päällä, kyseiseen lähtöön ohjataan +24 VDC jännite. Jokaisesta kanavasta voi ohjata laitteita maksimissaan 500 mA:n virralla päälle ja pois.

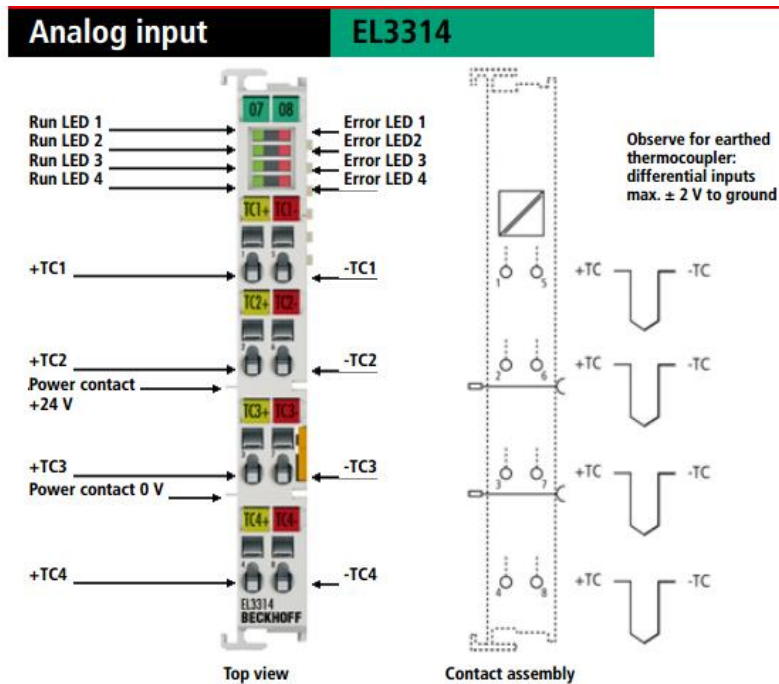


KUVA 11. EL2008 Ulostulokortti (EL2008 manuaali, Beckhoff)

Kortin yläosassa merkkivalot kullekin kanavalle kanavan tilasta. EL2008 ulostulokortin kanavalähdön päällekytkentäaika on tyypillisesti noin 60  $\mu$ s ja laskuaika 300  $\mu$ s. Se kykenee siis pulssittamaan lähtöä päälle noin 2,7 kHz:n taajuudella. Kortilla voidaan ohjata esimerkiksi kytkemään ohjausrele, kontaktori tai vaikka jokin taajuusmuuttajan ohjaussignaali päälle. (Beckhoff 2017)

### 3.1.5 Beckhoff EL3314

EL3314 on 4-kanavainen lämpötilanmittauskortti (KUVA 12). Siinä on sisäänrakennettuna lähettimet K-, J-, L-, E-, T-, N-, U-, B-, R-, S-, C- ja mV-tyypin lämpötila-antureille. K-tyypin anturi on konfiguroitu oletuksena. Anturi kytketään korttiin kahdella johtimella. Kortin mitta-arvojen käsittelytarkkuus on  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja ilmoitettu mittausvirhe kortille on  $< \pm 0.3\%$ .



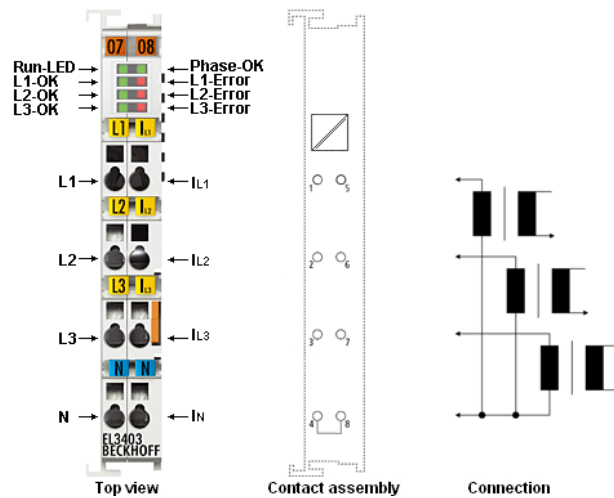
KUVA 12. EL3314 Lämpötila-anturikortti (EL3314 manuaali, Beckhoff)

Mittausalue K-tyypin anturille on  $-200\dots+1370\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kortin yläosassa on kullekin kanavalle diagnostiikkavalot, vihreä merkkivalo tarkoittaa kanava OK ja punainen merkkivalo tarkoittaa avoin virtapiiri (anturin johdin poikki). AD-muuntimen käännsäika on  $20\text{ ms}\dots 2.5\text{ s}$  riippuen suodatuksen asetuksista. (Beckhoff 2017)



### 3.1.6 Beckhoff EL3403

Energiamittauskorttiin kytketään vasemmalle puolelle vaiheet ja nollapotentiaali jännitteenmittausta varten ja oikealle puolelle kunkin vaiheen virtamittausmuuntimet. Raaka-arvoina kortilta voi lukea jännitteen, virta-arvon, pätötehon ja niin sanotun Index-arvoa muuttamalla voidaan lisäksi lukea kunkin vaiheen näennäisteho, loisteho, energiankulutus, tehollisarvo  $\cos\phi$ , taajuus sekä syötetty energiamäärä. Kuvassa 13 kortin kytkentäterminaalit.



KUVA 13. EL3403 Energiamittauskortti (EL3403 manuaali, Beckhoff)

Kun raaka-arvot luetaan ohjelmaan sisään, täytyy arvot kertoa korjauskertoimilla esitystä varten. Kuvassa 14 on määritelty kertoimet, joita käyttämällä suure saadaan normaalisti esitettävään muotoon.

#### Scale factors EL3403-0000

Values	Calculation
Current	Raw values x 0.000001 A x current transformation ratio
Voltage	Raw values x 0.0001 V x voltage transformation ratio
Active power	Raw values x 0.01 W x current transformation ratio
Apparent power	Raw values x 0.01 VA x current transformation ratio
Reactive power	Raw values x 0.01 VAR x current transformation ratio
Energy	Raw values x 0.001 Wh x current transformation ratio
cosPhi	Raw values x 0.001
Frequency	Raw values x 0.1 Hz

KUVA 14. Skaalauskerroimet kullekin suurelle (EL3403 manuaali, Beckhoff)

Käytännössä EL3403 mittaa taajuuden (yhdeältä vaiheista, määriteltävissä) vaihejännitteet, vaihevirratt ja vertailee näiden vaihe-eroja ( $\varphi$ ). Loput suureet kortti laskee.

Pätöteho (Active power)  $P$  lasketaan seuraavanlaisella laskukaavalla

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad (1)$$

jossa  $U$  on vaihejännite,  $I$  on vaihevirta ja  $\cos\varphi$  on tehollisarvo.

Näennäistehon (Apparent power)  $S$  laskukaava

$$S = U \cdot I, \quad (2)$$

jossa niin ikään  $U$  on vaihejännite,  $I$  on vaihevirta.

Loisteho (Reactive power)  $Q$  lasketaan seuraavanlaisella laskukaavalla

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi, \quad (3)$$

jossa  $U$  on vaihejännite,  $I$  on vaihevirta ja  $\sin\varphi$  on loistehokerroin.

(Tekniikan Kaavasto 2008)

Energian kulutuksen laskukaava on seuraavanlainen

$$E = P \cdot t, \quad (4)$$

jossa  $P$  on pätöteho ja  $t$  on kulunut aika tunteina. (Sähkötekniikka 2015)

Kortin laskentakuormaa on säästetty siten, että kaikkia arvoja ei lasketa jatkuvasti. Tästä syystä on luotu muuttuja Index, jonka arvoa muuttamalla valitaan mitä suureista halutaan laskettavan. Kuvan 15 taulukosta voi lukea, että esimerkiksi Index-arvon ollessa 2 'Variant-Value' -muuttujaan tuodaan energiankulutuksen (Energy) laskenta.

### 6.6.4.2 Input data

#### Index 6000 PM Inputs Ch.1

Index (hex)	Name	Meaning	Data type	Flags	Default																														
6000:0	PM Inputs Ch.1	Largest subindex of this object	UINT8	RO	0x1D																														
6000:0E	Sync Error	reserved	BOOLEAN	RO	0x00 (0 <sub>dec</sub> )																														
6000:10	TxPDO Toggle	This is toggled with each positive zero crossing of channel 1	BOOLEAN	RO	0x00 (0 <sub>dec</sub> )																														
6000:11	Current	Current channel 1 Unit: 0.000001 A	INT32	RO	0x00000000 (0 <sub>dec</sub> )																														
6000:12	Voltage	Voltage channel 1 Unit: 0.0001 V	INT32	RO	0x00000000 (0 <sub>dec</sub> )																														
6000:13	Active power	Active power channel 1 Unit: 0.01 W	INT32	RO	0x00000000 (0 <sub>dec</sub> )																														
6000:14	Index	Acknowledge for variable output value channel 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Index (dec)</th> <th>Name</th> <th>Unit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>Apparent power</td><td>0.01 VA</td></tr> <tr><td>1</td><td>Reactive power</td><td>0.01 VAR</td></tr> <tr><td>2</td><td>Energy</td><td>0.001 Wh</td></tr> <tr><td>3</td><td>cosPhi</td><td>0.001</td></tr> <tr><td>4</td><td>Frequency</td><td>0.1 Hz</td></tr> <tr><td>5</td><td>Energy (negative)</td><td>0.001 Wh</td></tr> <tr><td>6-99</td><td>reserved</td><td>-</td></tr> <tr><td>100</td><td>Timestamp of the Distributed Clocks [► 90]</td><td>1 ns</td></tr> <tr><td>101-255</td><td>reserved</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Index (dec)	Name	Unit	0	Apparent power	0.01 VA	1	Reactive power	0.01 VAR	2	Energy	0.001 Wh	3	cosPhi	0.001	4	Frequency	0.1 Hz	5	Energy (negative)	0.001 Wh	6-99	reserved	-	100	Timestamp of the Distributed Clocks [► 90]	1 ns	101-255	reserved	-	RO	0x00 (0 <sub>dec</sub> )
Index (dec)	Name	Unit																																	
0	Apparent power	0.01 VA																																	
1	Reactive power	0.01 VAR																																	
2	Energy	0.001 Wh																																	
3	cosPhi	0.001																																	
4	Frequency	0.1 Hz																																	
5	Energy (negative)	0.001 Wh																																	
6-99	reserved	-																																	
100	Timestamp of the Distributed Clocks [► 90]	1 ns																																	
101-255	reserved	-																																	
6000:1D	Variant-Value	variable output value channel 1 (see index 0x6000:14)	INT32	RO	0x00000000 (0 <sub>dec</sub> )																														

KUVA 15. Mitattavat suureet ja Index-taulukko (EL3403 manuaali, Beckhoff)

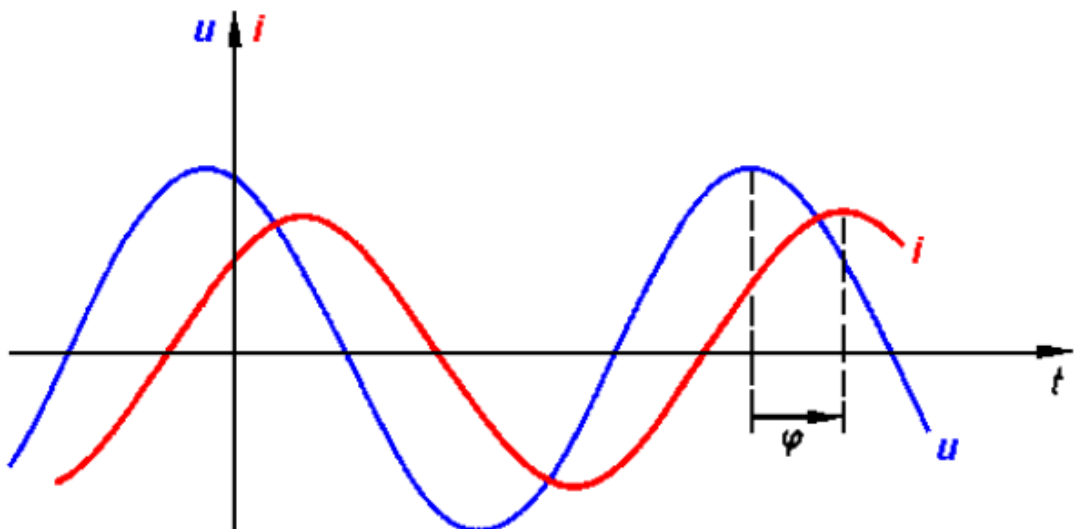
Jotta kaikki muuttujat saadaan luettua ohjelmaan, kirjoitettiin ohjelmanpätkä, joka rullaa Index-arvoa 0..4 joka ohjelmakierrolla. Ohjelman keskimääräinen kiertoaika on noin 550 µs, eli kun viive yhden variantin laskennalle on viisi ohjelmakiertoa, ajassa se tarkoittaa 2,75 ms. Tarkkuutta voidaan pitää edelleen hyvänä, mutta asia on hyvä tiedostaa, jos tämänkaltaista mittalaitetta rakentaa. Ohjelman kiertoaika riippuu siitä, kuinka raskas ohjelmasta on tehty.

Mittauskortti kykenee mittaamaan arvoja aina 260 Hz:n taajuuteen asti, optimi taajuus on kuitenkin 45 – 65 Hz. Maksimi vaihejännite kortille on 288 VAC. Arvot, jotka luetaan kortilta ovat RMS-arvoja eli keskiarvoistettuja. Kortin mittaustaajuus on kymmenen jaksonaikaa. Jaksonajalla tässä tapauksessa tarkoitetaan sinimuotoisen jännitteen jaksonaikaa. Käytännössä siis mittaussampleja luetaan 200 ms:n välein. Kortin käyttöohjeen mukaan tämän on arvioitu olevan paras kompromissi mittaussnopeuden ja vakauden kannalta. Kuvassa 16 on taulukoitu kortin arvojen käsittelytarkkuudet (Resolution).

Resolution	Voltage	0.1 mV
	Current	1 $\mu$ A
	Power	10 mW
	Energy	1 mWh
	Cos phi	0.001
	Frequency	0.1 Hz
Measuring accuracy (with sinusoidal voltage; with sinusoidal current)		0.5% (U/ I) 1% calculated values (P) (at 0 °C ... +55 °C, relative to the full scale value:)  1% (U/ I) 2% calculated values (P) (when the extended tempera- ture range is used)

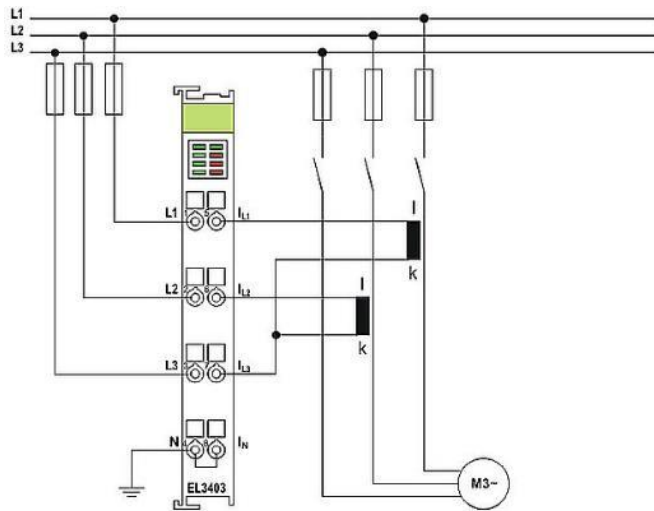
KUVA 16. Arvojen käsittelytarkkuus (EL3403 manuaali, Beckhoff)

Kuvassa 17 punainen käyrä virta ja sininen jännite. Virta kulkee jäljessä jännitteeseen nähden, eli kuormassa on induktiivista loistehoa. Vaihesiirto  $\varphi$  voidaan lukea jännitteen ja virran huippuarvojen erosta. (Beckhoff 2015)



KUVA 17. Jännitteen ja virran vaihesiirto (EL3403 manuaali, Beckhoff)

Kuvassa 18 mittausjärjestely kun mittapiirissä kolmivaiheista kuormaa.



KUVA 18. Moottoripiiriin mittaus (EL3403 manuaali, Beckhoff)

Kolmivaiheisella symmetrisellä kuormalla virtojen summa on nolla. Tällöin virtamuuntimia kytetään vain kaksi ja muuntimien käämien toiset päät kytkeytyvät rinnan kolmannen vaiheen virranmittausterminaaliin. (Ahoranta J. 2015)

Nykyinen mittauskaapeli ei mahdollista tällaista vaihtoehtoa. Jatkoa ajatellen on hyvä valmistaa myös tämänlainen mittauskaapeli. Käytännössä kotitalouksissa ei yleensä ole kolmiokytkentäisiä laitteita, ellei taloudessa ole esimerkiksi raskaampia koneita.

### 3.1.7 K-tyyppin anturi

K-tyyppin anturi on yleinen termopari -tyyppinen anturi (KUVA 19). Termoparit valmistetaan metallipareista, jotka reagoivat lämpötilaeroon. Termoparin lämpötilaeron noustessa parien välinen jännite kasvaa. Jännite-erosta saadaan mitattua suoraan lämpötila.

K-tyyppin metalliparit ovat cromel ja alumel, joista cromel on nikkelin ja kromin seos ja alumel on nikkelin ja alumiinin seos. (SKS Sensors 2018)



KUVA 19. K-tyyppin lämpötila-anturi

### 3.1.8 Virtamuunnin

Ensimmäiset virtamuuntimet tilattiin Kiinasta, ne olivat nykyisiä huomattavasti järeämmät. Niiden ensiövirta oli 100 A ja muuntosuhde 20:1. Toisin sanoen täydellä kuormalla mittakäämi olisi tuottanut 5 A:n virran mittakortille. Käytännössä energiamittauskortti ottaa vastaan maksimissaan 1 A:n signaalia, mutta mitoitus oli laskettu niin, että järjestelmä asennettaisiin yleensä pienempiin, alle 25 A:n kohteisiin.

Vanhat virtamuuntimet olivat kuitenkin liian suurikokoiset (KUVA 20), kun tarkoituksena oli toteuttaa mobiili mittalaitteisto. Uudentyyppiset virtamuuntimet löytyivät paikallisesta elektroniikkaliikkeestä. Näiden virtamuuntimien suurin sallittu ensiövirta on 25 A ja muuntosuhde on 500:1, eli täydellä kuormalla toisiokäämi tuottaa maksimissaan 50 mA:n virran.



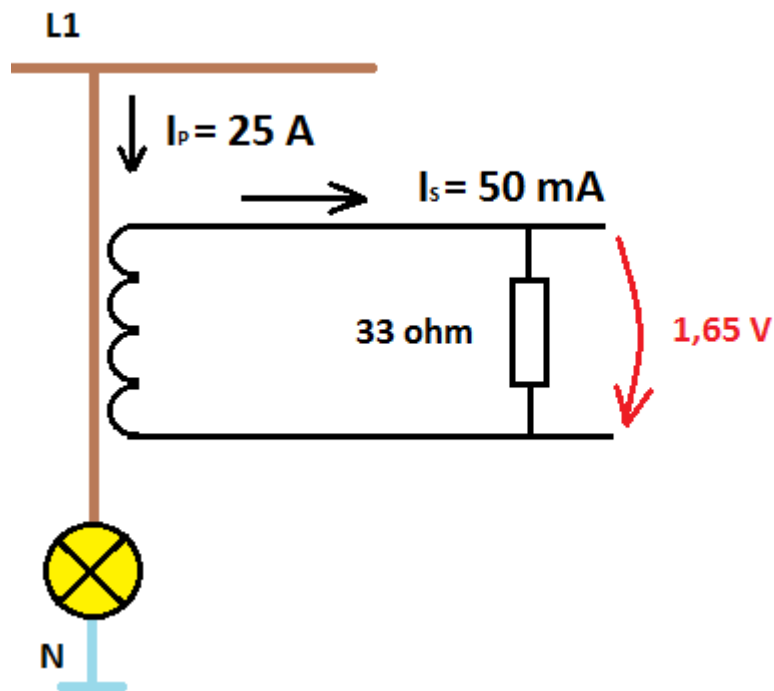
KUVA 20. Vanha virtamuunnin tyyppi ja nykyinen virtamuunnin tyyppi

Ideaali mittamuunnin olisi pihtimallinen, jolloin mitattavia johtimia ei tarvitsisi kytkeä irti. Nykyisellä järjestelmällä virta tarvitsee katkaista kytkennän ajaksi ja mitattavat johtimet tulee irrottaa, jotta mittamuunnin saadaan pujotettua lävitse.

Virtamuuntimen datasheetissa mainitaan rated burden resistor, jolla tarkoitetaan käämin rinnalle kytkettyä kuormavastusta. Kuormavastus on tärkeä, sillä avoin virtalähdepiiri on käytännössä sama kuin oikosulkisi jännitelähteen navat yhteen. Kun kelaan alkaa latautua virtaa eikä se pääse purkamaan sitä mihinkään alkaa kela nostaa jännitettä, kunnes jännite

lyö jostain läpi. Vastaavasti jos jännitelähteen navat kytkee oikosulkuun alkaa virta nousta, kunnes jotain palaa poikki. (William Hays, 2002)

Kuormavastus (KUVA 21), joka tässä tapauksessa on mitoitettu 33 ohmiin, pitää huolen siitä, että mittakäämin virtapiirissä on aina kuormaa. Jännite nousee ensiöpiirin maksimivirralla 25 A mittakäämin navoilla 1,65 Voltiin.

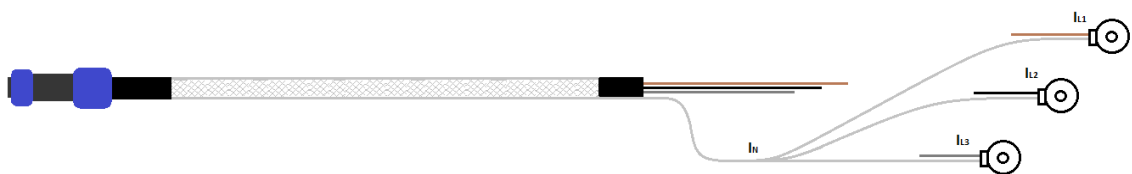


KUVA 21. Kuormavastus mittapiirissä

### 3.1.9 Mittakaapelit

Salkkuun haluttiin helposti irrotettavat mittakaapelit. Paikallisesta sähkötarvikekustasta löytyi Weipu -merkkisiä viisinaisia liittimiä. Näin kaapelit saa helposti irti ja kaapelit liikkuvat kätevästi salkun sisällä. Virtamittaukseen ja jännitemittaukseen valittiin erilaiset liittimet, jotta liittimet eivät voi mennä kiinnittäessä sekaisin. Jännitemittauksessa liittimeen tulevat vaihejännitteet, eli kaapelissa on oltava naarasliitin. Sen sijaan virtamittauskaapelissa jännitteet ovat maksimissaan noin 1,5 VAC, joten voidaan käyttää viisinaista urosliitintä.

Virtamittaukseen tarkoitetuksi kaapeliksi (KUVA 22) valikoitui taipuisa ohjauskaapeli 4G1,5CY, eli neljäjohtiminen häiriösuojattu kaapeli, jossa kolme vapaata (mustaa) johdinta ja maadoitusjohdin. Analogiaviestikaapelit on hyvä olla suojattuja kaapeleita, sillä ympäristöstä saattaa indusoidua häiriötä aiheuttavaa jännitettä. Mittauskaapeli rakennettiin niin, että häiriösuojasta muodostettiin yksi johdin, joka kytkettiin kaikkien virtamuuntimien käämin toiseen puoleen. Näistä muodostuu ns. nollajohdin virtamittauspiiriin.



KUVA 22. Virtamittauskaapeli

Jännitteen mittaukseen valittiin taipuisa ohjauskaapeli 5G1,5, eli viisijohtiminen häiriösuojattu kaapeli, jossa neljä vapaata (mustaa) johdinta ja maadoitusjohdin. Kuvassa 23 jännitemittauskaapeli.



KUVA 23. Jännitemittauskaapeli

Molemmissa liittimissä on kierre, jolla liitin lukittuu salkun vastaliittimeen.



### 3.1.10 Salkku

Kotelo, johon mittauslaitteisto rakennettiin, on aiemmin ylimääräiseksi jäänyt alumiininen työkalusalkku. Siihen pultattiin metallinen pohjalevy, johon tarvittavat komponentit voi kiinnittää. Salkkuun sisälle asennettiin syöttöjänniteterminaali, johdonsuoja ja vikavirtasuojasalkun pistorasioita varten, ohjausjännitelähde (+24 VDC), ohjausjänniteterminaali, logiikkayksikkö, Raspberry Pi, sulaketerminaalit jännitteenmittausjohtimia varten, puolijohderele ja tavallinen rele pistorasioiden virranohjausta varten. Salkun ulkopuolelle asennettiin kaksi valollista nappia ja suojakannellinen pistorasia. Sisäiset johtimet johdotettiin johdinkouruihin (KUVA 24).



KUVA 24. Salkku sisältä

Napeista voi käynnistää ja sammuttaa haluttuja toiminnallisuksia ohjelmasta. Nappien valoilla voidaan taas todentaa toimintojen tilaa. Salkun ulkopuolelle tuotuun pistorasiaan voi kytkeä ulkoisen laitteen. Pistorasian jännite voidaan ohjata päälle tai pois.

### 3.1.11 Sähköturvallisuus

Salkkua suunniteltaessa lähtökohtana oli, että sitä käyttää aina sähköalan ammattihenkilö. Salkkuun liitetään sähköverkon pääjännitteet, joten on kiinnitettävä erityistä huomiota sen sähköturvallisuuteen. Kuvasta 25 näkyy salkun kannesta sen rakenne. Sisäpuolella on solumuovinen matto pehmennyksenä, sen alla vaneri, joka pitää salkun kasassa ja päällimmäiseksi on ulkokuoreksi liimattu kauttaaltaan alumiinilevy.

Koska ulkokuori on sähköä johtavaa materiaalia, on tärkeää, että salkku on vahvasti maadoitettu. Maadoitus varmistaa vikavirtasuojan tai johdonsuojan laukeamisen, jos kuoreen osuisi vikatilanteessa virrallinen johdin. Maadoitus tuodaan kolmella tavalla salkkuun, virransyötön schuko-pistokkeen sekä jännitemittauskaapelin kautta maadoitusriviliittimelle ja erillisellä 6 mm<sup>2</sup>:n maadoitusjohtimella salkun ulkopuolelle tulevan pultin mutterin alle suoraan kotelon runkoon. Kuvassa 26 pultit näkyvät salkun kyljessä kansi- ja pohjaosissa.

Maadoitusriviliittimet tarrautuvat DIN kiskoon metallikynsillä, joka yhdistää maapotentiaalın pohjalevyyn, johon kaikki komponentit ovat kiinnitettyinä. Pohjalevy on kiinnitelty neljällä M8-pultilla salkun pohjassa. Pohjaan valittiin myös korinaluslevyt, jotta maadoituspinta-ala pulteista pohjan alumiinipintaan olisi mahdollisimman hyvä.

Virransyöttö salkkuun toteutettiin yleisesti kodin elektroniikassa käytetyllä liittimellä, jossa luonnostaan virralliset johtimet ovat syvällä naaraspistokkeen sisässä. Pistoke kytkee maadoitusliitoksen ensimmäisenä ja maadoitus myös katkeaa viimeisenä.

Jännite- ja virtamittauskaapeleiden liittimet valikoitiin eri napaisiksi, jotta kaapeleita ei vahingossa kytkettäisi väärin. Väärä kytkentä hajottaisi energianmittauskortin. Jännitemittausliittimeksi valittiin naarasliitin, sillä liittimen pinneissä on vaihejännitteet 230 VAC. Jännitettä syöttävään liittimeen on valittava naarasliitin, koska urospinneihin voi helposti sormin koskea tai muutoin aiheuttaa oikosulun.

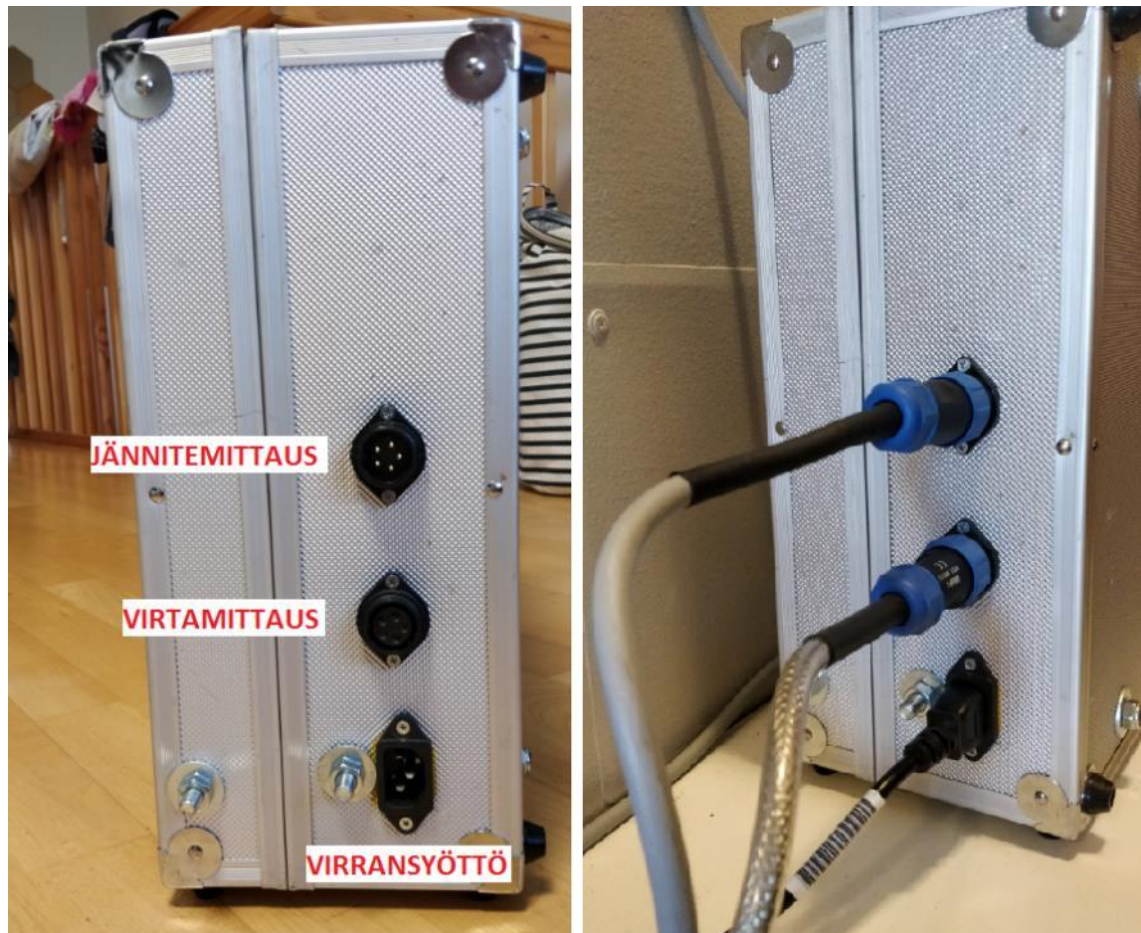
Virransyötön jälkeen ensimmäisenä käyttöjännite ohjataan 6 ampeerin johdonsuoja-automaatille. Johdonsuoja-automaatti suojaa laitteen johtimia ylikuormitukselta. Lisäsuojaksi

asennettiin vikavirtasuojakytkin, joka katkaisee virransyötön salkun ulkopuolisesta pistorasiasista, jos vuotovirta ylittää 30 mA:n rajan. Ulkopuoliseen pistorasiaan voi kuka tahansa ohikulkija kytkeä laitteen, joten se on suojattava vikavirtasuojalla.



KUVA 25. Salkku edestä

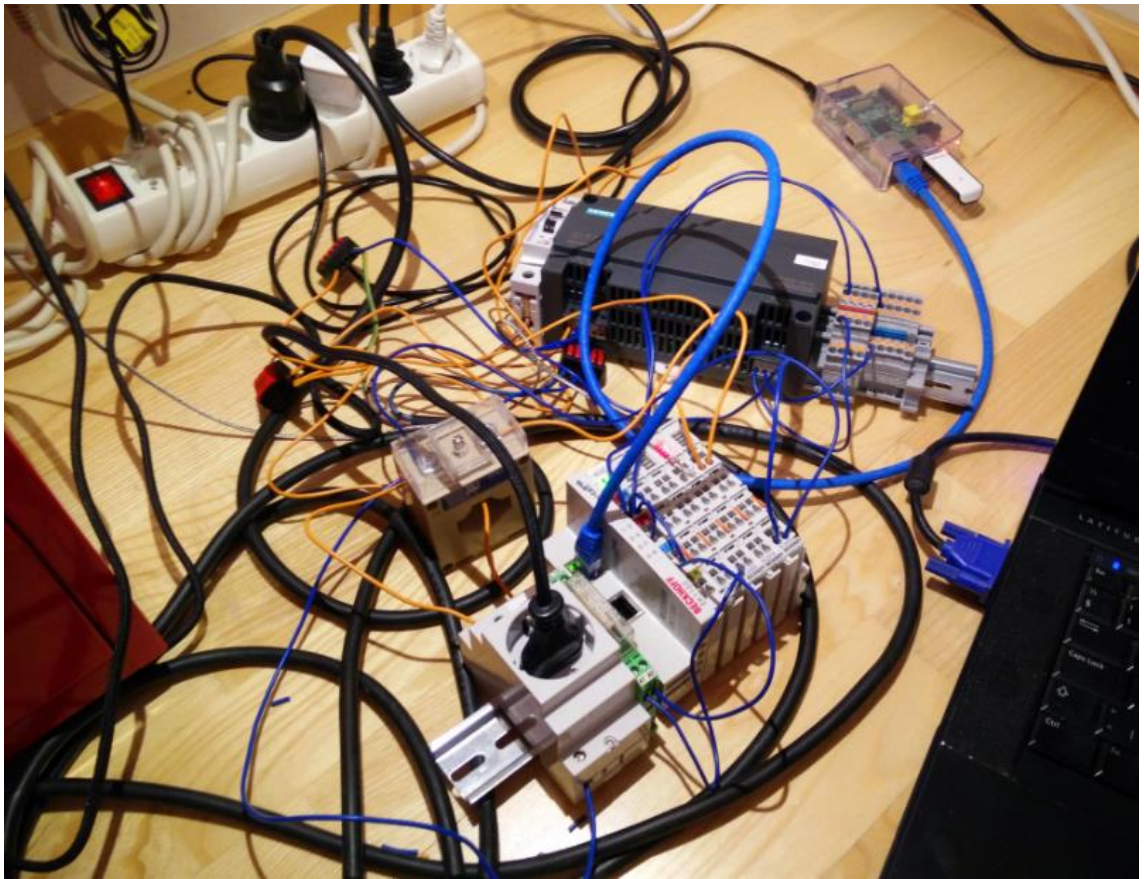
Salkun liittimet ovat salkun vasemmalla kyljellä (KUVA 26). Kyljessä oleviin pultteihin on mahdollista kytkeä lisämaadoitusjohdin, jolloin alumiininen kotelo on vielä tukevammin maadoitettu. Virransyöttöä varten salkkuun asennettiin koteloasenteinen virransyöttöliitin, jolloin salkku saa virtansa yleisesti käytetyllä schuko-syöttöjohdolla.



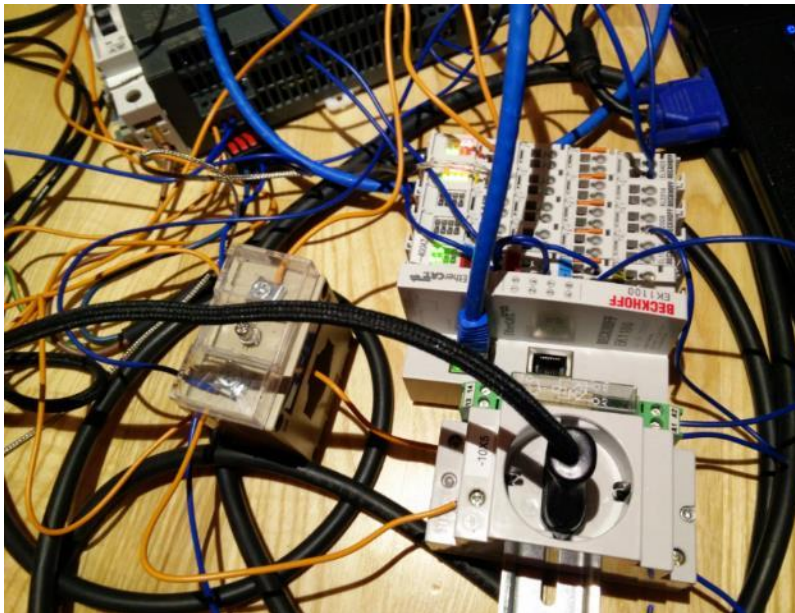
KUVA 26. Salkun liittimet

### 3.2 Rakentamisen vaiheet

Vuonna 2015 oli kaikki tarvittavat komponentit kasassa ja osista rakentui ensimmäinen testiversio järjestelmästä. Komponentit kasattiin yhteen yksittäisillä johtimilla, eikä niitä kiinnitetty mihinkään, eli järjestelmä oli melko sekava johtimien mennessä toistensa seassa ristiin rastiin. Laitteistoon tutustuminen ja sen konfigurointi vei kuitenkin paljon aikaa ja sille ei ollut oikein järkevää säilytyspaikkaa varsinkaan sen aikaisessa olomuodossaan. Käytännössä laitteisto piti purkaa ja koota useasti uudestaan, sillä sitä ei voinut sellaisenaan säilyttää pitkiä aikoja. Kuvista 27 ja 28 nähtävissä ensimmäinen prototyyppi laitteistosta.



KUVA 27. Projektin ensimetreillä käytössä Raspberry Pi versio 1



KUVA 28. Alkuvaiheessa johdotus ei ollut kovin järjestelmällinen

Ensimmäisessä testisovelluksessa releohjattu pistorasia ohjasi pöytävalaisinta, jossa oli halogeenilamppu. Valaisimessa oli myös tehon säädin, eli sillä pystyttiin testaamaan eri-

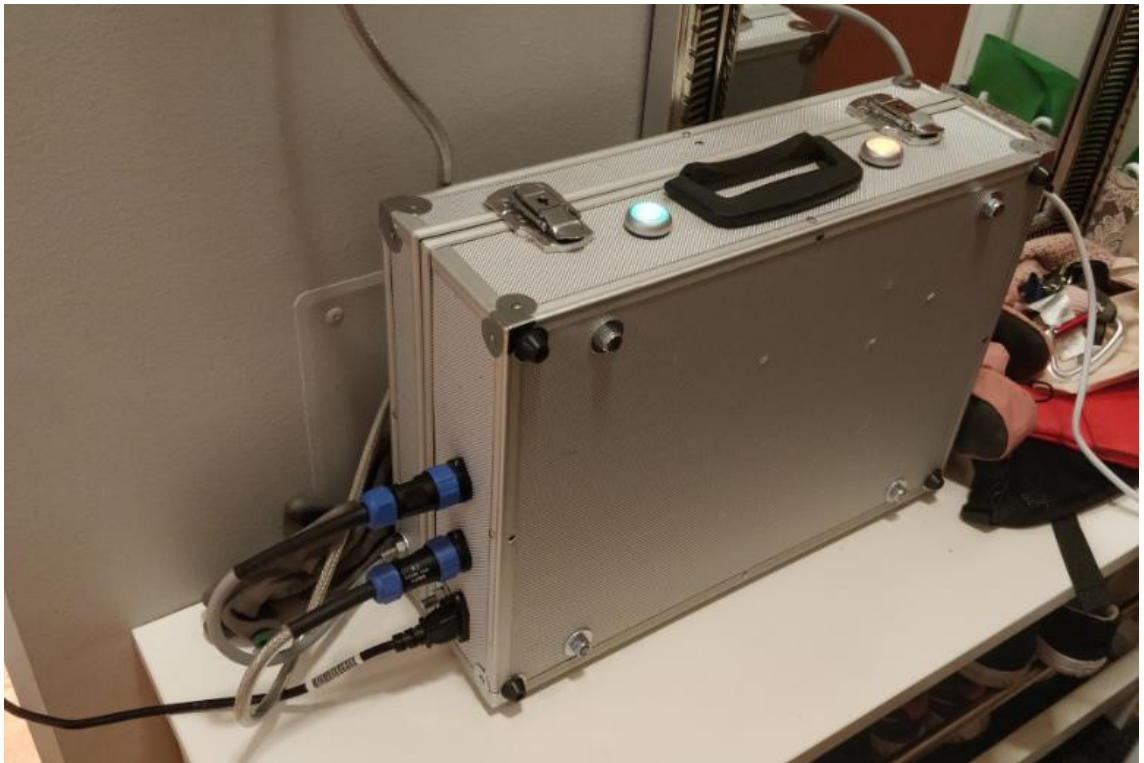
laisia kuormituksia ja mitatailemaan virta-arvoja eri tehoasetuksilla. Ohjelmaan oli rakennettu Web-visualisointi, johon pääsi kiinni myös kodin ulkopuolelta VPN-yhteyden avulla. Pöytävalaisimen halogeenilampun viereen oli kiinnitetty lämpötila-anturi, ja valaisimen sai kytkettyä päälle ja sen tilaa pystyi seuraamaan visualisoinnista. Testisovelluksessa lämpötilan noustessa tarpeeksi korkeaksi anturilla, se sammutti valaisimen. Ensimmäinen testisovellus kuvassa 29.



KUVA 29. Ensimmäinen testisovellus

Alkuun tarkoitus oli asentaa järjestelmä suoraan sähkökeskukseen, mutta asunotomme jakokeskuksessa ei ollut sille tilaa tarpeeksi. Idea salkkuasennuksesta jalostui, kun komponenteille piti keksiä jokin säilytystila ja ylimääräiseksi oli jäänyt vanha alumiininen salkku. Komponentit purettiin tuolloin aina salkkuun, kun oli tarve siistiä työpistettä.

Purkaminen ja kasaaminen kuitenkin vei paljon aikaa itse tutkimustyöltä. Osittain työkii-reiden ja jatkuvan matkustamisen takia projekti eteni verkkaisesti ja välillä siitä oli puolikin vuotta taukoa. Komponentit oli saatava kiinteästi kiinni johonkin, jotta laitteisto olisi helppo ottaa käyttöön ja jatkaa edelleen työtä. Kun ajatus mukana kulkevasta salkusta viimein kirkastui, salkun suunnittelu eteni vauhdikkaasti. Syksyllä 2017 salkku valmistui nykyiseen olomuotoonsa (KUVA 30).



KUVA 30. Salkku kytkettynä ryhmäkeskukseen, Elokuu 2018

Yksi viimeisimpiä kehityskohteita salkkuun oli vielä näytön lisääminen kanteen. Näytöstä on sinällään iso etu, että nyt salkkua voi käyttää mittauksiin myös ilman reititintä ja ulkoista monitorintilaitetta. Lisäksi näyttö antaa salkulle viimeistellyn ilmeen. Näyttöön käynnistyy RPi:n taustalla pyörivä Linux, jonka selaimessa voi avata webvisualisoinnin myös ilman yhteyttä internetiin. Näin mittasalkku toimii myös autonomisesti liikkuvissa kohteissa.

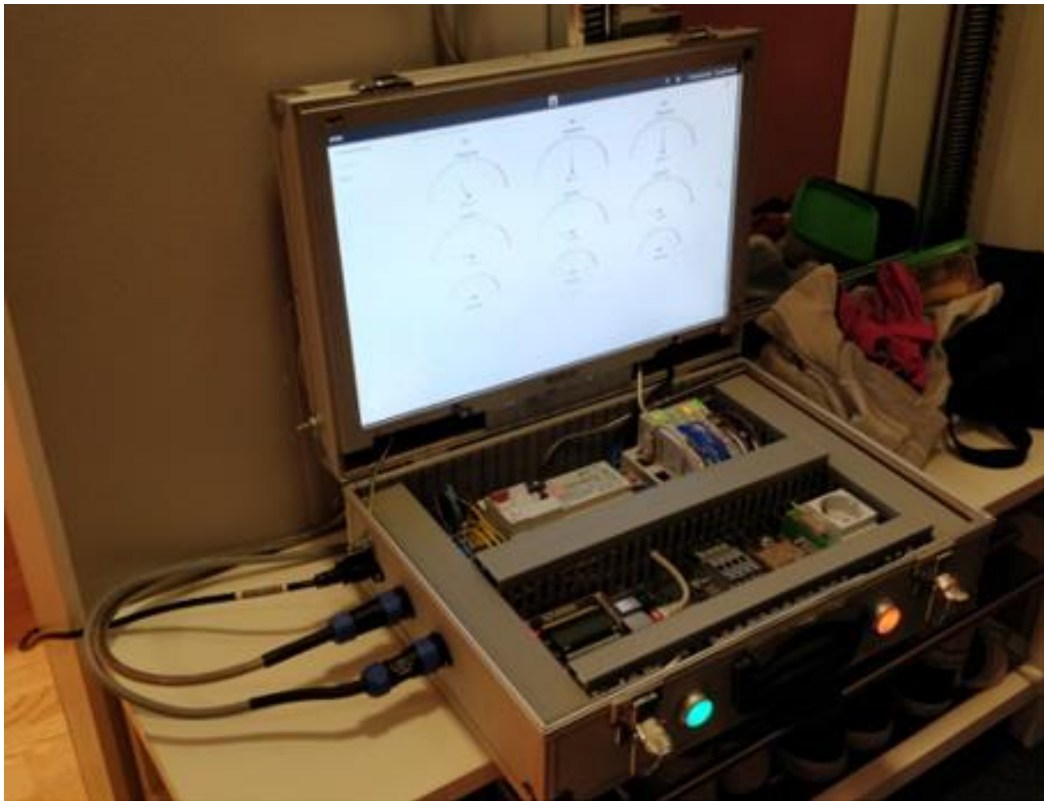
Näyttö on vanha 19-tuumainen LCD-näyttö, joka on aikanaan löydetty roskalavalta. Näyttö ei löydetäessä toiminut, mutta muutaman kondensaattorin vaihdon jälkeen alkoi toimia moitteetta. Näyttö sattui leveyssuunnassa sopimaan täydellisesti salkun kanteen. Näytöstä purettiin takakansi ja jalusta ja alareunasta leikattiin siivu pois pituussuunnassa. Myös syvyys sattui sopimaan salkun kanteen. Leikatessa leikattiin näytön alareunoihin myös kolot kaapeleiden kanteen vientiä varten. Kolojen leikkaustarkkuudessa olisi vielä ollut toivomisen varaa.

Kuvissa 31, 32 ja 33 näyttö eri käyttötilanteissa.



KUVA 31. Näyttö lisättynä salkkuun





KUVA 32. Näyttö ja Anyviz -monitorointi



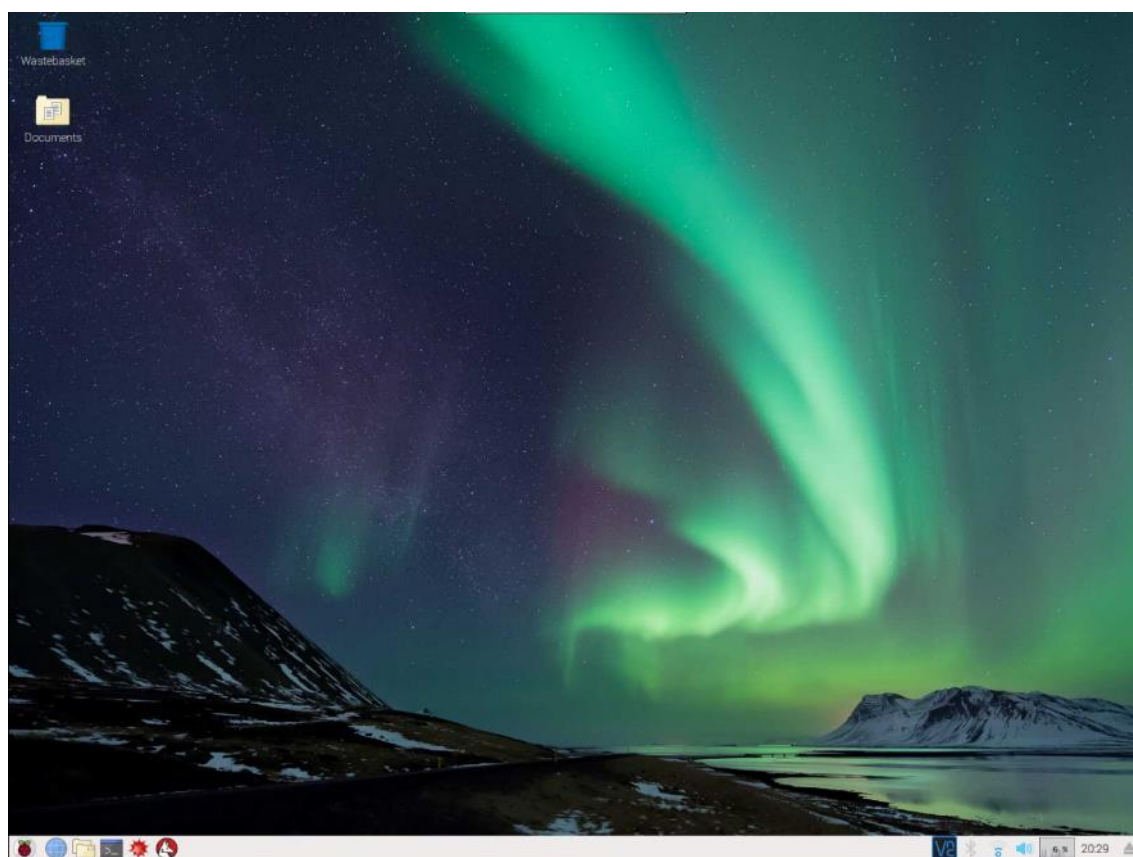
KUVA 33. Näyttö ja Webvisualisointinäkymä

## 4 RASPBERRY PI

### 4.1 Raspberry Pi konfigurointi

Kun haluttu käyttöjärjestelmä on asennettu microSD-kortille, ja kortti asetettu RPi:n, on RPi valmis käynnistykseen. Projektin käyttöjärjestelmä on Raspbian Stretch With Desktop, joka on julkaistu 27.06.2018, Kernel versio 4.14. Kuvassa 34 työpöydän näkymä, kun koneen käynnistää.

Projektia varten asennettiin RPi:n WLAN-sovitin sekä näppäimistö ja hiiri. RPi tunnistaa yleisimmät USB-sovittimet ja osaa asentaa niille oikeat ajurit ilman eri komentoja.

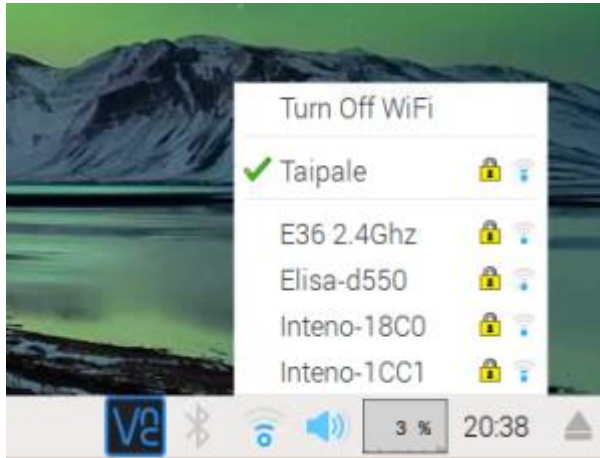


KUVA 34. Raspbian Stretch With Desktop -näkymä

#### 4.1.1 WLAN-yhteyden luominen

Raspberry Pi 2 tietokoneessa ei itsessään vielä ole WLAN-yhteyttä, mutta sen USB-porttiin asennettiin erillinen WLAN-sovitin, jolloin RPi:n saa kytkettyä kotiverkon reitittimeen ja sen käytettävyys paranee huomattavasti.

WLAN-yhteyden muodostus tapahtuu kuten millä tahansa tietokoneella. Haluttu verkko valitaan ja kirjaudutaan sisään oikealla salasanalla (KUVA 35).



KUVA 35. WLAN-yhteys

#### 4.1.2 Staattinen IP-osoite

Jotta yhteys RPi:n pysyy yllä, täytyy RPi:lle asettaa staattinen (muuttumaton) IP-osoite (KUVA 36), näin yhteyden muodostuksessa tiedetään RPi:n IP-osoite aina varmasti. Ellei staattista osoitetta määrätä, reitittimen DHCP määrittää IP-osoitteen joka kerta, kun reitittimeen liitytään ja IP-osoite saattaa näin ollen olla joka kerta eri.

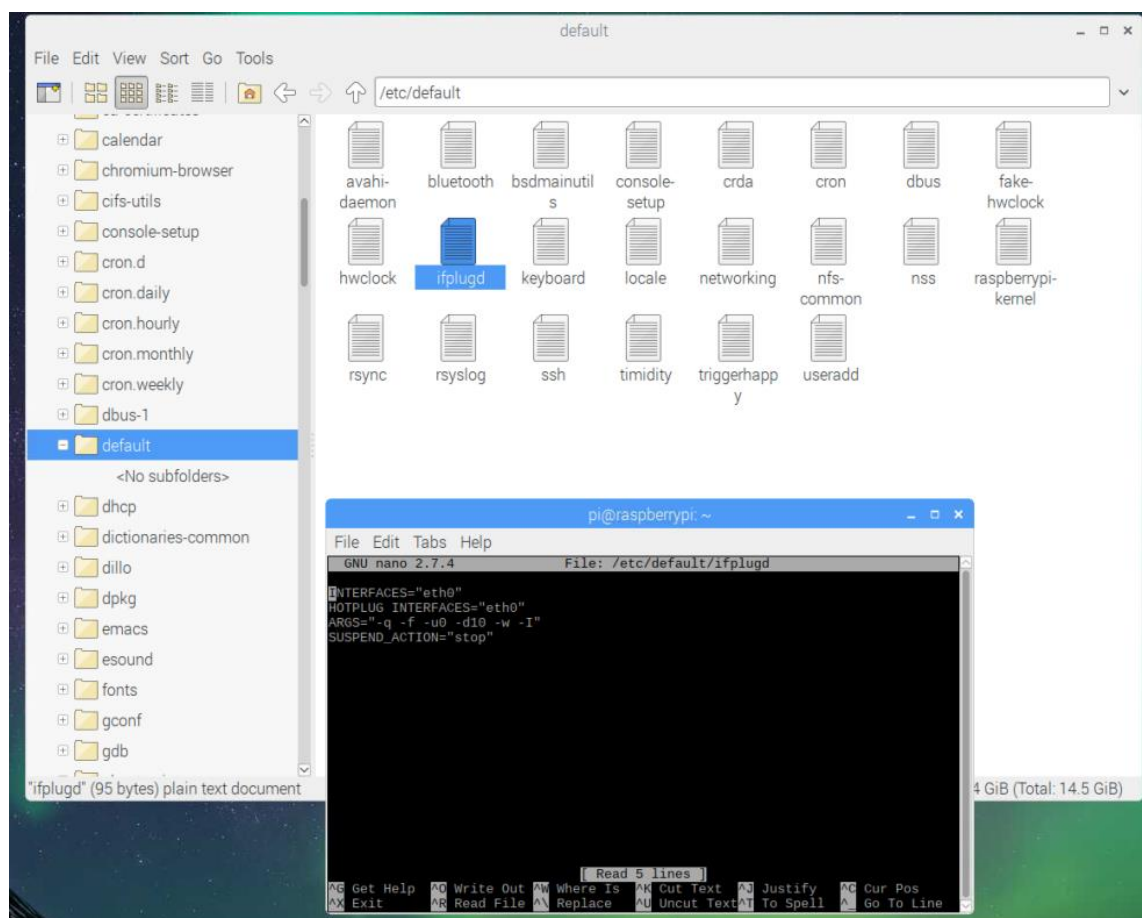


KUVA 36. Network Preferences, IPv4 osoitteen asetus wlan0-verkkosovittimelle

Network Preferences asetuksissa staattinen IP-osoite on helposti määriteltävissä. RPi:n ethernet-porttia käytetään EtherCAT-väylänä, sille ei tarvitse määrittellä asetuksia.

Kahden verkkosovittimen yhtäaikaista käyttöä varten oli kuitenkin tehtävä hieman toimenpiteitä. Käyttöjärjestelmässä oletuksena on, että sekä langatonta, että langallista sovitinta käytetään molempia saman yhteyden luomiseen. Langallista yhteyttä pidetään vakaampana yhteytenä ja käyttöjärjestelmä on antanut sille paremman prioriteetti-alueen. Jos siis ethernet-porttiin kytketään jokin laite, niin oletusarvoisesti käyttöjärjestelmä tiputtaa langattoman sovitin pois päältä.

Raspberry Pi yhteisöillä on useita erilaisia aktiivisia forumeita ja kanavia, joista lopulta löytyi juurisyy ja ratkaisu. Linux toimintaympäristö ei aina ole kaikkein käyttäjäystävällisin ja tämäkin korjaus vaati pätkän koodin kirjoitusta. Käytännössä RPi:n kirjoitettiin tekstitiedosto, jota käyttöjärjestelmä lukee konfiguraatitiedostona (KUVA 37). (StackExchange 2013)



KUVA 37. Ifplugd konfiguraation luonti



## 5 SOFTWARE

### 5.1 Esivalmistelu

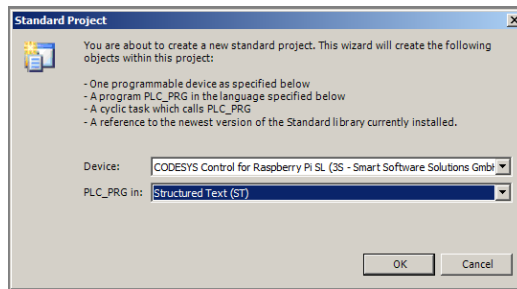
CODESYS Store -internetsivusto (KUVA 39) tarjosi aiemmin ilmaista, mutta rajoitettua versiota Raspberry Pi:n CODESYS-ajurista. Ilmainen versio toimi tunnin ajan, mutta tunnin jälkeen se vaati uudelleenkäynnistyksen. Projektia varten hankittiin heti lisenssi, jolla ohjelma pysyy käynnissä tauotta. Lisenssikäytäntö on vastaavanlainen teollisesti kaupallisissa logiikoissa.

The screenshot shows the CODESYS Store website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'My Account', 'Login', 'My Wishlist', a 'Service' dropdown menu, a shopping cart icon showing '0 Products' for '€0.00', and flags for the United Kingdom and Germany. Below this is a main navigation menu with categories: 'All Products', 'Engineering', 'Application', 'Communication', 'Systems', 'Accessories', and 'Trainings & Events'. A search bar is located below the navigation menu, with a 'Search' button and a 'Search Details' link. On the right side of the search bar, there is a promotional banner for 'New to the CODESYS Store? Get started' featuring a small image of a person. The main content area displays the product 'CODESYS Control for Raspberry Pi SL'. The product image shows a Raspberry Pi board with the CODESYS logo. The product description states: 'CODESYS Control for Raspberry Pi SL is an adapted CODESYS Control runtime system for Raspberry Pi (PLC extension)'. The version is '3.5.13.0' and the order number is '2302000009'. The price is '€50.00 plus VAT'. There is a 'Download' button and a promotional offer box that reads: 'Buy 4 for €47.50 each and save 5%', 'Buy 10 for €45.50 each and save 9%', 'Buy 25 for €42.50 each and save 15%', and 'Buy 50 for €40.50 each and save 19%'. On the right side of the product page, there is a star rating of 5 stars with '147 Reviews' and a link to 'Add Your Review'.

KUVA 39. CODESYS Store

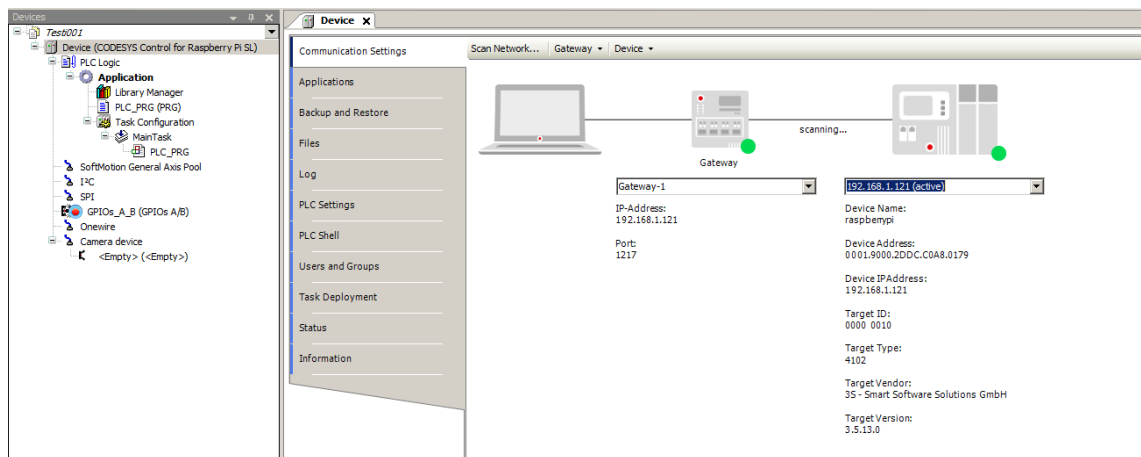
CODESYS Storesta ladetaan CODESYS ajuri ja lisenssi Raspberry Pi:lle. Ajuri asennettiin Package Manager -työkalulla. Package Manager asentaa RPi:ta varten kirjastot ja alustan, jonka voi jälleen asentaa CODESYS ohjelman kautta Raspberry Pille.

Aloitettaessa luodaan uusi projekti CODESYS-ohjelmaan. Seuraavaksi valitaan laite, joka ohjelmaa suorittaa. Tässä tapauksessa ohjelmaa suorittava laite on Raspberry Pi (KUVA 40).



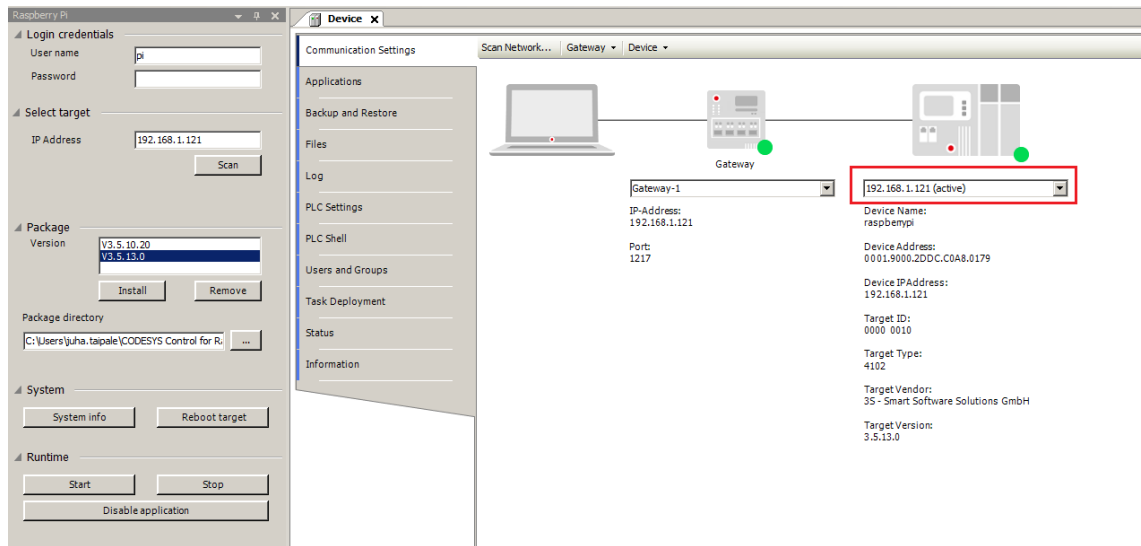
KUVA 40. Valitaan ohjelmaa suorittava laite

Kun ohjelmaa suorittava laite on valittu, löytyy ohjelman vasemmasta laidasta järjestelmän komponentit. Valitaan Device ja välilehdeltä Communication settings määritellään ohjelmoitavan laitteen IP-osoite. Alasvetovalikkoon kirjoitetaan aiemmin RPi:n langattomalle verkkosovittimelle asetettu staattinen IP-osoite. Kun piirroskuvan punainen merkkivalo vaihtuu vihreäksi, yhteys ohjelmointikoneelta RPi:lle on olemassa (KUVA 41).



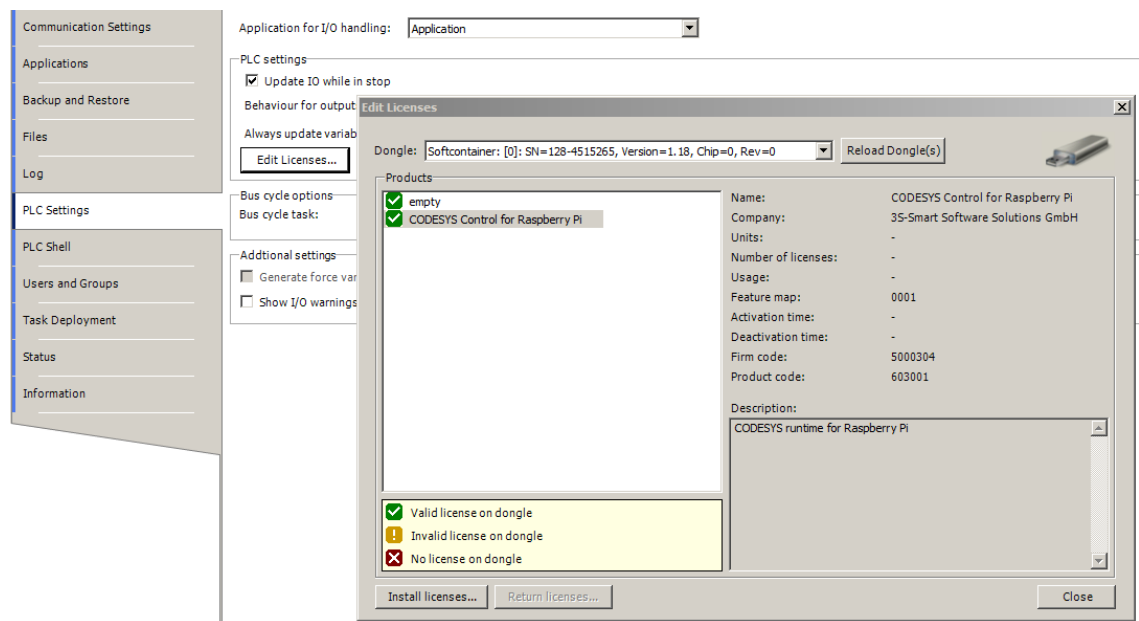
KUVA 41. Yhteyden muodostus RPi:n

Seuraavaksi CODESYS-alusta tulisi asentaa RPi:lle. Tools-valikosta löytyy toiminto Update Raspberry Pi. Kenttiin syötetään RPi:n kirjautumistiedot, RPi:n IP-osoite ja asennettava alustaversio. Valitaan Install ja alusta alkaa asentua RPi:lle (KUVA 42).



KUVA 42. Update Raspberry Pi

Kun toimiva alusta on asennettu, on hyvä käydä asentamassa paketin mukana tullut lisenssi. Lisenssi asennetaan PLC settings -välilehdeltä, kohdasta Edit Licenses. Lisenssi-tiedostot haetaan oikeasta kansioista ja asennetaan RPi:n Install licenses toiminnolla (KUVA 43). (CODESYS 2018)



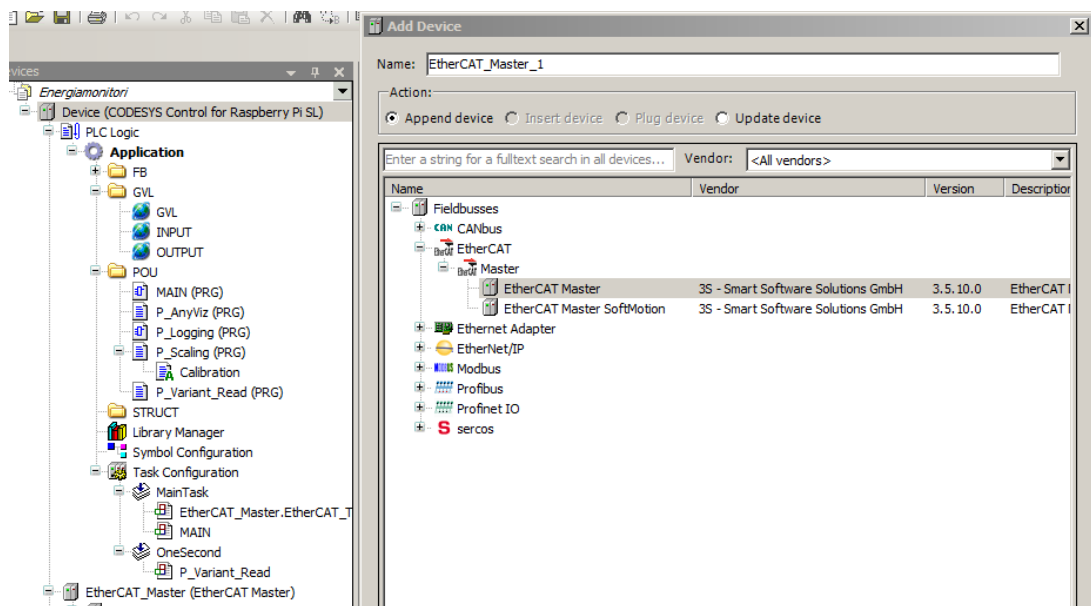
KUVA 43. Edit Licenses



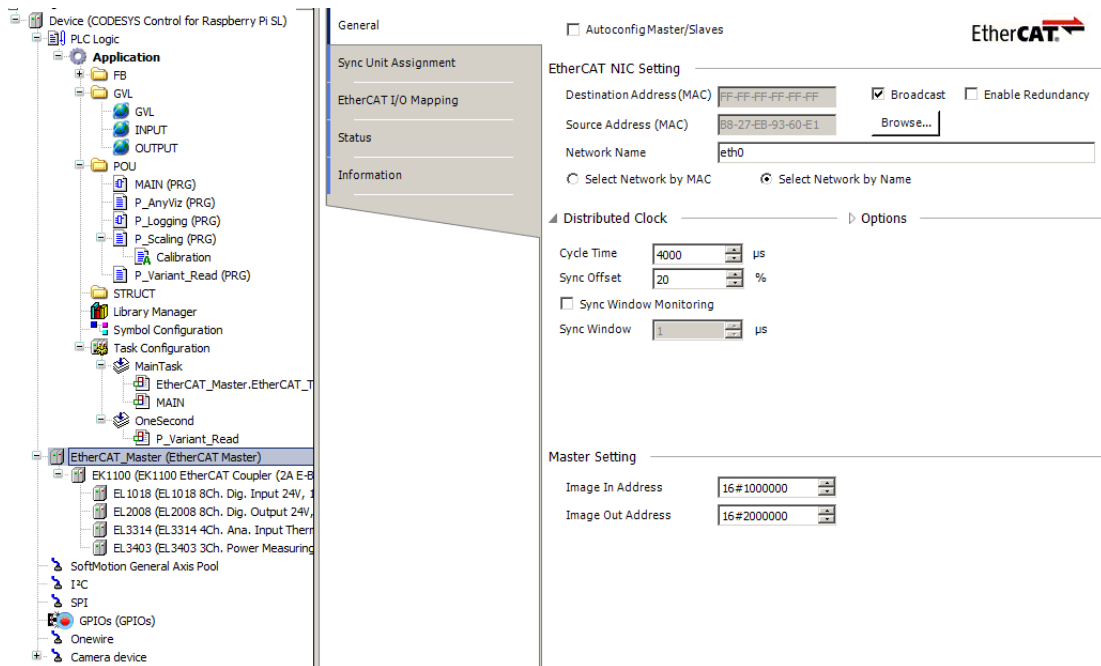
## 5.2 Hardwaren konfigurointi

Kun ohjelmaa suorittavan laitteen määrittäminen on tehty, aletaan määrittellä järjestelmän muita komponentteja. Määriteltäessä järjestelmän komponentteja, ohjelmalle kerrotaan järjestelmässä olevat moduulit. Tätä varten on haettava moduulin valmistajan sivuilta komponentin device description –tiedostot. XML-muotoisia tiedostoja voisi kutsua moduulin ajuriksi ohjelmalle. Kyseisellä tiedostolla ohjelma osaa lukea kortin mitta-arvoja sisäänsä.

Ensimmäisenä lisätään Devicen alle EtherCAT Master sovitin komennolla Add Device (KUVA 44). EtherCAT Master toimii käskyttäjäsikkönä allaan oleville Slave-moduuleille, jotka tässä tapauksessa ovat Beckhoffin IO-kortit. Kun EtherCAT Master on lisätty, täytyy sen General välilehdellä käydä asettamassa kommunikaatioportiksi RPi:n ethernet-portti. Portti määritellään joko sen MAC-osoitteen perusteella tai portin nimen perusteella (KUVA 45).



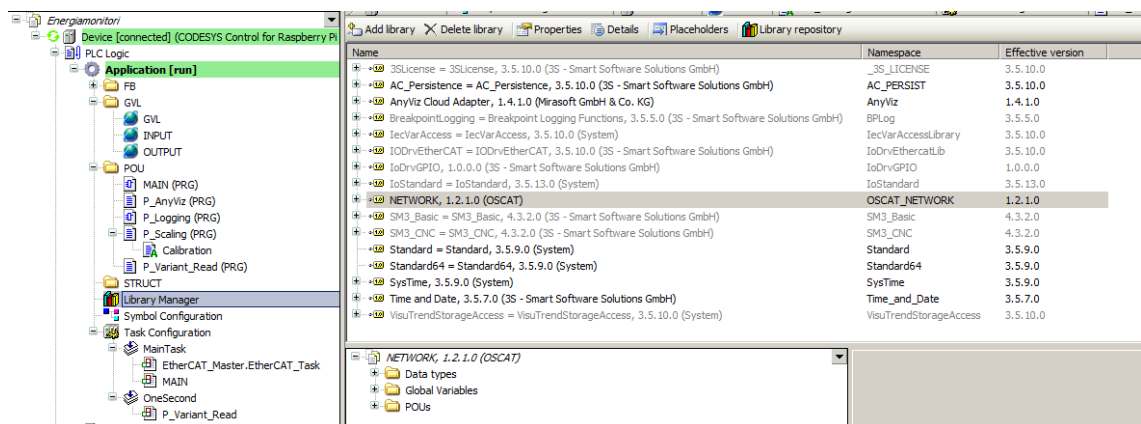
KUVA 44. Lisätään EtherCAT Master



KUVA 45. EtherCAT Master -portiksi eth0

## 5.2.1 Kirjastot

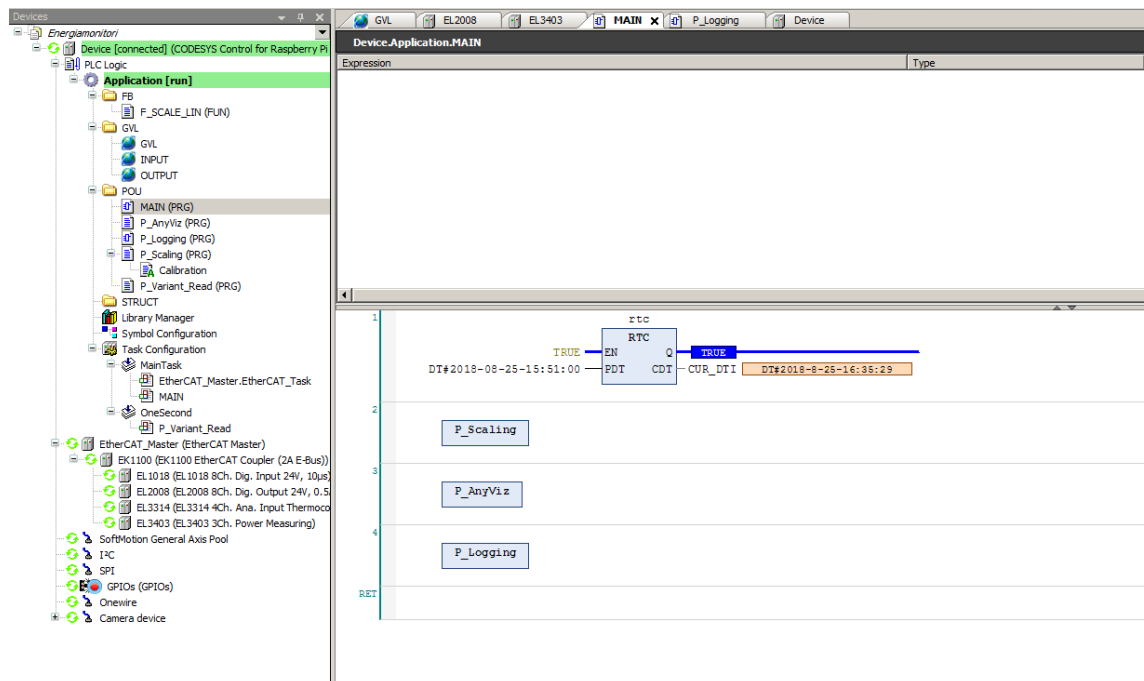
Library Manager osiossa määritellään ohjelman tarvitsemat toimilohkot (KUVA 46). Perus toimilohkoja löytyy CODESYS standardikirjastoista, mutta jos kaippaa jotain erikoisempaa sovellusta, niin ohjelmaan voi asentaa lisää kirjastoja. Tällainen kirjasto on muun muassa Anyviz-palvelu.



KUVA 46. Library Manager -näkyvä

## 5.3 Ohjelma

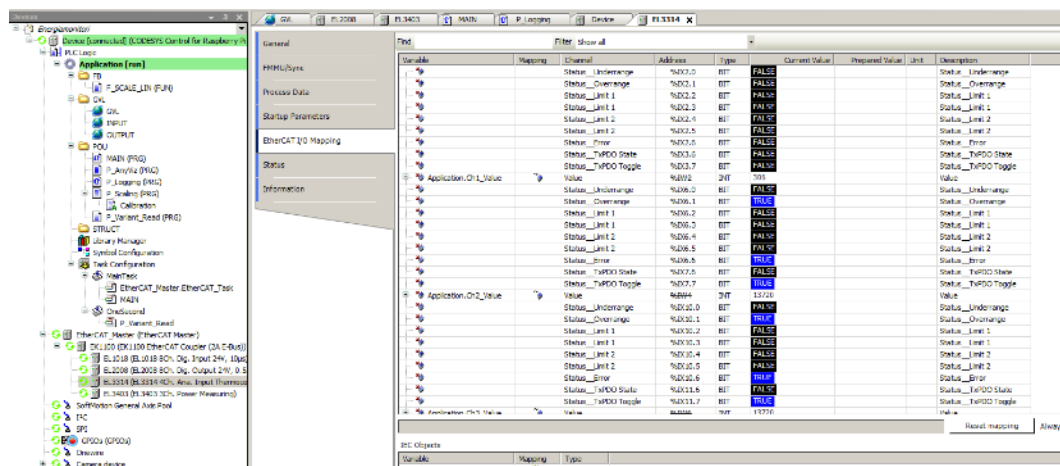
Ohjelma rakentuu niin, että projekti luo automaattisesti Main -pääohjelman, jossa kutsutaan käyntiin aliohjelmiä (KUVA 47).



KUVA 47. Main ohjelmassa kutsutaan aliohjelmiä

### 5.3.1 Lämpötilan mittaus

Lämpötilamittauskortilla on valmiiksi parametrit K-tyyppin lämpötila-anturille, joten lämpötilalukema on jo raaka-arvona skaalattuna INT arvona kymmenkertaisena lukuna. Eli tarkkuuden säilyttämiseksi luku kannattaa säilyttää laskennoissa suurena (KUVA 48).



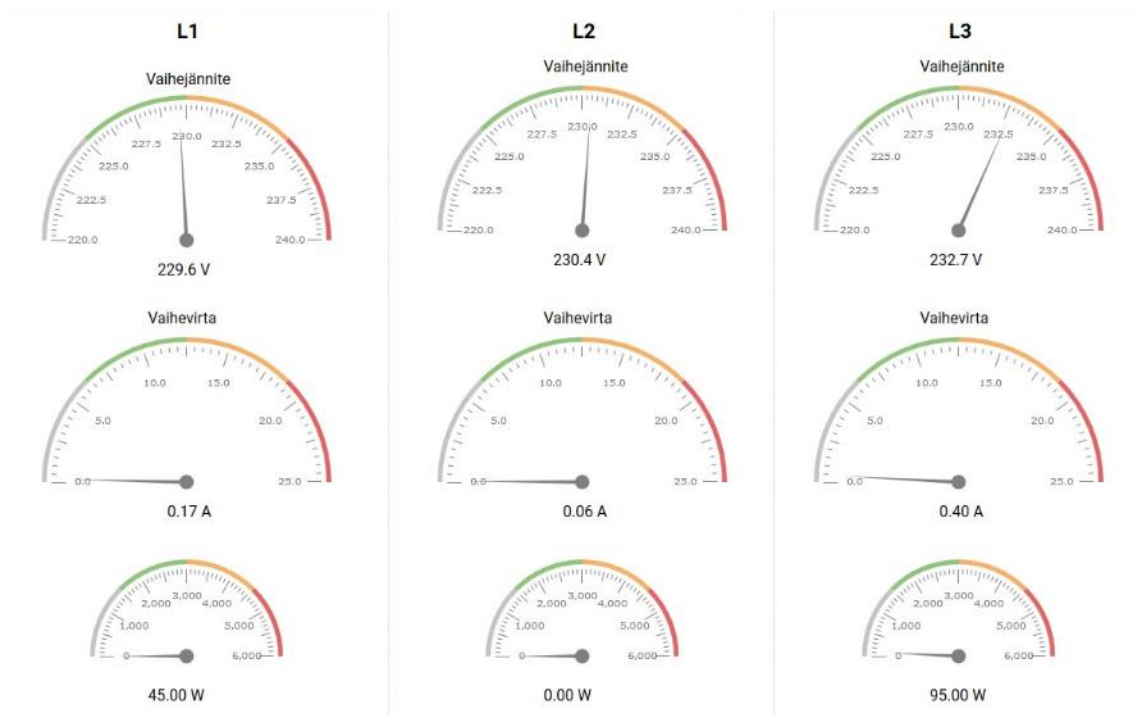
KUVA 48. Lämpötilan mittauskortin muuttujat

Kuvassa 48 nähdään mitatun lämpöarvon olevan 306 kanavassa 1 ja kanava 2 ilmoittaa 13720. Kanava 2 näyttää suurta lukemaa, koska siihen ei kuvan ottohetkellä ole kytkettyä anturia.

### 5.3.2 Energian mittaus

Mittaustestit aloitettiin testaamalla huoneiston tyhjäkäyntikulutus. Tyhjäkäyntikulutusmittauksen aikana vain laitteet, jotka normaalistikin ovat aina päällä jätettiin päälle. Huoneistossamme käytännössä jatkuvasti päällä olevat laitteet ovat: Jääkaappi, pesuhuoneen lattialämmitys, ilmanvaihtopuhallin (voimakkuudella 1 / 4), reititin, sekä tietysti päällä oli myös mittauslaitteisto. Näiden lisäksi kytkettyinä olivat televisio ja stereot.

Kuvasta 49 on nähtävissä vaiheella L1 ilmanvaihtopuhallin ja vaiheella L3 kytkettynä on jääkaappi ja pakastin.



KUVA 49. Huoneiston tyhjäkäyntikulutus

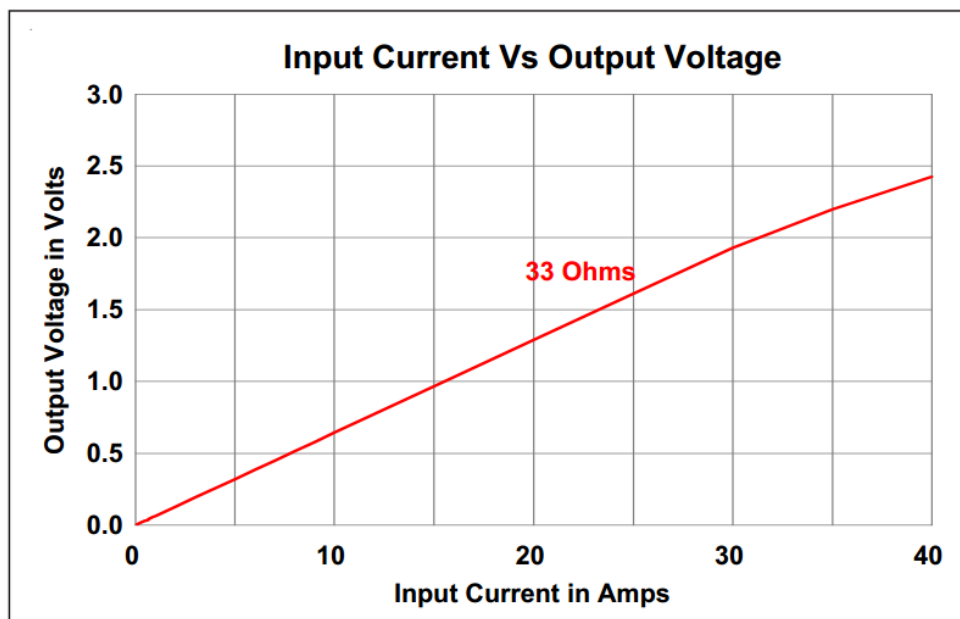
### 5.3.3 Virtamuuntimien kalibrointi

Virtamuunnin muuntaa virran muuntosuhteen mukaisesti mittauskortille. Muuntosuhde on muuntimen datasheetin mukaan nimellisellä mittausalueellaan lineaarinen (KUVA 50). Muuntimen valmistaja ilmoittaa muuntosuhteeksi 500:1. Mittauskortin manuaali antaa seuraavanlaisen kaavan raaka-arvojen muuttamiseksi reaaliarvoiksi

$$I = I_{raw} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ A} \cdot K \quad (5)$$

jossa  $I_{raw}$  on raaka virta-arvo ja  $K$  on muuntimen muuntosuhde. (Beckhoff 2015)

Alkuun virtojen suuruuden toteamiseksi mitattiin virrat erillisillä mittareilla ja laskettiin vakiokerroin, jolla raaka-arvon saisi ohjelmassa suoraan korjattua realistiseen muotoon. Järjestely toimi melko hyvin, mutta pienillä virtamäärillä huomattiin mittari- ja muunninmittauksissa eroavaisuutta. Koska kyseessä on mittalaite, on hyvä suorittaa kalibrointi.



KUVA 50. Datasheetin antama ominaiskäyrä on alueella 0 – 25 A lineaarinen (Talema)

Kalibroinnissa käytettiin kahta yleismittaria, UNI-T UT201 pihtivirtamittaria ja tavanomaisempaa yleismittaria Fluke 117. Fluke asennettiin kiinteästi virtapiiriin väliin ja UNI-T mittasi pihtiominaisuudella. Testin aikana molemmista mittareista otettiin virtalukemat ylös.

Mittausarvot seurasivat toisiaan hyvin, jota voi pitää jonkinlaisena viitteenä tulosten luotettavuudelle. Kuvassa 51 nähdään, että noin 300 mA:n virralla mittareiden ero on ollut 4 mA. Vaikka referenssimittarit ovat edullisia ja kalibroimattomia yleismittareita, voidaan tarkkuuden todeta olevan tarpeeksi tarkka käyttötarkoitukseen.



KUVA 51. Kalibrointimenettely

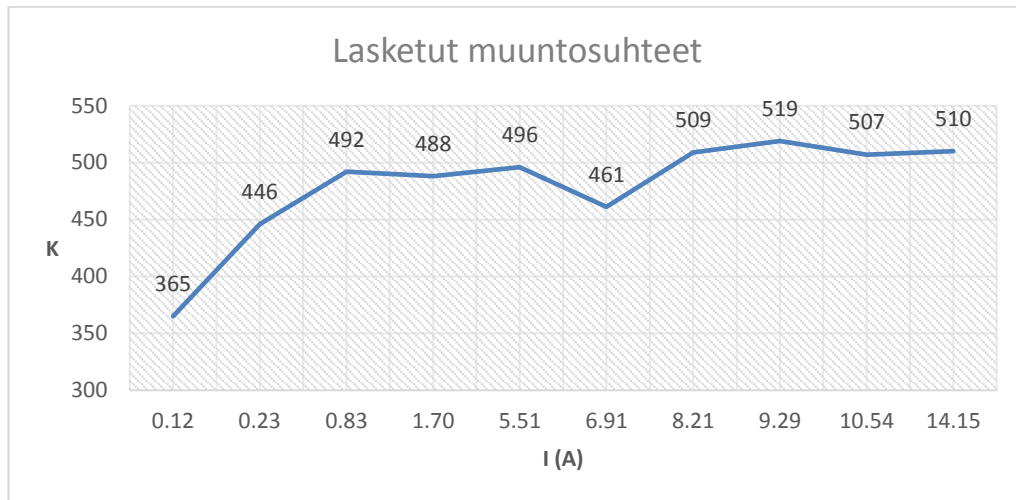
Kalibrointitestissä lisättiin portaittain yhden vaiheen kuormaa noin 14 ampeeriin asti ja kirjattiin ylös mitattujen arvojen keskiarvo, sekä raakadata-arvo (taulukko 1). Raakadata-arvo on 32-bittinen integer -tyyppinen muuttuja (DINT), eli se saa lukuarvoja väliltä  $\pm 2\ 147\ 483\ 648$ .

TAULUKKO 1. Mitattu virta vs. laskettu virta

Raakadata	Mitattu virta (A)	Laskettu virta (A)
0	0	0
340	0,12	0,17
520	0,23	0,26
1680	0,83	0,84
3490	1,70	1,75
11100	5,51	5,55
15000	6,91	7,50
16130	8,21	8,07
17900	9,29	8,95
20800	10,54	10,40
27720	14,15	13,86

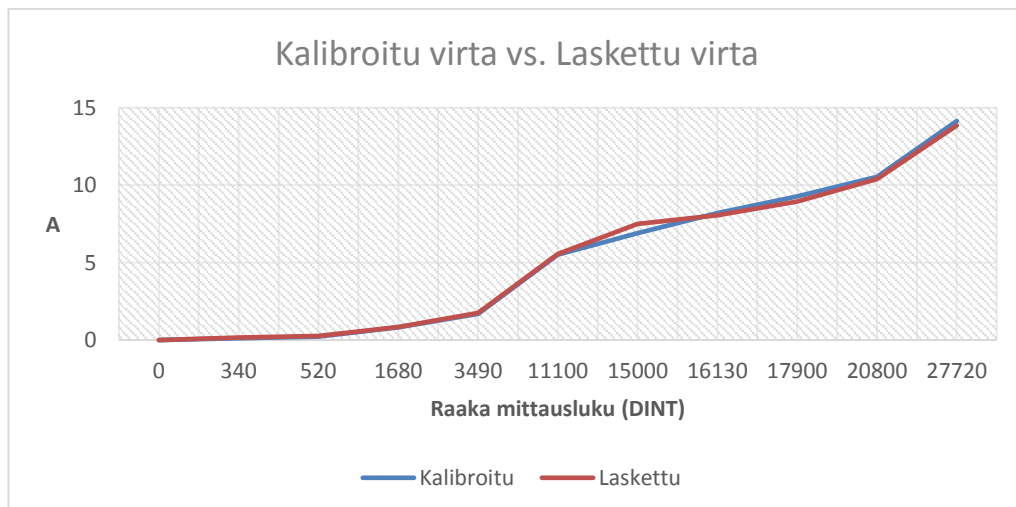
Taulukossa 1 näkyy kirjatut raakadata-arvot, mitattujen virtojen keskiarvo ja suoraan muuntosuhteella laskettu virta-arvo.

Mitattujen arvojen perusteella määritettiin eri virta-alueille omat muuntokertoimensa. Ohjelmaan rakennettiin skaalausfunktio, joka skaalaa virran sen voimakkuuden perusteella. Käytännössä ohjelma vaihtaa muuntosuhdekerrointa kuormituksen mukaan.



KUVIO 1. Lasketut muuntosuhteet

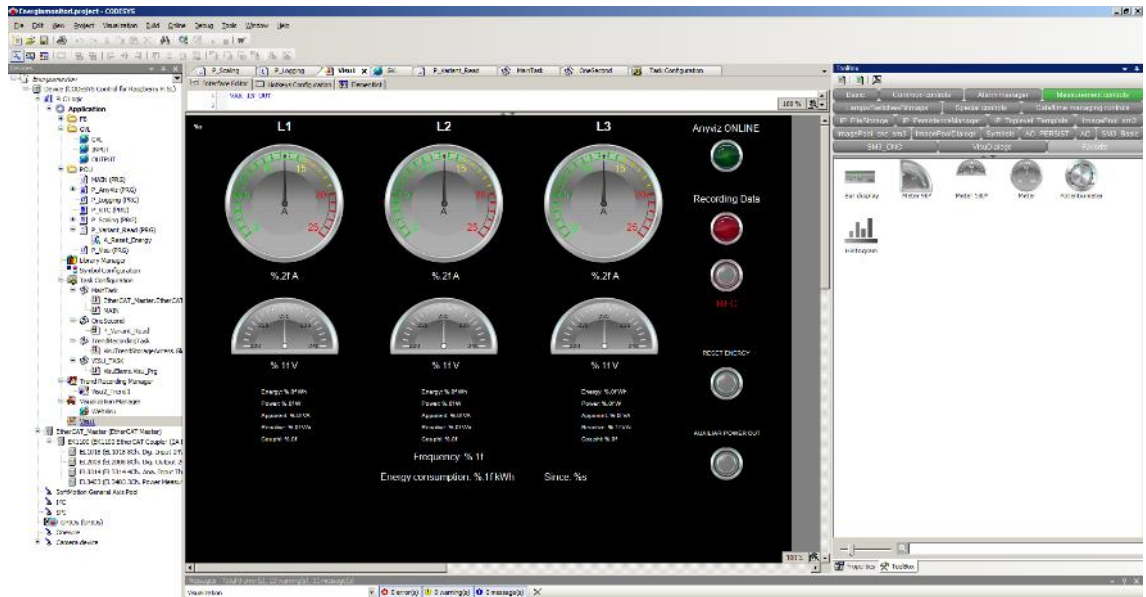
Kuviosta 1 näkyy lasketut muuntosuhteet kullekin virta-alueelle. Keskiarvoksi muuntosuhteelle tulisi näillä mittausarvoilla 479,3. Keskimäärin oltiin siis kuitenkin melko lähellä valmistajan ilmoittamaa 500. Vertailun vuoksi luotiin taulukko kalibroituista arvoista ja valmistajan kiinteällä kertoimella lasketuista arvoista (KUVIO 2).



KUVIO 2. Vertailu

## 5.4 Visualisointi

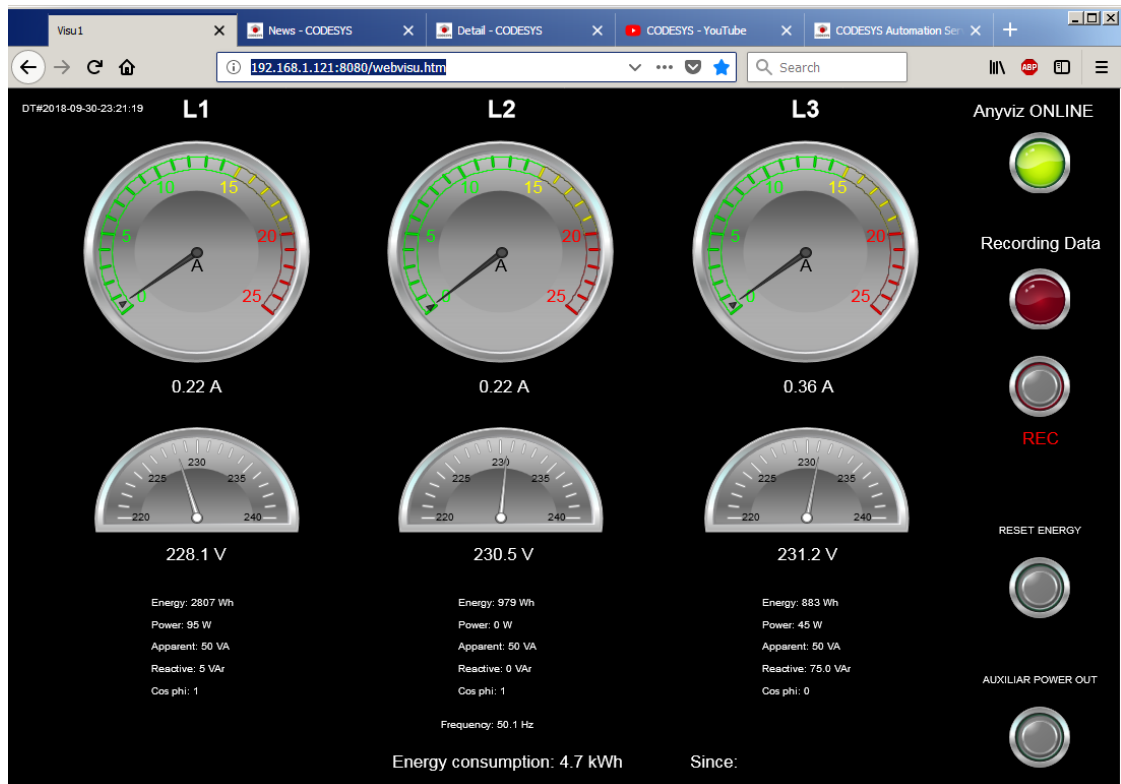
Visualisointia rakennetaan lisäämällä ohjelmaan 'Visualization' objekti ja tämän jälkeen työkalupakista raahataan halutunlaisia nappeja, mittareita, taulukoita tai vaikka merkkilamppuja. Tämän jälkeen haluttu muuttuja linkitetään käytettyyn objektiin. Kuvassa 52 näkymä miltä visualisoinnin rakennusympäristö näyttää.



KUVA 52. Visualisointi CODESYS-ohjelmassa

Kun ohjelma on käynnissä, käynnistyy myös WEB-visualisaatio ohjelmoijan määrittelemään IP-osoitteeseen. Visualisaation saa näkyviin internetselaimella kirjoittamalla osoitekenttään IP-osoitteen. Tässä tapauksessa 192.168.1.121:8080/webvisu.htm. Kuvassa 53 visualisaatio avuttuna Firefox-selaimessa.

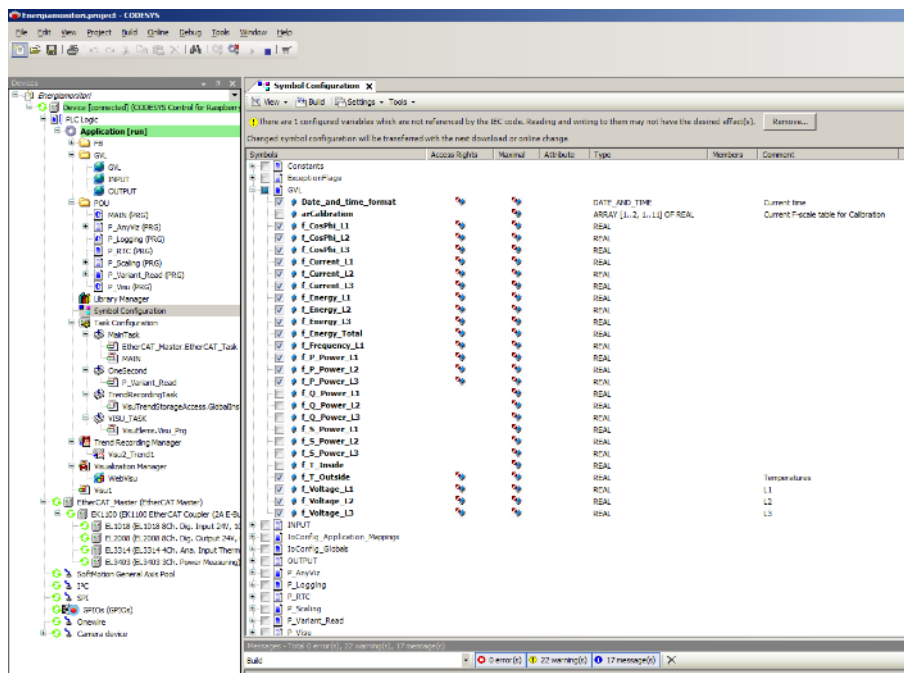




KUVA 53. Webvisualisointi internetselaimessa

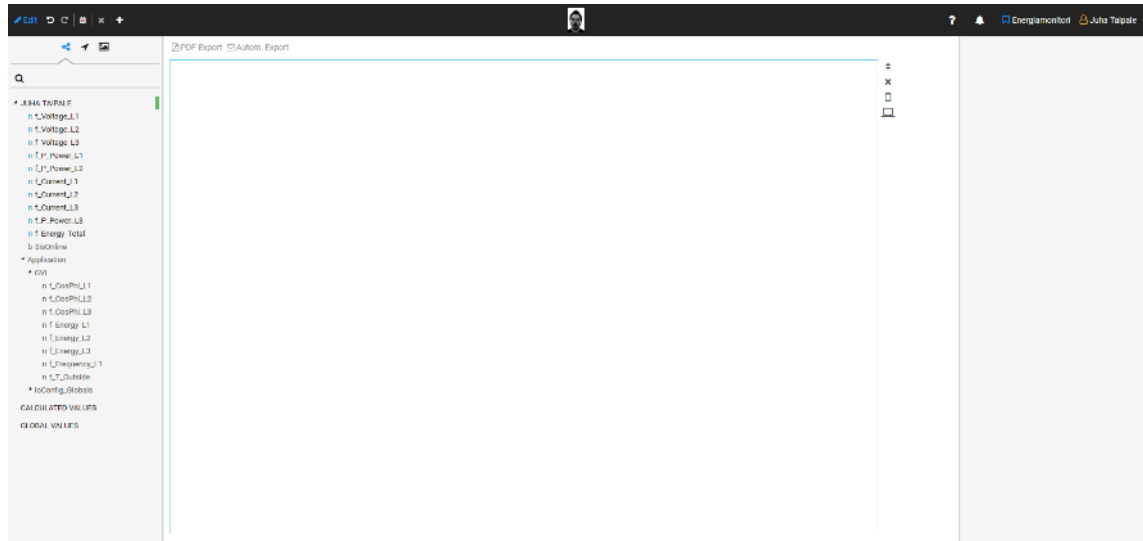
## 5.5 Anyviz

Kun Anyviz-toimilohkoon on syötetty tunnukset, lisätään hardware listaukseen 'Symbol Configurator'. Siinä valikoidaan mitkä muuttujat halutaan siirtää portaaliin (KUVA 54).



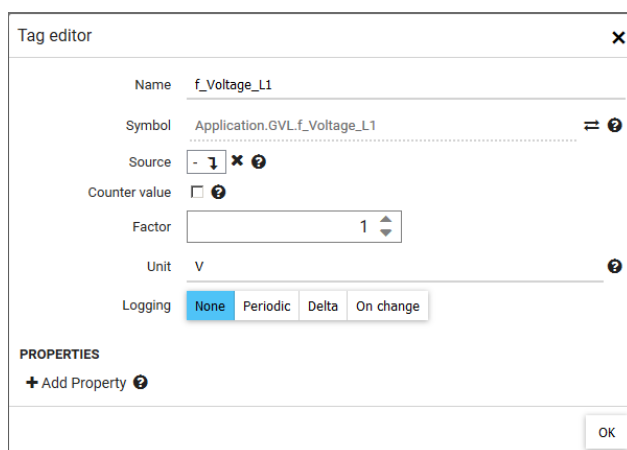
KUVA 54. Symbol Configurator

Kun CODESYS -ohjelmassa on Anyviz-toimilohko käynnissä ja palveluun siirrettävät muuttujat on valittu 'Symbol Configurator' osiossa, voidaan siirtyä internetselaimella osoitteeseen <http://www.anyviz.de>. Palveluun kirjaututtua avautuu tyhjä aloitussivu, jonka vasemmasta reunasta löytyy lista muuttujista (KUVA 55). (CODESYS 2018)



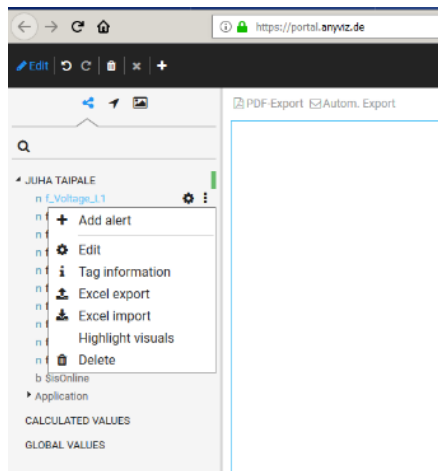
KUVA 55. Lähtötilanne Anyviz portaalissa

Tag editorissa (KUVA 56) voidaan siirretylle arvolle lisätä mittakerroin, mittayksikkö, sekä asettaa datan loggaukselle raja-arvoja. Dataa voidaan tallentaa, joko aikajaksojen perusteella tai arvon muutoksen perusteella tai sattumanvaraisesti.



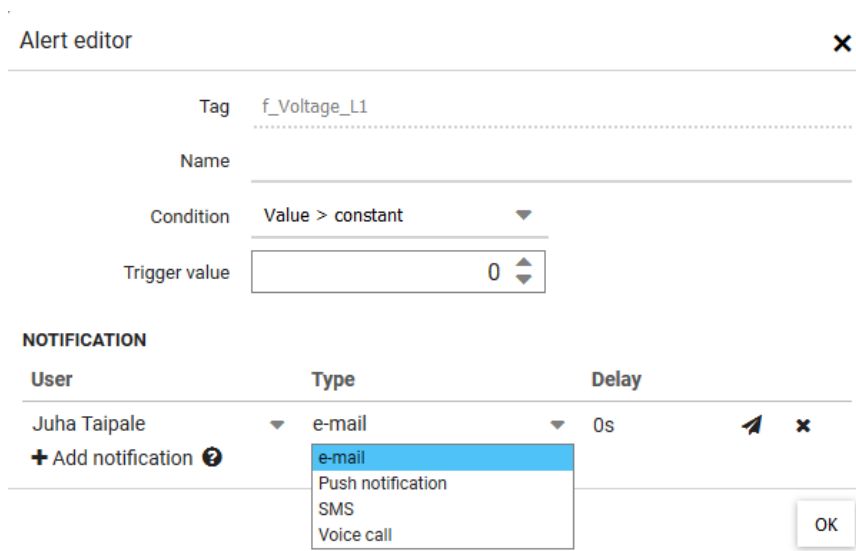
KUVA 56. Tag editor

Muuttujalistassa muuttujan kohdalta painettaessa aukeaa pieni valikko. Sieltä saa muun muassa kyseisestä muuttujasta Excel exportin. Excel export luo muuttujasta xls-tiedoston, jossa on muuttujan arvot aikaleimoinen ennalta määritellyltä ajankohdalta. Excel export on mahdollista ottaa vain muuttujista, joiden asetuksissa data logging on asetettu päälle (KUVA 57).



KUVA 57. Muuttujalistaus

Muuttujalistauksessa voi myös lisätä tietyille muuttujalle hälytysarvot (Add alert). Hälytysarvon ylittyessä tai alittuessa Anyviz-portaali antaa hälytyksen joko sähköpostilla, tekstiviestillä, push notifiokaationa tai puhelinsoittona (KUVA 58).



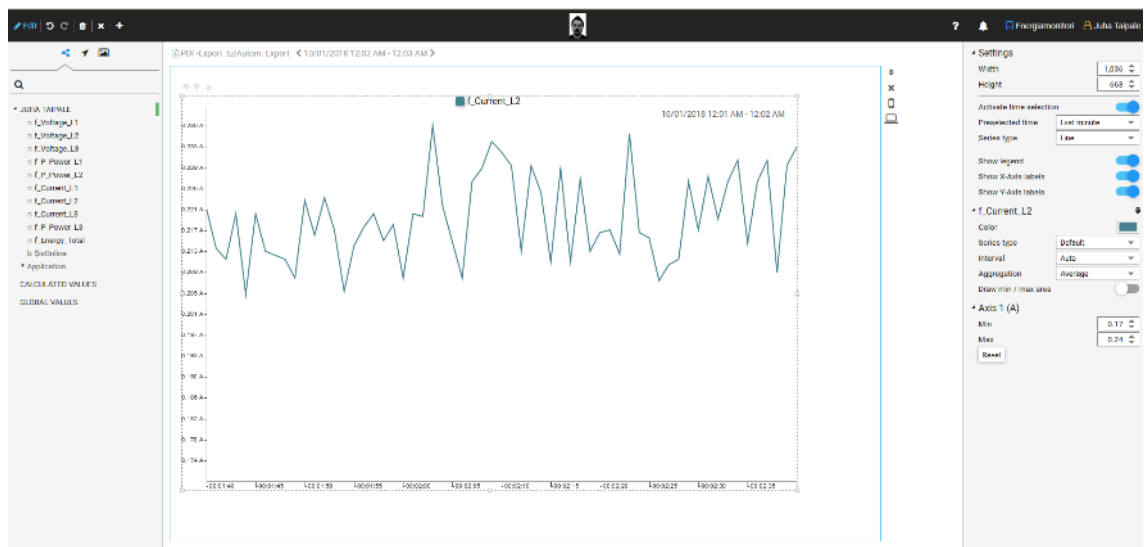
KUVA 58. Alert editor

Kun muuttujan asetukset on määritelty, muuttuja raahataan tyhjiin kenttään. Kenttään avautuu visualisointiympyrä (KUVA 59), josta valitaan minkälainen visualisointi muuttujasta halutaan esittää.



KUVA 59. Visualisointiympyrä

Kuvassa 60 kuvaaja vaiheen L2 virran kehityksestä yhden minuutin aikana, oikealla ikkunassa kaavion asetukset.



KUVA 60. Vaiheen L2 virran mittausta

## 5.6 Anyviz testaus

Virranmittausta ja Anyviz-seuranta testailtiin erilaisilla kodin sähkölaitteilla. Kiinnostavaa tietysti oli palvelun vasteaika, eli kuinka nopeasti viisari värähtää kytkentähetkestä. Testausta varten otettiin kannettava tietokone saunaan mukaan ja monitorointinäkyvä pidettiin auki samalla, kun kiukaan päälle kytkentä videoitiin (LIITE 1). Viive oli noin yksi sekunti, mikä on hämmästyttävän pieni, kun ottaa huomioon minkälaisen matkan signaali kulkee.

Viiivettä aiheuttavia tekijöitä on matkalla sensorilta näytölle monia. Energiamittauskortin AD-muuntimen kääntöaika, logiikkaohjelman kiertoaika (keskimääräinen kiertoaika 550  $\mu$ s), langaton yhteys RPi:lta kotireitittimelle ja siitä edelleen Anyviz-portaaliin, langaton yhteys kannettavaan tietokoneeseen takaisin sekä selaimen että näytönohjaimen nopeus.

Kuvassa 61 ja 62 vertailussa kiukaan päällekytkennän vaikutus. Kuvassa 61 huoneistossa päällä vain valaistusta ja tyhjäkäyvät koneet. Kuvassa 62 kiuas kytkettynä päälle. Tehoja tulee kullekin kanavalle noin 2 kW lisää. Saunassa on 6 kW:n kiuas, eli tehomäärä on kutakuinkin oikea.



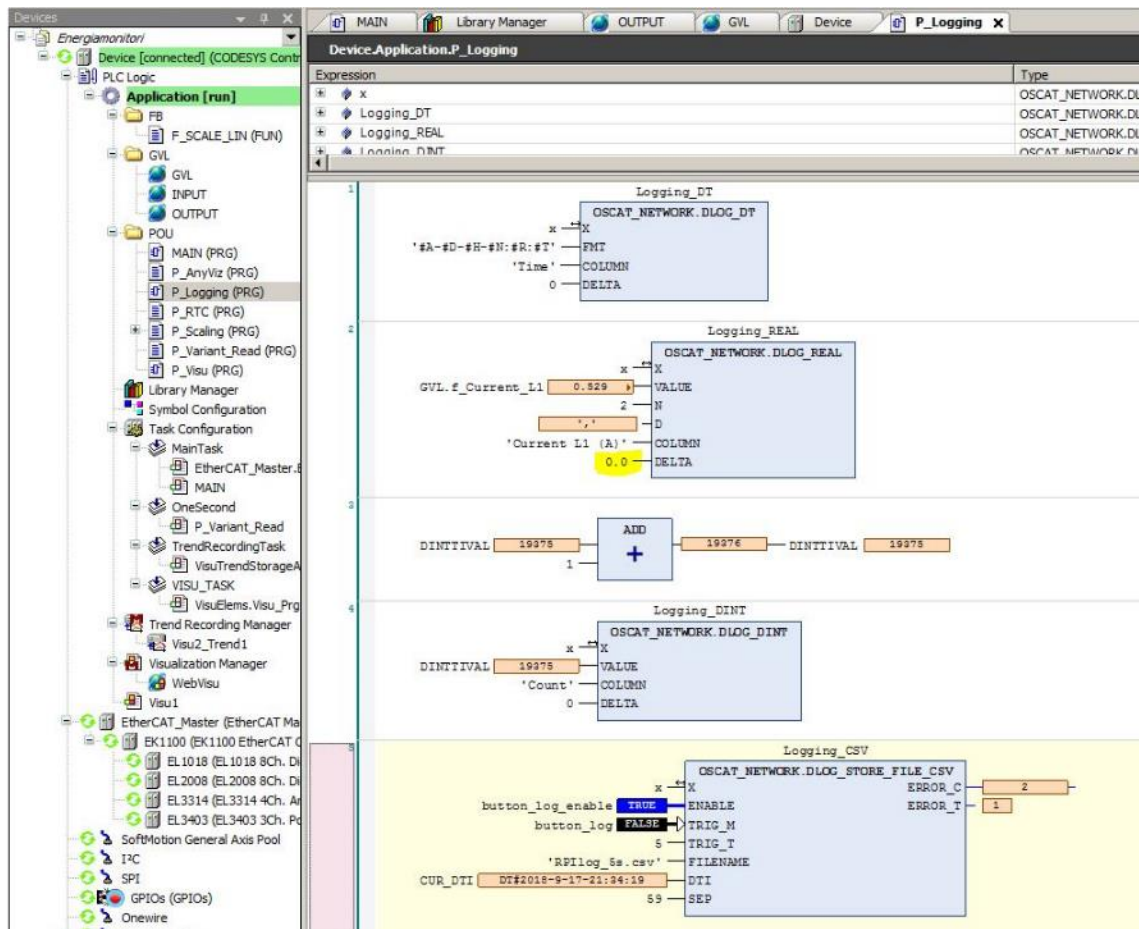
KUVA 61. Lähtötilanne, vain peruslaitteita ja valaistusta päällä



KUVA 62. Kiuas päällä

## 5.7 Datalogaus

OSCAT Network -kirjastosta käytettiin toimilohkoa 'DLOG\_STORE\_FILE\_CSV' CSV-tiedostojen kirjoittamiseksi (KUVA 63). Lohko kirjoittaa halutessa talteen aikaleimaa, Integer-tyyppisiä muuttujia, boolean -tyyppisiä muuttujia tai reaalityyppisiä muuttujia.



KUVA 63. Muutama rivi datalogaus -ohjelmaa

Täydelliseksi testikohteeksi valikoitui keittiön uuni. Uuniin laitettiin sisälle järjestelmän lämpötila-anturi ja tiedostoon tallennettiin sekunnin välein aikaleima, lämpötila sekä kunkin vaiheen virta-arvo. Jotta yksittäisen tiedoston datamäärä ei kasvaisi liian suureksi, koitettiin sellaista asetusta, jossa lohko tallentaa kerran minuutissa uuden tiedoston ja nimeää tiedoston minuuttileiman mukaisesti.

Jälkikäteen ajateltuna dataa tuli melko vähän per tiedosto ja toisaalta testi kesti melko kauan, jolloin datan kerääminen yhteen Excel-tiedostoon jälkikäteen oli työlästä.

Kuvassa 64 lämpötila-anturi uunin keskiosassa.



KUVA 64. Lämpötila-anturi uunissa

Uuniin aseteltiin tavoitelämpötilaksi 100 °C, dataloggaus käynnistettiin ja uuni laitettiin päälle tasalämmölle (KUVA 65).



KUVA 65. Uuni 100 °C, tasalämpö

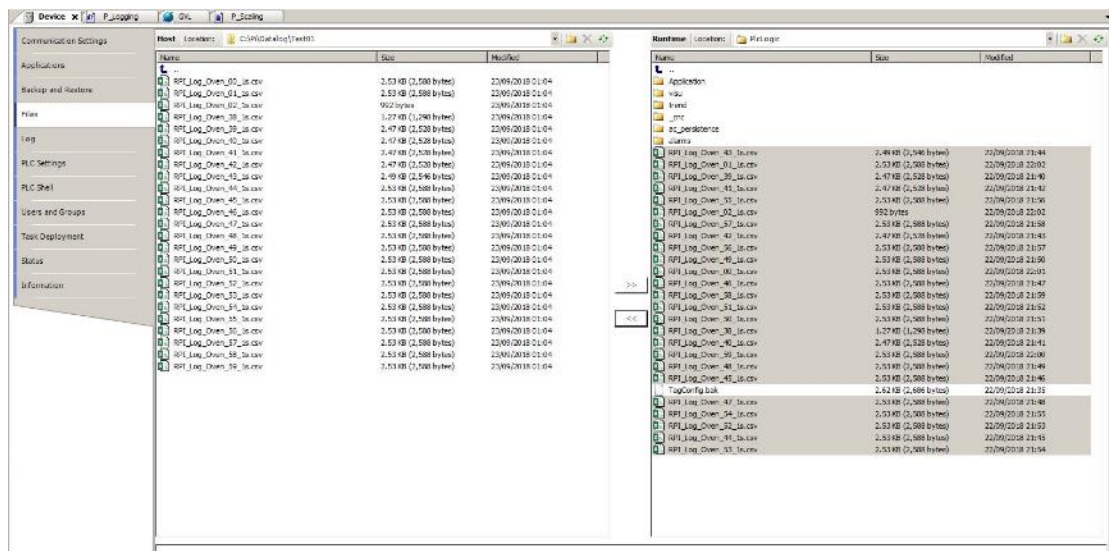


Salkun vihreä valo indikoi, että yhteys Anyviz-portaaliin on kunnossa. Punainen valo vilkkuu, kun datan loggaus on käynnissä (KUVA 66). Datan tallentaminen käynnistetään punaisesta napista ja toisella painalluksella sammutetaan. Tallentamisen aloituksen voisi ohjelmoida myös triggautuvaksi esimerkiksi jonkin arvon ylittyessä.



KUVA 66. Indikaatiovalot toiminnassa

Tiedostot kirjoittuvat ohjelmalohkossa määriteltyyn tiedostopolkuun RPi:n kansioissa. RPi:n kansiorakennetta pääsee tutkimaan Device -lehden 'Files' osiosta (Kuva 67). Täältä voi myös siirtää RPi:n kirjoittaman datan helposti ohjelmointikoneen levyille.



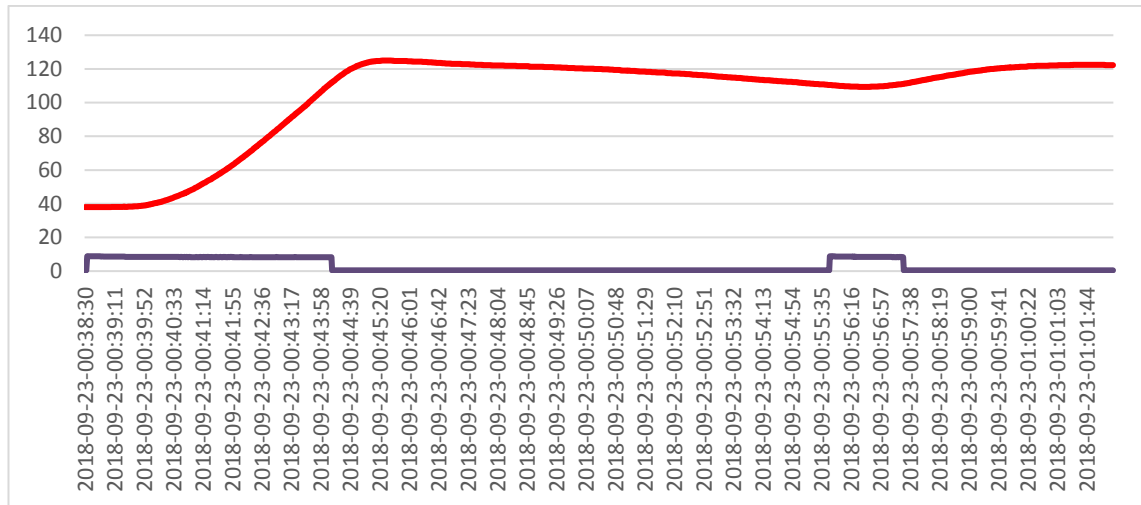
KUVA 67. Data talteen RPi:sta ohjelmointikoneelle

Kuvassa 68 tallennettua dataa uunitestistä. Uuni näyttäisi olevan kytkettynä vaiheelle L1. Dataa ehti tallentua vain noin kolme sekuntia, ennen kuin uuni laitettiin päälle. Uunia oli aiemmin illalla käytetty ja tästä syystä lähtölämpötila hieman normaalia korkeampi.

	A	B	C	D	E	F
1	Time	Temperature (°C)	Current L1 (A)	Current L2 (A)	Current L3 (A)	
2	2018-09-23-00:38:30	38	0,46	0,24	0,5	
3	2018-09-23-00:38:31	38	0,47	0,21	0,51	
4	2018-09-23-00:38:32	38	0,47	0,22	0,52	
5	2018-09-23-00:38:33	38	8,88	0,23	0,5	
6	2018-09-23-00:38:34	38	8,9	0,24	0,51	
7	2018-09-23-00:38:35	38	8,88	0,24	0,51	
8	2018-09-23-00:38:36	38	8,88	0,23	0,51	
9	2018-09-23-00:38:37	38	8,86	0,24	0,52	
10	2018-09-23-00:38:38	38	8,84	0,24	0,51	
11	2018-09-23-00:38:39	38	8,83	0,23	0,51	
12	2018-09-23-00:38:40	38	8,82	0,21	0,52	
13	2018-09-23-00:38:41	38	8,86	0,24	0,52	
14	2018-09-23-00:38:42	38	8,81	0,25	0,52	
15	2018-09-23-00:38:43	38	8,8	0,24	0,5	
16	2018-09-23-00:38:44	38	8,79	0,22	0,5	
17	2018-09-23-00:38:45	38	8,8	0,23	0,5	
18	2018-09-23-00:38:46	38	8,78	0,22	0,51	
19	2018-09-23-00:38:47	38	8,77	0,22	0,52	
20	2018-09-23-00:38:48	38	8,75	0,22	0,5	
21	2018-09-23-00:38:49	38	8,75	0,21	0,52	
22	2018-09-23-00:38:50	38	8,75	0,24	0,52	
23	2018-09-23-00:38:51	38	8,72	0,23	0,5	
24	2018-09-23-00:38:52	38	8,71	0,24	0,5	
25	2018-09-23-00:38:53	38	8,7	0,25	0,51	
26	2018-09-23-00:38:54	38	8,71	0,23	0,5	
27	2018-09-23-00:38:55	38	8,71	0,23	0,52	
28	2018-09-23-00:38:56	38	8,69	0,23	0,5	
29	2018-09-23-00:38:57	38	8,68	0,23	0,49	
30	2018-09-23-00:38:58	38	8,68	0,22	0,5	
31	2018-09-23-00:38:59	38	8,68	0,24	0,5	
32						
33						
34						

KUVA 68. CSV -data uunista

Kaikki CSV-data koottiin yhteen Excel-tiedostoon ja lämpötilan ja virran korrelaatiosta piirrettiin kuvaaja (KUVIO 3).



KUVIO 3. Uunin seuranta

Kuvaajasta 3 voidaan lukea, että tavoitelämpötilaan pääsy on kestänyt noin viisi minuuttia ja uunin termostaatti on melko tarkasti leikannut virransyötön pois. Lämpötila jatkaa kuitenkin vielä jonkin aikaa nousua 125 °C asti, kunnes alkaa uuni alkaa jäähtyä. Lämpötilan laskiessa 110,4 °C:seen uuni kytkeytyy jälleen päälle. Jos tarkastellaan yhden jäähtymisjakson lämpötilan keskiarvoa, saadaan tulokseksi melko tarkasti uunin keskimääräinen lämpötila. Uunin keskimääräiseksi lämpötilaksi saatiin 118 °C kun haluttu lämpötila on ollut 100 °C tasalämpöasetuksella.

Liitteessä 1 on linkki videoon "Energiamonitori", josta on nähtävissä mittausjärjestely ja laitteen toimintaa kuormituksen muutostilanteessa.

## 6 POHDINTA

Raspberry Pi on suoriutunut hämmästyttävän hienosti sille asetetuista tehtävistä ja ehdottoman suositeltava se on testailu- ja opetuskäyttöön. Se on PLC-ohjaimena teknistaloudellisesti verrattoman hyvä. Kuitenkin, kuten alussa jo mainittu, sitä ei voi ajatella käytettäväksi missään kriittisessä sovelluksessa, sillä RPi ei ole teollisuuskäyttöön suunniteltu laite, eikä sitä voida komponenttiensa puolesta pitää luotettavana.

Projekti saatiin saatettua maaliin, sekä sille asetetuista tavoitteista suoriuduttiin. Laite on myös kehittynyt matkalla suunnattomasti ja uusia sovelluksia laitteelle tai vastaavalle kokonpanolle tulee mieleen jatkuvasti.

Laitteella on mielenkiintoista tutkia kodin sähköjärjestelmää ja sen erilaisia laitteita. Esimerkiksi kunkin pistorasian vaiheen pystyy helposti selvittämään ja näin saa kokonaiskuvaa, miten sähköasennukset on toteutettu, jos saatavilla ei ole päivitettyjä sähkökuvia. Lisäksi laitteella voi seurata esimerkiksi astianpesukoneen tai pyykinpesukoneen virrankulutusta pesuohjelman aikana.

Laite asennettaneen johonkin kohteeseen kiinteästi, kunhan sille löytyy sopiva paikka. Lisäksi rakennetaan toiset mittauskaapelit, jotta salkun voi tarvittaessa nopeasti napata matkaan mukaan irrottamalla vain kaapelit liittimistä.

Seuraavassa kehitysversiona ei tarvita reititintä lainkaan, vaan RPi:n asennetaan 3G-verkkosovitin ja VPN ohjelmoidaan RPi:n Linux käyttöjärjestelmään. Lisäksi seuraava malli rakennetaan RPi 3:n pohjalle, jossa on wlan ja bluetooth jo valmiina.

CODESYS tiedotti elokuussa 2018 julkaisevansa seuraavan päivityspaketin joulukuussa 2018. Päivityspaketti tuo mukanaan visuaalisointiin huomattavasti näyttävämmät grafiikat, sekä uuden 'CODESYS Automation Server' -ominaisuuden, jossa on sisäänrakennettuna useita pilvipalvelu- ja yläjärjestelmäadaptereita. Päivitys tulee varmasti käyttöön heti, sillä uusista visualisoinneista julkisuuteen annetut kuvat näyttivät paljon paremmilta.

## LÄHTEET

Brucelin Kithion, 14.04.2016, Arduino vs Raspberry Pi Vs BeagleBone – Which one to choose for IOT? Wordpress. Luettu 07.08.2018.

<https://learniot.wordpress.com/2016/04/14/arduino-vs-raspberry-pi-vs-beaglebone-which-one-to-choose-for-iot/>

Miikka Kiiski 04.06.2014, Industrial Internet ja Internet of Things – mistä oikeastaan puhumme? Alykassuomi.fi. Luettu 07.09.2018

<http://www.alykassuomi.fi/2014/06/industrial-internet-ja-internet-things-mista-oikeastaan-puhumme/>

Jacob Morgan 13.05.2014, A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things', Forbes Luettu 02.09.2018

<https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/#>

KUVA 3, Hajautettu EtherCAT-kenttäväylä

<http://www.beckhoff.com/images/ethercat/topology.gif>

HMS Industrial Networks 2018. Luettu 15.09.2018.

<https://www.hms-networks.com/about>

KUVA 4, Väyläprotokollien käytön jakaantuminen vuonna 2016

<https://www.industr.com/en/industrial-ethernet-is-growing-faster-1550502>

KUVA 5, Väyläprotokollien käytön jakaantuminen vuonna 2018

<https://www.anybus.com/about-us/news/2018/02/16/industrial-ethernet-is-now-bigger-than-fieldbuses>

EtherCAT Technology Group 02/2018, ETG\_Brochure\_EN.pdf. Luettu 10.10.2018.

[https://www.ethercat.org/download/documents/ETG\\_Brochure\\_EN.pdf](https://www.ethercat.org/download/documents/ETG_Brochure_EN.pdf)

Anyviz 2018. Luettu 07.07.2018.

<https://www.anyviz.de/en/uebersicht/>

<https://www.anyviz.de/en/features/>

CODESYS 2018. Luettu 15.08.2018.

<https://www.codesys.com/company/facts-figures.html>

CODESYS, PLC Programming with CoDeSys 2.3, Version 6.0

Julkaistu 28.10.2010, tulostettu 06.02.2016

OSCAT, Network: LIBRARY, Documentation in English, Version 1.21

Julkaistu 03.04.2015, tulostettu 14.12.2015

Raspberry Pi Foundation 2018. Luettu 20.06.2018.

<https://www.raspberrypi.org/about/>

<https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/>

Beckhoff, Documentation EK110x, EK15xx, EtherCAT Bus Coupler, Version 3.6  
Julkaistu 05.10.2017, tulostettu 24.08.2018

Beckhoff, Documentation EL10xx, EK11xx, Digital Input Terminals, Version 4.3  
Julkaistu 02.09.2016, tulostettu 24.08.2018

Beckhoff, Documentation EL20xx, EL2124, Digital Output Terminals, Version 4.7  
Julkaistu 06.11.2017, tulostettu 24.08.2018

Beckhoff, Documentation EL33xx-00x0, Analog thermocouple input terminal (open-circuit recognition, 1, 2, 4 ch.), Version 4.1, Julkaistu 02.10.2017, tulostettu 24.08.2018

Tekniikan Kaavasto, Tammertekniikka, 6. painos marraskuu 2008 (sivu 126)

Ahoranta, J. 2015. Sähkötekniikka. 14. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy s. 289

Beckhoff, Documentation EL3403, 3-phase power measurement terminal, Version 3.0  
Julkaistu 23.12.2015, tulostettu 05.01.2016

Ahoranta, J. 2015. Sähkötekniikka. 14. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy  
s. 268-288

SKS Sensors 2018. Luettu 10.10.2018.

<http://www.skssensors.fi/faq/miten-te-anturi-toimii/>

William Hays, 01.06.2002, Exploring Current Transformer Applications. Luettu 05.09.2018

<https://www.powerelectronics.com/content/exploring-current-transformer-applications>

StackExchange, 06.08.2013, Setting up WiFi and Ethernet. Luettu 10.07.2018

<https://raspberrypi.stackexchange.com/questions/8851/setting-up-wifi-and-ethernet>

CODESYS, Data Sheet CODESYS Control for Raspberry Pi SL, Version 3.5.13.0  
Julkaistu 10.07.2018, tulostettu 20.08.2018

CODESYS, Data Sheet AnyViz Cloud Adapter, Version 1.3.0.0  
Julkaistu 03.04.2018, tulostettu 20.08.2018

**LIITTEET**

Liite 1. Youtube-vidoot

VID 20180826 142555, Juha Taipale, Julkaistu 27.08.2018

<https://www.youtube.com/watch?v=BlouaBezr08>

Energiamonitori, Juha Taipale, Julkaistu 30.09.2018

<https://www.youtube.com/watch?v=m-1YkpLetUQ>

Liite 2. Virtamuuntimien datasheet



AZ Series Flying Lead Current Transformers

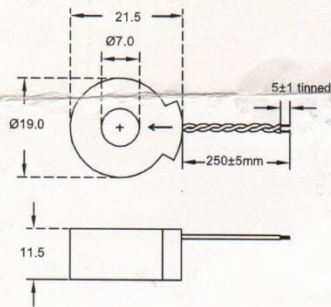
- Very high output voltage & Linearity in small size
- Integral flying for ease of installation
- Large center-hole allows 6.3mm tabs
- Dielectric withstand voltage 4KVrms
- Operating temperature range -40 to +85°C
- All materials UL94-V0



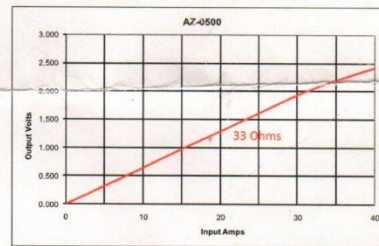
Electrical Specifications @ 20°C			
	AZ-0500	AZ-0750	AZ-1000
Operating Frequency in Hz	50/60	50/60	50/60
Maximum Primary current in Amps	25	40	50
Turns Ratio Nominal	500:1	750:1	1000:1
DC Resistance in $\Omega$ Nominal	18	35	72
Rated Burden Resistance in $\Omega$	33	33	33

**Lead Outs**  
Flex UL1569 AWG24, 300V Rating, 250±5mm long out of trafo with 5mm tinned ends

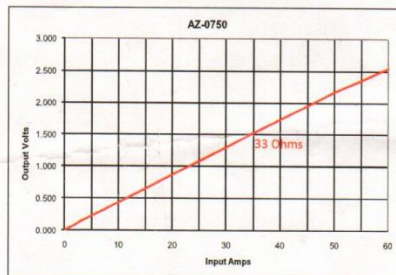
Mechanical Drawing



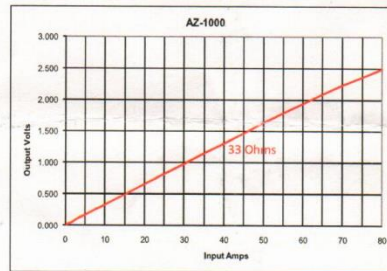
Input current vs Output voltage



Input current vs Output voltage



Input current vs Output voltage



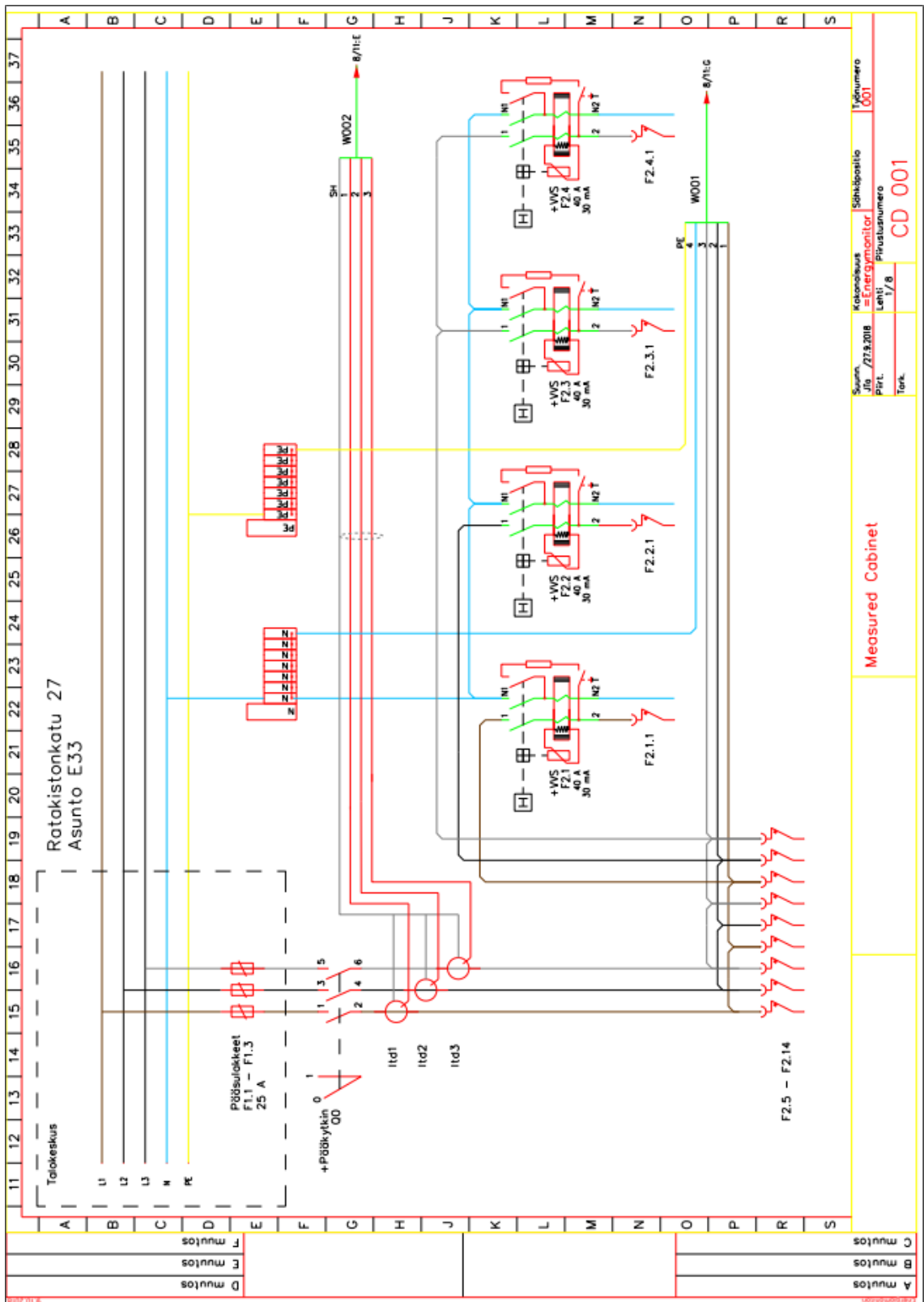
Germany: Int.+49 89 - 841 00-0 • Ireland: Int.+35 374 - 954 8666 • Czech Rep: Int.+420 37 - 744 9303 • India: Int.+91 427 - 244 1325  
<http://www.talema-nuvotem.com>

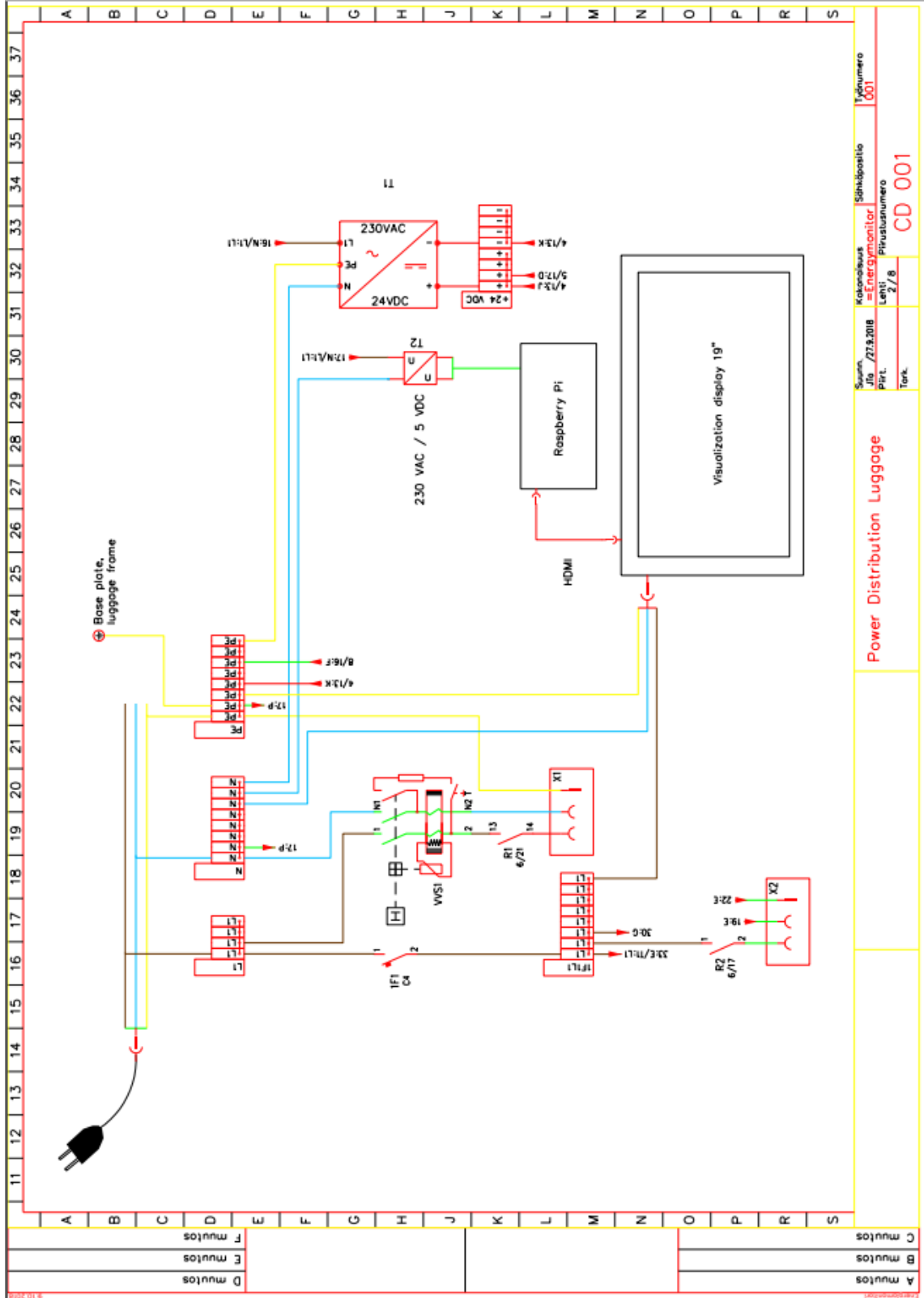
Initial Release Nov-11



Liite 3. Energiamonitorin piirikaavio

1 (8)

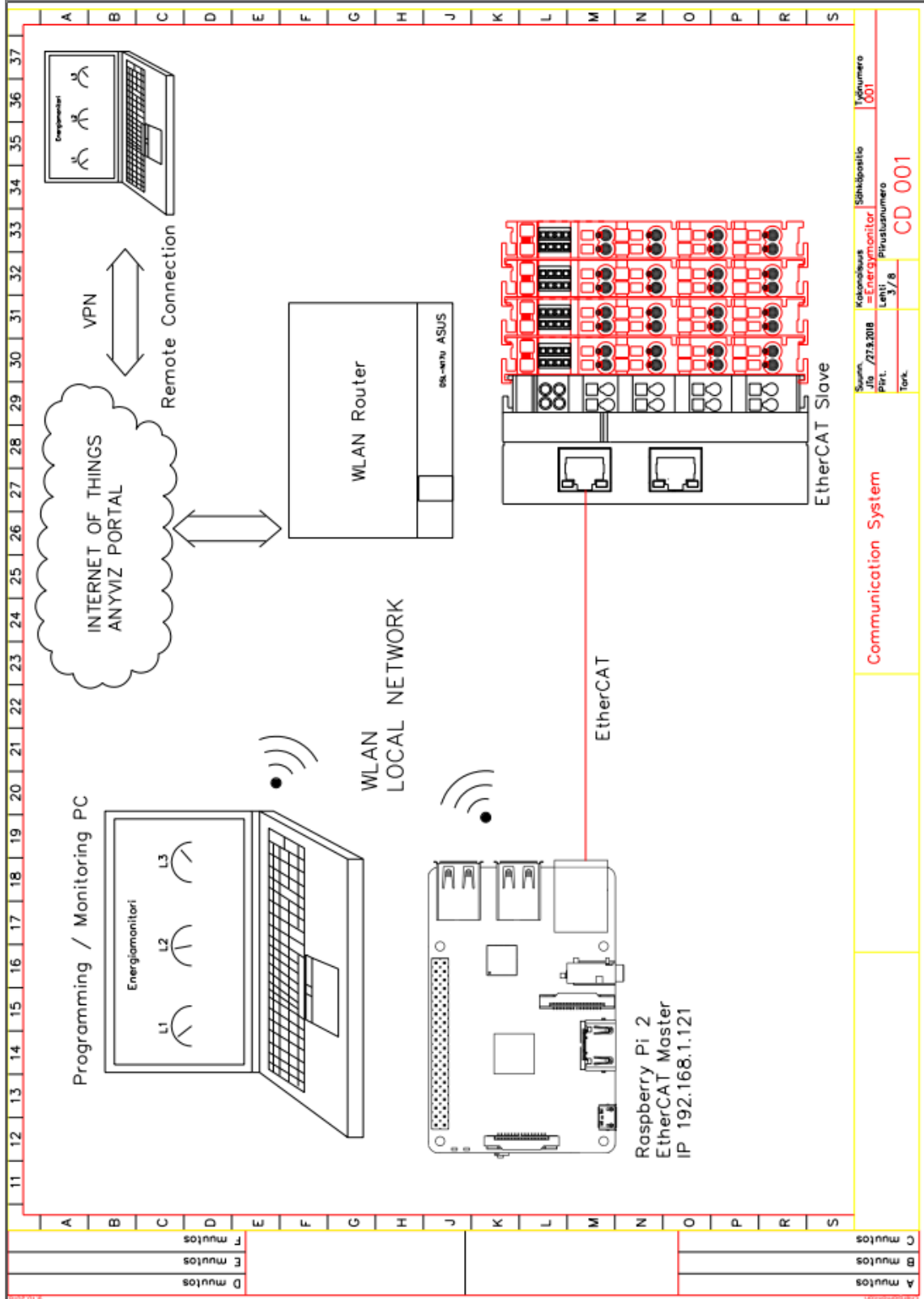




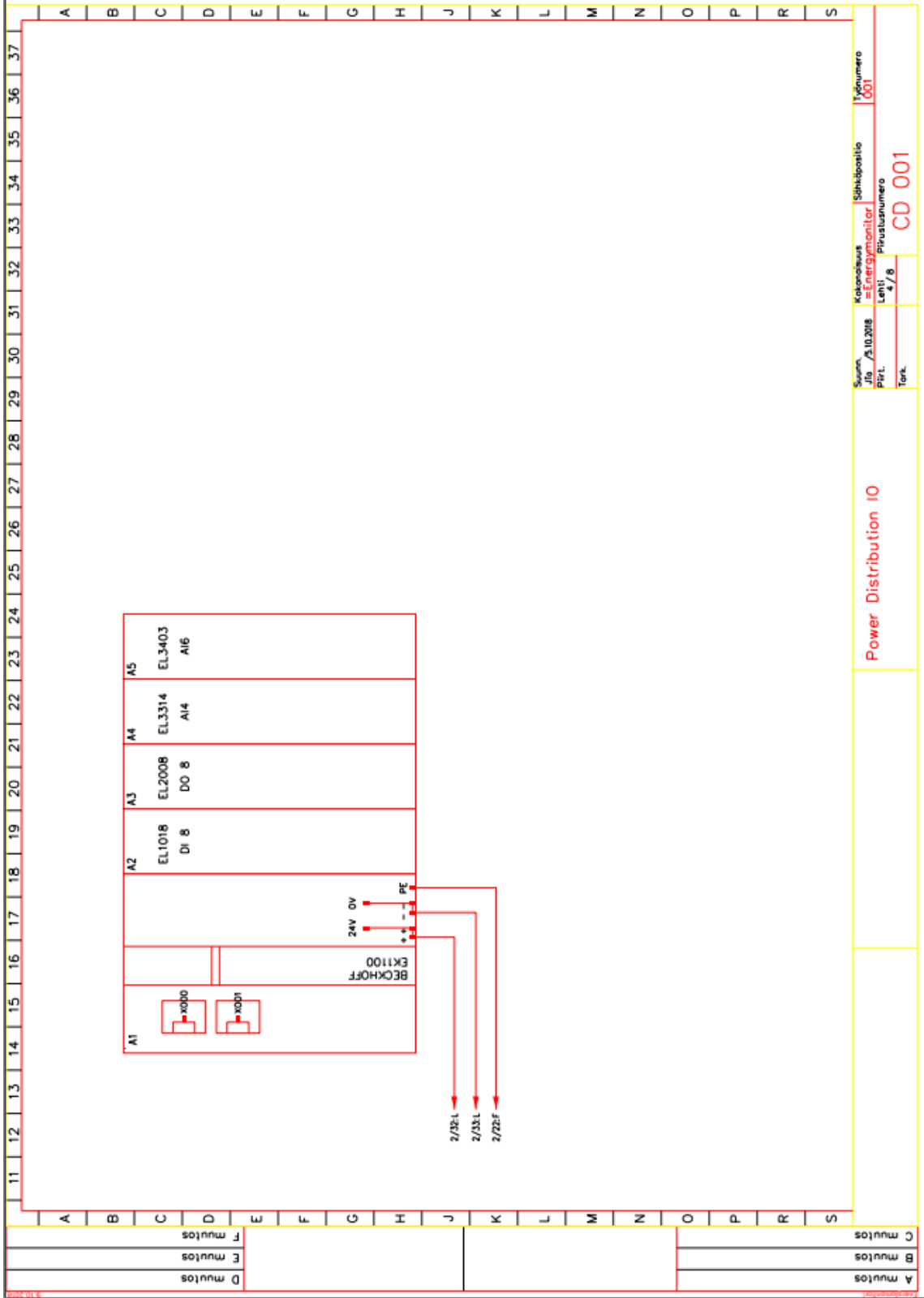
Kalendrisaus = Enerģijasvītņotārs Lehti 2 / 8	Sāhābpošāis Pīlusāunūmēro CD 001	Tīnūmēro 001
--	--	-----------------

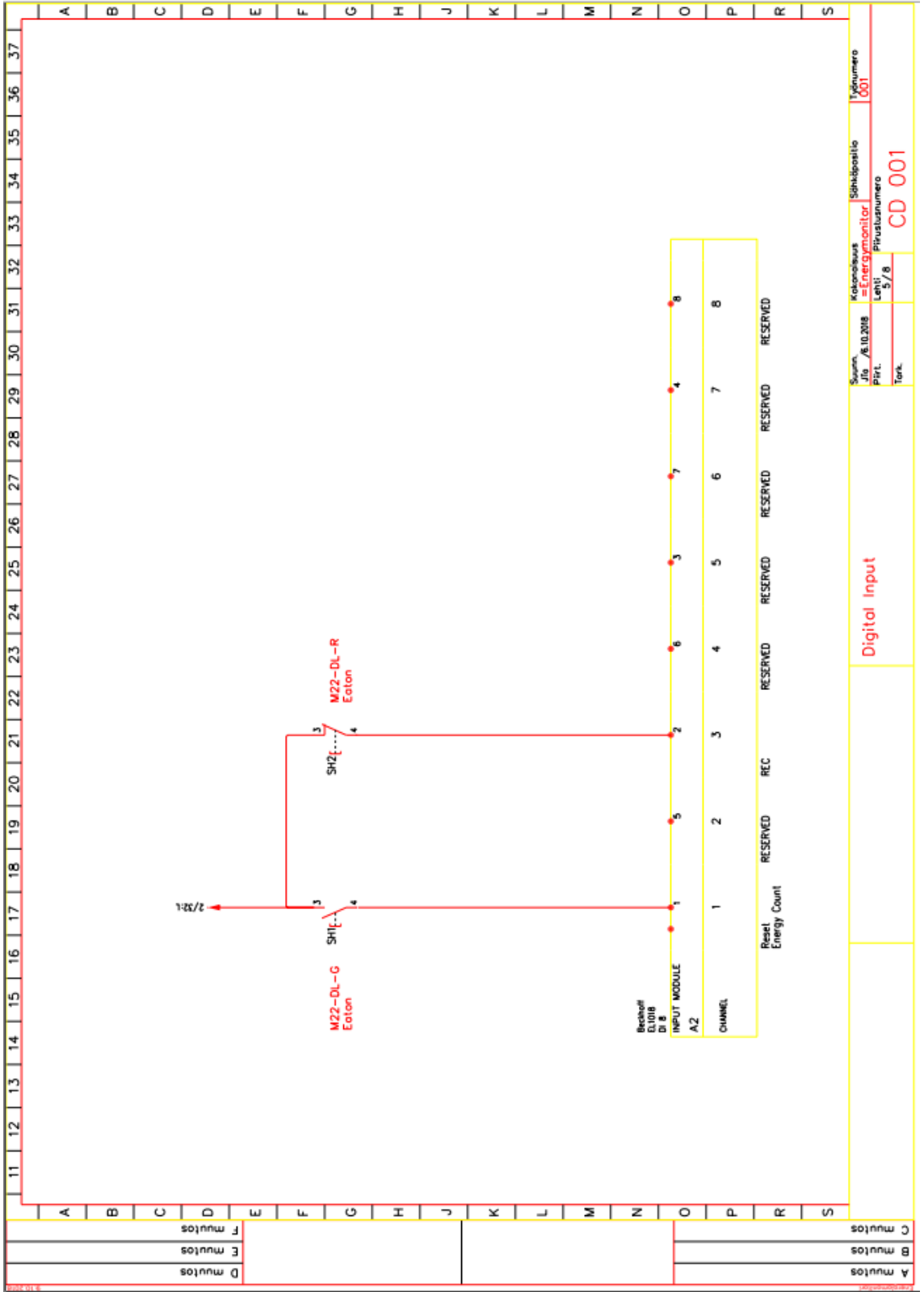
Power Distribution Luggage

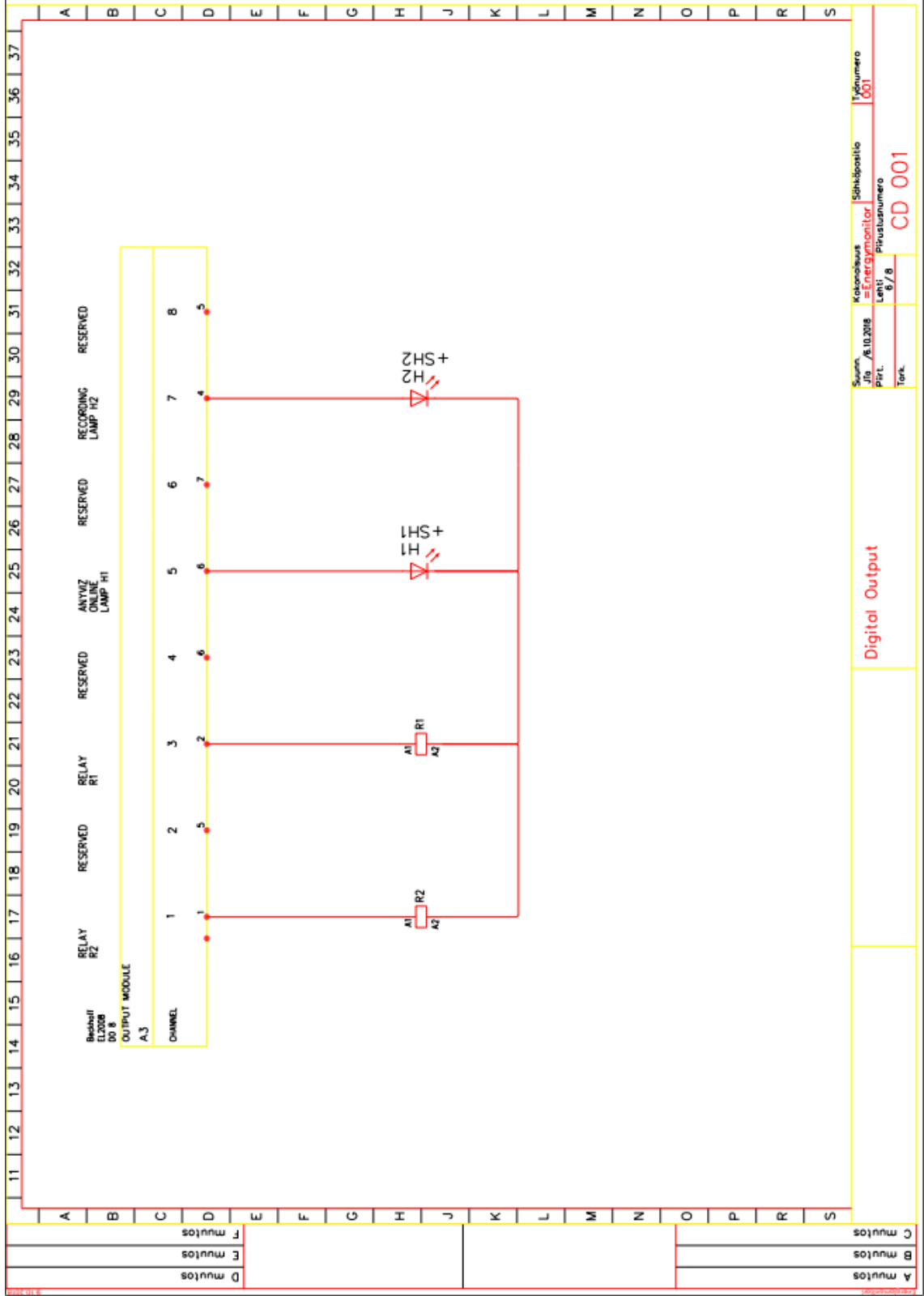
A mērtos	C mērtos
B mērtos	
D mērtos	
E mērtos	
F mērtos	



4 (8)





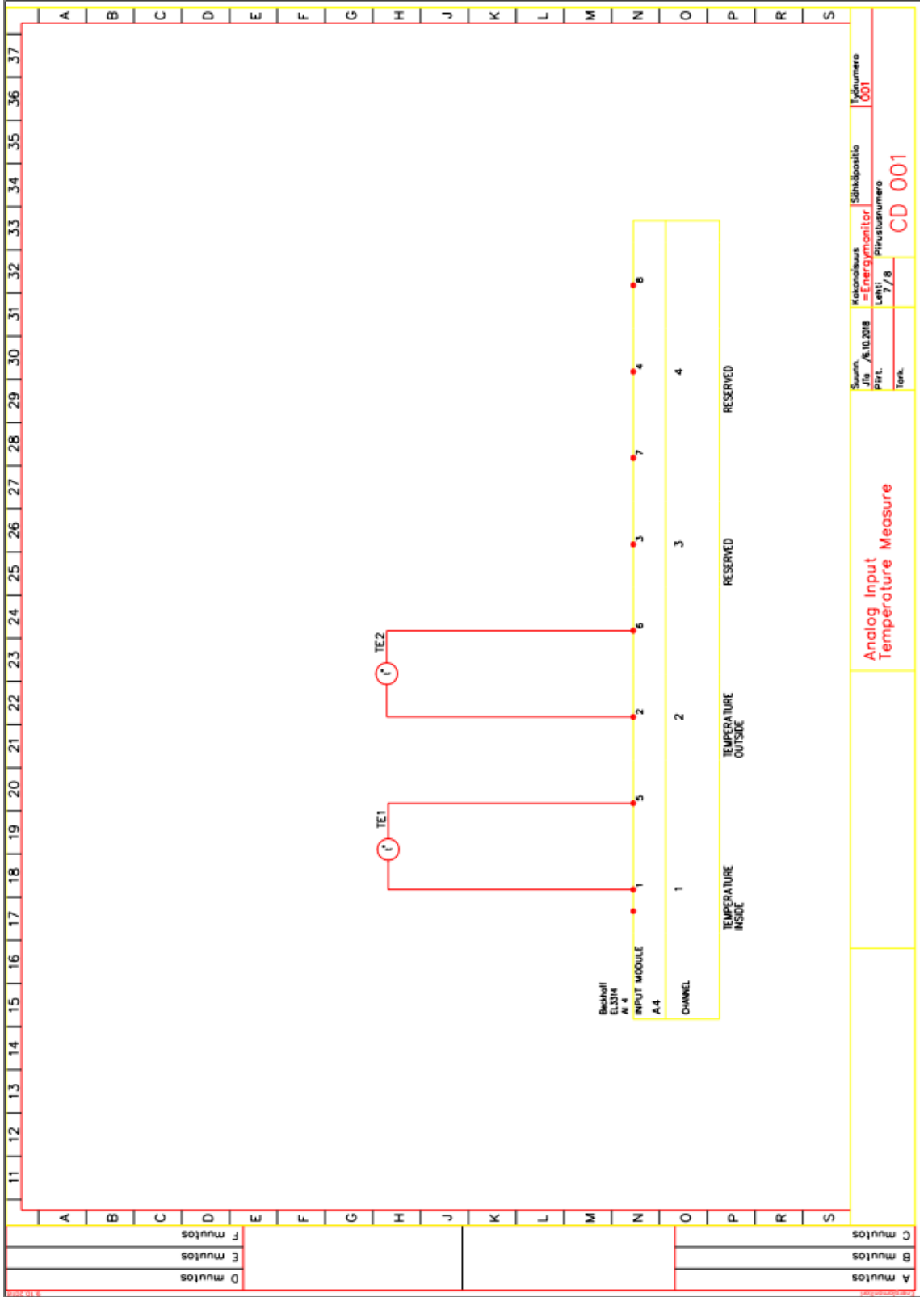


Stasiun	Kabupaten	Sekeloa	Tipe
Jl. A. 10. 2018	Energy	001	001
PLT	PLT	PLT	PLT
Tank	PLT	PLT	PLT

Digital Output

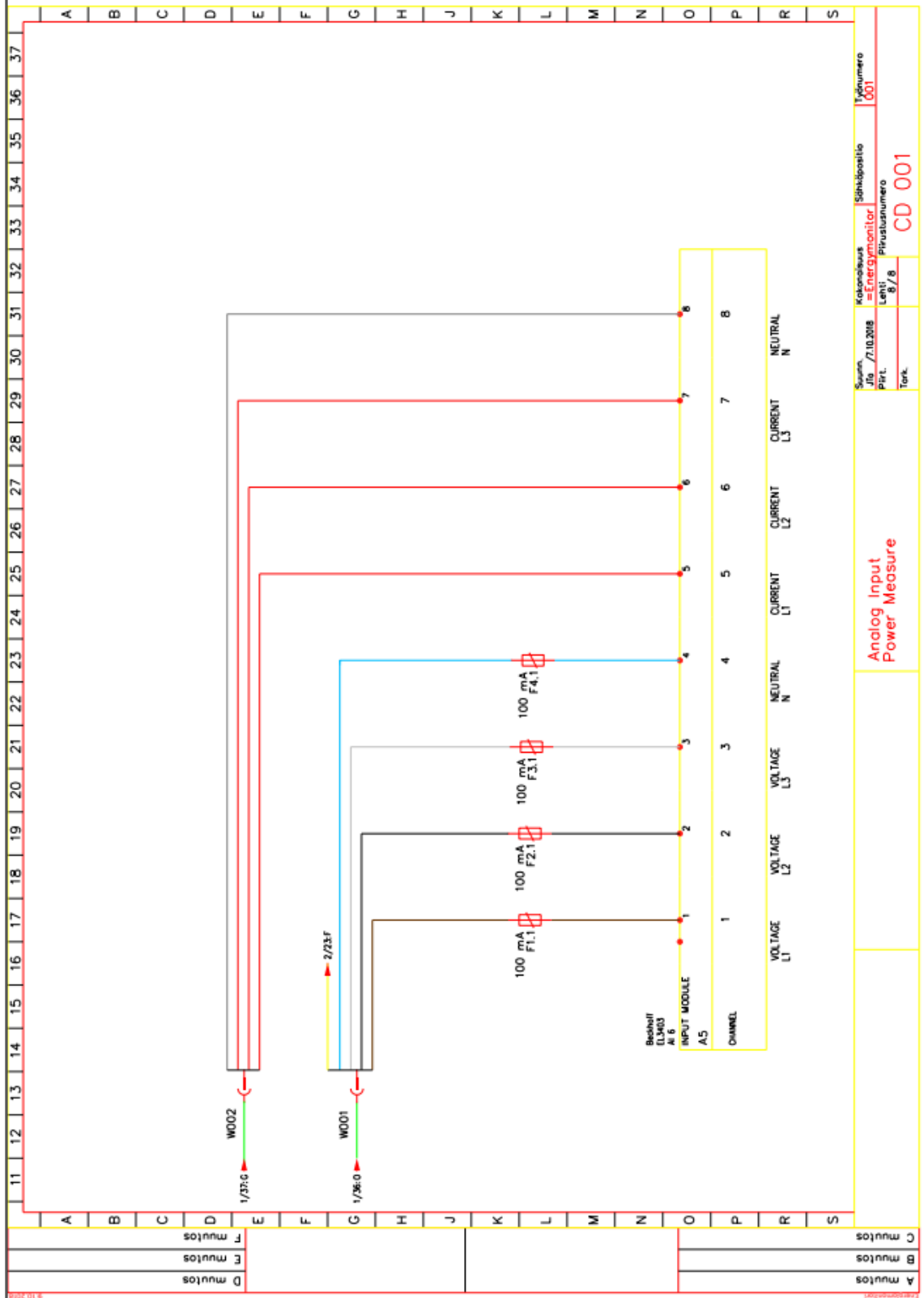
CD 001

A	muitos
B	muitos
C	muitos
D	muitos
E	muitos
F	muitos



A mulltos  
B mulltos  
C mulltos

D mulltos  
E mulltos  
F mulltos



Kalkolaus  
 = Energysanitor  
 Lehti  
 Pivustanumero  
 0/8  
 Työnumero  
 001  
 CD 001

Analog Input Power Measure

A mulltos  
 B mulltos  
 C mulltos

3.10.2018