

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

Koneautomaatio

2022

Juho Vainio

Kiinteistöautomaation mittausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikka | Koneautomaatio

2022 | 48 sivua, 3 liitesivua

Juho Vainio

Kiinteistöautomaation mittausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kiinteistöautomaation mittausjärjestelmiä ja niiden tuottaman mittadatan edelleen käsittelyä ja visualisointia. Työn kohteeksi on valittu hiljattain valmistunut kolmikerroksinen asuinkerrostalo, jonka lämmöntuotanto tapahtuu ilma-vesilämpöpumpputilalla. Tavoitteena on selvittää, miten rakennetaan laitteisto, jolla voidaan luotettavasti mitata lämmitysjärjestelmän toimintaa ja siihen liittyviä parametreja. Lisäksi tavoitteena on luoda mitatun tiedon tallennus- ja visualisointijärjestelmä, jotta kerättyjä tietoja päästäisiin käyttämään tutkimustarkoituksiin.

Järjestelmän putkien ja vesivaraajien lämpötilojen mittaukseen valitaan lämpöanturit, joiden tarkkuus tiedetään riittäväksi ja joiden asentaminen suunnitellaan ja dokumentoidaan. Kaikkien lämmitysjärjestelmään kuuluvien sähköä kuluttavien laitteiden osalta suunnitellaan lisäksi sähköenergian mittaus.

Toteutetusta järjestelmästä tuli luotettava ja arvot tallentuvat tietokantaan, kuten pitääkin. Tietokannasta arvoja noutava visualisointijärjestelmä on helppokäyttöinen ja antaa selkeän kuvan järjestelmän hetkellisestä tilasta sekä myös mahdollistaa historiatietojen selaamisen yksinkertaisesti ilman laajempaa tietämystä teknisistä yksityiskohdista.

ASIASANAT:

anturi, automaatiojärjestelmä, energiamittari, kiinteistöautomaatio, lämmitysjärjestelmä tietokanta

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering | Machine automation

2022 | 48 pages, 3 in appendices

Juho Vainio

Designing and implementing a measuring system for building automation

This thesis examines building automation measurement systems and the further processing and visualization of the measurement data they produce. The target of the work has been a recently completed three-story residential apartment building, whose heat production takes place with an air-water heat pump system. The goal is to find out how to build equipment that can reliably measure the operation of the heating system and related parameters. In addition, the goal is to create a system for recording and visualizing the measured data, so that the collected data can be used for research purposes.

To measure the temperatures of the pipes and water storage tanks of the system, heat sensors are selected whose accuracy is known to be sufficient and whose installation is planned and documented. For all the devices that consume electricity that are part of the heating system, an electrical energy measurement is also designed.

The implemented system became reliable, and the values are stored in the database as they should be. The visualization system that retrieves values from the database is easy to use and gives a clear picture of the current state of the system and enables historical data to be browsed simply without extensive knowledge of technical details.

KEYWORDS:

automation system, building automation, database, energy meter, heating system, sensor

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 Johdanto	8
2 Taustat ja tavoitteet	9
2.1 Taustat	9
2.2 Tiedonkeruun tarpeet ja toimintamalli	9
2.3 Tavoitteet	10
3 Kiinteistöautomaatio	11
3.1 Anturit ja mittalaitteet	11
3.1.1 Lämpötila	11
3.1.2 Sähköenergia	12
3.1.3 Lämpöenergia	14
3.2 Standardiviestit	15
3.3 Mittatulot ja lähdöt	16
3.4 Alakeskukset	17
3.5 Automaatiojärjestelmien kaapelointi	17
3.6 Väylät	18
3.6.1 Modbus-protokolla	18
3.6.2 Topologiat	21
3.6.3 RS-232 ja RS-485	23
3.6.4 Ethernet-verkko	23
3.6.5 Datasähkö	24
3.7 Laitteistot	25
3.7.1 Tiedonkeruulaitteistot	25
3.7.2 Moxa Nport	27
3.7.3 Palvelimet	27
4 Tiedonkeruu ja Visualisointi	28
4.1 Grafana	28
4.1.1 Tietolähteet	28

4.1.2 Kojelaudat ja paneelit	30
4.1.3 Lisäosat	30
4.2 MySQL	31
5 Työn toteutus	32
5.1 Mittalaitteiston valinta ja valmistelut	33
5.2 Väylät	35
5.3 Mittalaitteiston asennus	36
5.4 Asetukset ja verifiointi	39
5.5 Tiedonkeruu	41
5.6 Etäkäyttöliittymä	43
6 Tulokset ja pohdinta	45
LÄHTEET	46

Liitteet

Liite 1. Lämpötila-antureiden resistanssi – lämpötilataulukko

Liite 2. Mittalaiteluettelo

Kuvat

Kuva 1. Lämpöenergian mittaus (QMC Corporation 2022).	14
Kuva 2. Sharky 775 -lämpöenergiamittari (Diehl Metering 2022).	15
Kuva 3. Pro dual TEPK LU -lähettimen lähtöviesti eri lämpötiloilla (Pro dual Oy 2013.)	16
Kuva 4. Modbus-kysely isäntä-orja (Modbus Org. 2006).	19
Kuva 5. Modbus-viestin rakenne (Liedes ym. 2022).	19
Kuva 6. Modbusin julkiset toimintokoodit (Modbus Org. 2012).	21
Kuva 7. Verkkotopologiat (Liedes ym. 2022).	22
Kuva 8. Tiedonkeruujärjestelmän rakenne (Omega Engineering Inc. 2022).	25

Kuva 9. Moxa NPort 5150 -laittepalvelin (Moxa Inc. 2022.)	27
Kuva 10. MySQL-tietolähteen lisääminen.	29
Kuva 11. Rivin näkymä Grafanassa (Grafana Labs 2022e).	30
Kuva 12. Toimeksiantajan toimittama järjestelmän kytkentäkaavio.	32
Kuva 13. Proidual TEK4 LU -lähetin (Proidual Oy 2022a).	34
Kuva 14. Proidual TEPK LU -lähetin (Proidual Oy 2022b).	34
Kuva 15. Carlo Gavazzi EM330 Modbus -mittarit asennettuna.	35
Kuva 16. Yhden Nport-laitteen konfiguraationäkymä.	36
Kuva 17. Kaksi lämpötilalähetintä asennettuna ja kaapeloituna.	37
Kuva 18. Lämmönjakohuoneessa sijaitseva päämittauskaappi.	38
Kuva 19. Moxan Nport -sarjaporttipalvelin asennettuna.	39
Kuva 20. Proidual-lähettimien mitta-alueen valinta (Proidual Oy 2013).	40
Kuva 21. MySQL Workbench -näkymä lämpötila-arvoista tietokannassa.	43
Kuva 22. Järjestelmäkaavio.	44

TAULUKOT

Taulukko 1. Modbus-rekisterit (Modbus Org. 2012).	20
---	----

SANASTO

BACnet	Rakennusautomaation tiedonsiirtostandardi
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Ethernetin kilpavarausjärjestelmä törmäyksen tunnistuksella
Klusterointi	Useamman palvelimen liittäminen yhteen laskentatehon kasvattamiseksi
KNX	Avoin standardi rakennusautomaatioon
M-Bus	Protokolla energiankulutustietojen siirtämiseen
MID	Mittauslaitedirektiivi
Modbus	Avoin sarjaliikenneprotokolla
SNMP	Tietoverkkojen hallinnassa käytettävä protokolla

1 Johdanto

Kiinteistöautomaatio on hyvin laaja käsite, ja siihen voidaan ymmärtää kuuluvaksi hyvin monenlaisia toimintoja ja osa-alueita. Lämpöpumput ovat öljyn ja sähkön hinnan nousun vuoksi yleistymässä uudisrakentamisessa ja myös suuremmissa kiinteistöissä remonttienkin yhteydessä. Uudet järjestelmät ovat kuitenkin monimutkaisia ja tuovat mukanaan mahdollisuuksia asennusvirheisiin tai muihin ongelmiin, jotka voivat johtaa jopa kasvaneisiin energiakustannuksiin säästöjen sijaan.

Kiinteistöautomaatiojärjestelmät sisältävät usein jo ennestään antureita ja joskus hienostuneempiakin mittalaitteita kuten energiamittareita. Näiden laitteiden keräämät tiedot ovat usein ainoastaan järjestelmän säätimen käytössä, eikä niitä säilötä mihinkään talteen myöhempää analyysiä varten. Monipuoliset laitteistot myös maksavat paljon ja tuovat myös lisää monimutkaisuutta järjestelmiin, eikä sellaisia haluta yleensä asentaa, ellei jotain tarvetta järjestelmän tarkemmalle seurannalle ole tiedossa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja toteuttaa kiinteistöautomaatiolaitteiden mittausjärjestelmä vuonna 2017 valmistuneeseen asuinkerrostaloyhtiöön, jossa lämmitys on toteutettu ilma-vesilämpöpumpuilla.

Toimeksiantajan Turun AMK:n projekti kestää kaksi vuotta, ja sen tavoitteena on mitata ja analysoida järjestelmän toimintaa, jotta havaittuun suureen sähkönkulutukseen sekä ongelmiin käyttöveden kanssa saataisiin selvyttä tulevaisuudessa. Tällaisiin mittauksiin ei ole olemassa mitään valmista mittalaitteistoa, vaan se tulee suunnitella ja rakentaa alusta lähtien.

Tavoitteena tässä toimeksiannossa on selvittää, mitä kaikkea tällaisen järjestelmän monipuolinen ja luotettava mittaaminen vaatii ja millaisilla laitteilla ja ratkaisuilla sellainen saadaan toteutettua. Datan jatkoanalysointiin on myös tarkoitus kehittää ratkaisuja, joilla se olisi mahdollisimman yksinkertaista ilman kattavaa tietämystä tietotekniikasta tai kiinteistöautomaatiosta. Lopuksi pohditaan, miten työn tavoitteet toteutuivat.

2 Taustat ja tavoitteet

2.1 Taustat

Turun AMK on saanut toimeksiannon projektille, jonka tarkoituksena on tutkia kohteen lämmitysjärjestelmän toimintaa. Projektin tavoitteena on selvittää, miten järjestelmän eri osat toimivat ja mikä järjestelmässä johtaa havaittuun suureen sähkön kulutukseen. Kohteena on vuonna 2017 valmistunut kolmikerroksinen asuinkerrostalo, jonka lämmitysjärjestelmä koostuu kolmesta ilma-vesilämpöpumpusta, kahdesta käyttöveden energiavaraajasta, yhdestä lattialämmityksen puskurivaraajasta, lämpöpumppujen, lattialämmityksen ja käyttöveden kiertovesipumpuista sekä vesiputkistoista, joka yhdistävät näitä komponentteja. Lisäksi käyttövesivaraajissa on sähkövastukset ja lattialämmitykselle kaksi sähkökattilaa, jotka lämpöpumpun vikatilanteessa tai tehon loppuessa kesken tuottavat lisälämpöä.

2.2 Tiedonkeruun tarpeet ja toimintamalli

Jotta projektin tavoitteet saataisiin täytettyä, on laitteiston toiminnasta saatava mahdollisimman paljon mittatietoa, jonka pitää myös olla luotettavaa. Mittaustiedot ovat tarpeellista kerätä helposti saavutettavaksi ja niitä on myös kyettävä säilömään koko projektin keston ajalta, eli noin kahdelta vuodelta. Laitteiston toiminnan mittaamiseksi tärkeitä mitattavia suureita ovat lämpötilat, lämpöenergia sekä sähköenergia.

Tiedonkeruuta varten kohteeseen asennetaan mittauskaappi, joka sisältää kaksi tietokonetta, liitännät mittalaitteiden kaapeleille ja tiedonkeruulaite, joka välittää mitatut signaalit tietokoneelle. Toinen tietokoneista toimii MySQL-palvelimena ja toinen hoitaa ohjelmistoja tiedon siirtämiseksi keruulaitteelta tietokantaan. Toimeksiantaja on jo tehnyt tiedonkeruuohjelmistot, joten työhön kuuluvaksi tehtäväksi jää hoitaa kaikki muut osat järjestelmästä ja mahdollistaa ohjelmistojen käyttö.

Mitatun tiedon visualisoinnilla tehdään mahdolliseksi nopean tilannekuvan saaminen ja myös historiatietojen pika-analyysi. Tavoitteeksi voidaan asettaa, että kuka tahansa ilman laajempaa tietoteknistä osaamista osaa käyttää järjestelmää ja lukea sieltä mitattua dataa, kunhan hän saa siihen tarvittavat käyttöoikeudet. Data luetaan visualisointijärjestelmään MySQL-tietokannasta, jolloin käyttäjät eivät tarvitse osaamista tietokannan käytöstä. Työhön ei kuulu suorittaa mittatiedoille mitään analysointeja tai tulosten tulkintaa, vaan sen tekevät toimeksiantajan puolelta alan ammattilaiset.

2.3 Tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on toteuttaa kokonaisvaltainen järjestelmä, joka mittaa luotettavasti ja monipuolisesti koko projektin vaatimat datamäärät. Tämä järjestelmä voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, tiedonkeruuseen ja tiedon käsittelyyn. Tiedonkeruussa valitaan ja asennetaan järjestelmään kattava määrä antureita ja mittalaitteita, jotta kaikki mahdollinen tieto saataisiin kerättyä. Liikaa tietoa ei tällaisessa projektissa voi olla, mutta liian vähäinen tietomäärä johtaa ongelmiin analysointivaiheessa. Järjestelmän asennuksista pyritään tekemään mahdollisimman siistejä ja turvallisia sekä myös tarpeen tullen helposti laajennettavia, mikäli projektin aikana sellaiselle tulee tarvetta. Lämpöenergian mittalaitteet tulevat toisen opinnäytetyön tekijän kautta, jolloin niille on tarpeen rakentaa tiedonsiirtoväylät sekä toimiva virransyöttöjärjestelmä. Sähkön kulutuksen selvittämiseksi pyritään rakentamaan mittausjärjestelmät, jotka mittaavat kattavasti kaiken talon lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tekoon kuluvan sähköenergian.

3 Kiinteistöautomaatio

3.1 Anturit ja mittalaitteet

Anturi on mittaus- tai säätöpiirin osa, joka mittaa prosessin tilaa ja välittää mitatun tiedon joko säätimelle, näytölle tai mittalähttimelle. Yleisin anturi kiinteistöautomaatiossa on lämpötila-anturi ja muita usein käytettyjä ovat paine ja paine-eroanturit. (Värjä & Mikkola 1999, 37.)

Kiinteistöautomaatiossa on monenlaisia mittauskohteita, joihin tarvitaan juuri siihen tarkoitukseen soveltuvat anturit ja mittalaitteet. Lämpötilan, paineen ja paine-eron lisäksi mahdollisia mitattavia suureita ovat (Liedes ym. 2018, 82–89):

- Suhteellinen kosteus
- Säätila
- Kaasupitoisuus
- CO₂ eli hiilidioksidi
- Ilmanlaatu
- Valoisuus
- Läsnäolo
- Vesivuoto
- Pinnankorkeus
- Veden virtaus
- Lämpömäärä
- Sähköenergia

3.1.1 Lämpötila

Lämpötila-anturit luokitellaan käyttökohteen tai toiminnan mukaan (Värjä & Mikkola 1999, 37–38):

- Veden lämpötilan mittauksessa anturi asennetaan yleensä anturitaskuun, joka on messinkiä tai haponkestävää terästä
- Ilmanvaihtokanavan anturi on pitkä, jotta se ylettyisi mittaamaan lämpötilan kanavan keskikohdasta
- Huonelämpötila-anturit ovat koteloituja jo ulkonäönkin vuoksi ja kotelossa on reikiä, jotta ilma pääsee kiertämään ja anturi saa oikeat lukemat
- Ulkolämpötila-anturi kestää sääolosuhteita ja on koteloitu vähintään roiskevesitiiviisti. Se asennetaan tarpeeksi korkealle ja rakennuksen pohjoispuolelle auringon lämmitysvaikutuksen estämiseksi.
- Kiinteistöautomaatiossa käytetään vastusantureita, joiden resistanssi muuttuu mitattavan lämpötilan mukaan

Kiinteistöautomaatiossa yleisimmin käytettyjä lämpötila-antureita ovat PT100, PT1000, Ni1000 ja NTC 10k/20k. PTC-anturielementti on valmistettu platinasta, ja sen resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa, kun taas NTC-anturielementti on valmistettu nikkelistä, ja sen resistanssi laskee lämpötilan noustessa. Standardit määrittelevät antureiden käyttäytymisen tietyissä lämpötiloissa, jolloin niiden mittaustiedon tulkinta on luotettavaa ja yksinkertaista. Antureiden viestien tulkitsemiseen on taulukoita, joista saa selville vastaavuudet resistanssin ja lämpötilan välillä (Liite 1). Yleisimpiä valintakriteereitä lämpötila-anturille ovat lämpötila-alue, mitattava väliaine, vaadittu nopeus, asennuspaikka, paineenkesto ja suojausluokitus. (Liedes ym. 2018, 82–84.)

3.1.2 Sähköenergia

Sähköenergian mittausta säätelee mittauslaitedirektiivi (MID), joka määrittelee mittareita koskevat vaatimukset ja sen, miten niiden vaatimustenmukaisuus voidaan valmistajien toimesta osoittaa. Direktiivi on tarkoitettu suojaksi kuluttajille, joten MID-hyväksytyt mittareita ei tarvitse kiinteistöautomaatiossa välttämättä käyttää, ellei haluta suurempaa varmuutta mittarin luotettavuudesta. (Mäkinen ym. 2013, 17–18.)

Mittauslaitedirektiiviin kuuluu sähkön mittauksen lisäksi yhdeksän muutakin mittausaluetta (Tukes 2022).

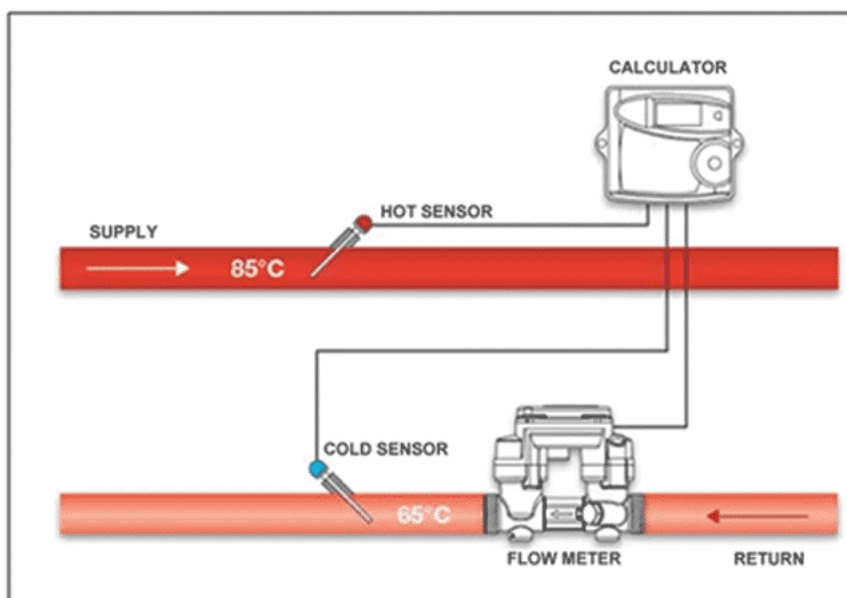
- Vesimittarit
- Kaasumittarit
- Lämpöenergiamittarit
- Muiden nesteiden mittarit
- Automaattivaatimet
- Taksien taksamittarit
- Kiintomittarit
- Dimensioiden mittauslaitteet
- Pakokaasuanalysointilaitteet

Sähköenergian mittaus tapahtuu kohteen mukaan joko 1- tai 3-vaihemittauksena. Suoraa mittauksia voidaan käyttää 63 A -sulakekokoon asti, ja sen ylitse menevillä virroilla tarvitaan virtamuuntajamittauksia. Virtamuuntajia voidaan käyttää myös alle 63 A virtojen mittauksissa, mikäli niin halutaan tai kohde sitä vaatii. Virtamuuntajien nimellisvirta on yleisimmin 5 A eli virtamuuntajan mittausalueen suurin virta näkyy virtamuuntajan lähdössä 5 A virtana. Väliä 0–5 A löytyvät siten mittauksen kaikki arvot. Erikoistapauksissa myös 1 A nimellisvirta on mahdollinen. (Mäkinen ym. 2013, 19.)

Virtamuuntajamittaus toimii induktioperiaatteella. Toisin sanoen tietty virta, joka kulkee virtamuuntajan suljetun silmukan eli ensiöpuolen läpi, indusoi virtamuuntajan toisiopuolelle tietyn suuruisen virran. Näiden virtojen suhde pysyy samana, jotta maksimi-toisiovirta ei ylitettäisi, jolloin virtamuuntaja voi mitata virtoja ainoastaan sen suunniteltuun maksimiarvoon asti. Virtojen pienentäminen mittauksia varten on tärkeää, sillä suurilla virroilla olisi mahdotonta mitata mittalaitteilla. (Chint Global 2022.)

3.1.3 Lämpöenergia

Lämpöenergiamittari on suunniteltu mittaamaan lämmönsiirtonesteen luovuttamaa lämpöenergiaa ja tehoa. Se koostuu lämpömääränlaskimesta, virtausanturista ja kahdesta lämpötila-anturista meno- ja paluunesteen lämpötilan mittaukseen. Koska lämpöenergiamittareita käytetään usein kaukolämpöjärjestelmissä, useimmat markkinoilla olevat mittarit täyttävät mittauslaitedirektiivin vaatimukset. (Energiateollisuus, 2008.) Kuvassa 1 esitetään lämpöenergiamittarin toimintaperiaate.



Kuva 1. Lämpöenergian mittaus (QMC Corporation 2022).

Yleisiä liitännätapoja lämpöenergiamittareille (kuva 2) ovat pulssitieto tai väylät kuten M-Bus (protokolla energiankulutustietojen siirtämiseen) (Liedes ym. 2018). Lämpöenergiamittareita voidaan käyttää myös erilaiseen diagnostiikkaan, kuten vuotojen tai odottamattoman energiankulutuksen havaitsemiseen. Mittarin havaitessa rajoista poikkeavia virtaamia se voidaan asettaa antamaan hälytys, jotta tilanteeseen voidaan puuttua ajoissa ja mahdolliset vahingot voidaan ehkäistä ajoissa. (Diehl Metering 2022.)



Kuva 2. Sharky 775 -lämpöenergiamittari (Diehl Metering 2022).

3.2 Standardiviestit

Analogiviesteissä signaali vastaa suoraan siirrettävää tietoa, eli data sisältyy virran tai jännitteen hetkelliseen arvoon, josta se sitten tulkitaan skaalauksen mukaisesti mitta-arvoiksi. Digitaalisessa viestissä sisältö on siirrettävää tietoa kuvaavia arvoja, joita välitetään bittien 0 ja 1 sarjoina. Digitaaliviestin jännitetasoina käytetään useimmiten tasoja 0 V ja +5 V. Digitaaliviestit ovat analogisia vähemmän alttiita häiriöille, sillä häiriö signaalissa ei aina johda virheeseen viestin tietosisällössä. (Liedes ym. 2022, 28.)

Analogiset jänniteviestit ovat tyypillisesti 0–5 V, 0–10 V tai -10 V ... 10 V. Viestin jänniteväli valitaan yleensä käytettävien mittalähettimien ja tiedon keräysyksiköiden ominaisuuksien perusteella (kuva 3). Analogiset virtaviestit ovat yleensä 0–20 mA tai 4–20 mA, joista 4–20 mA viestin käyttö mahdollistaa myös oikosulun tai kaapelivian havaitsemisen ja virransyötön joillekin antureille. (Liedes ym. 2022, 28.)

Lähtöviesti

0...50	0...100	-50...50	-50...150	Viesti
0 °C	0 °C	-50 °C	-50 °C	0 V
25 °C	50 °C	0 °C	50 °C	5 V
50 °C	100 °C	50 °C	150 °C	10 V

Kuva 3. Pro dual TEPK LU -lähettimen lähtöviesti eri lämpötiloilla (Pro dual Oy 2013.)

3.3 Mittatulot ja lähdöt

Mittalähettimet ja anturit liitetään mittaus-alakeskuksessa sijaitseviin liitännöihin, yleensä riviliittimiin tai joskus myös suoraan I/O-moduulien liittimiin. Näistä liitännöistä käytetään nimitystä fyysinen liityntäpiste, joka erottaa ne ohjelmistotasolla luoduista ohjelmallisista pisteistä. Tällaisista pisteistä hyvänä esimerkkinä on käyntiaikamittaus, jolloin tilatiedon perusteella lasketaan, miten kauan jokin kone tai laite on ollut päällä. Tällöin yhdistetään fyysisen pisteen tilatieto ja ohjelmallinen piste, joka on laskettu fyysisen pisteen tilatiedosta. Erilaisia pisteitä on viittä eri päälajia (Liedes ym. 2018, 72–74):

- AI-pisteet
- AO-pisteet
- Pulssitulot
- DI-pisteet
- DO-pisteet

AI-pisteisiin liitetään erilaisia mittausantureita, jolloin niiden lähettämä analoginen signaali saadaan luettua. Näitä signaaleja voivat olla esimerkiksi PT1000-anturin vastusarvo, 0–10 V anturin jänniteviesti tai 4–20 mA virtaviesti. Analoginen signaali vaatii monenlaista käsittelyä mittaustiedon luotettavuuden varmistamiseksi. Luotettavuutta parantavat valitun mittausalueen tarkistaminen, mittauksen heilunnan analysointi ja offsetkorjaus mahdollisten

johdinresistanssista tai muusta syystä johtuvien jännitepoikkeamien korjaamiseksi. (Liedes ym. 2018, 73–74.)

AO-pisteitä käytetään ohjauksissa, jolloin niiden kautta syötetään analoginen jänniteviesti esimerkiksi venttiilimoottorille, joka säätyy sitten saamansa jännitteen mukaisesti. Yleisesti analoginen ohjaussignaali on jänniteviesti, ja virtaviestejä käytetään ohjauksessa todella harvoin. DI-pisteitä käytetään hälytysten ja tilatietojen vastaanottamiseen, ja kosketin voi olla avautuva tai sulkeutuva. Jännitetasona käytetään valvontasilmukoissa yleensä 20–48 V jännitettä. (Liedes ym. 2018, 74.)

3.4 Alakeskukset

Antureiden ja muiden mittalaitteiden kaapelointi tuodaan yleensä alakeskukseen riviliittimille, joista kaapelointi tehdään sitten lyhyillä kaapeleilla keskuksen laitteiden I/O-liittimille. Laitteiden jännitesyöttönä alakeskuksessa sijaitsee usein 24 VAC tai muun mittalaitteen tarvitseman jännitteen syöttävä muuntaja tai teholähde. Häiriötöntä mittausta haettaessa alakeskuksen sähkönsyöttö varmistetaan myös katkeamattomalla virransyötöllä eli UPS-laitteella. Muita mahdollisia varusteita alakeskuksessa ovat esimerkiksi 230 VAC-pistorasiat, häiriösuodattimet virransyötölle, pääkytkin sekä johdonsuojakatkaisija. (Liedes ym. 2018, 71.)

3.5 Automaatiojärjestelmien kaapelointi

Eri järjestelmät vaativat erilaisia kaapelityyppejä esimerkiksi jännitteen tai mittausperiaatteen vuoksi. Yleisimmin käytettyjä kaapelityyppejä ovat NOMAK, KLMA sekä MMJ/MMO. Näistä antureille ja mittalähettimille sopivat NOMAK ja KLMA, 230 V AC toimilaitteille MMJ, 24 V AC toimilaitteille NOMAK ja KLMA ja indikoinneille/hälytyksille NOMAK ja KLMA, tai tarvittaessa vastaavat mutta paremmin suojatut, esimerkiksi palonkestävät versiot näistä kaapeleista. Nykyään kenttälaitteet siirtyvät enemmän väyläpohjaisiksi, ja käytettyjä väyliä

ovat esimerkiksi KNX (rakennusautomaation tiedonsiirtostandardi), BACnet (avoin rakennusautomaation tiedonsiirtostandardi) sekä Modbus (avoin sarjaliikenneprotokolla). Alakeskusväylät toteutetaan yleensä RS-485-väyläkaapeloinnilla eri protokollilla, mutta TCP/IP-protokollan käyttö on lisääntymässä nopeasti. (Liedes ym. 2018, 103–104.)

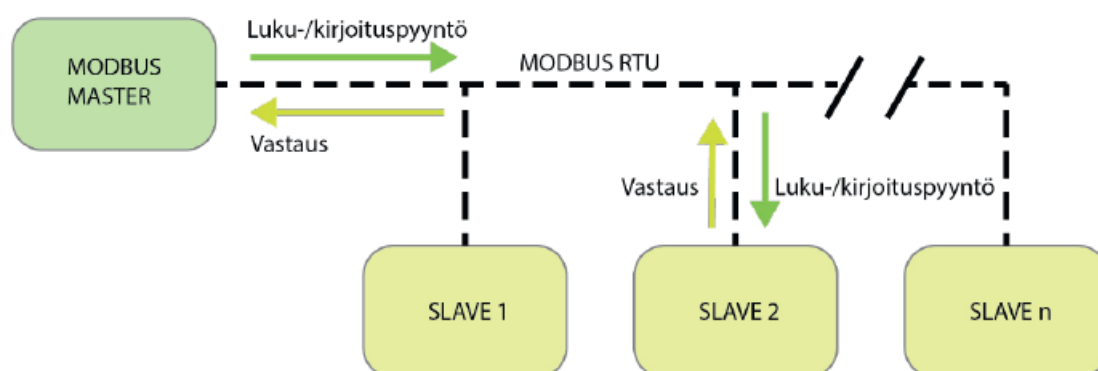
Kaapeleissa voi esiintyä monenlaisia häiriöitä, ja näiden välttämiseksi kaapeli tulee valita ja asentaa oikein. Häiriöt voivat olla joko ulkopuolelta tulevia, joita voivat olla induktiiviset, kapasitiiviset tai sähkömagneettiset häiriöt, tai sisäisiä häiriöitä, joihin kuuluvat heijastukset ja liikenteen törmäily. Häiriöitä torjutaan kaapelin häiriösuojauksella, johon on useita eri menetelmiä. Oikean kaapelityypin valinta ja kaapelin oikea päättäminen ovat tärkeitä vaatimuksia häiriöiden välttämiseksi. Kaapelia tulee kuoria vain tarvittava määrä, ja parikierrettyä kaapelia tulee avata kuin mahdollisimman vähän. Kaapelin maadoitus tehdään vain yhdestä pisteestä maasilmukoiden estämiseksi, ja tätä kutsutaan kelluvaksi maadoitukseksi. Kaapelin asentamisessa tulee kiinnittää huomiota tiedonsiirtokaapelien asentamiseen mahdollisimman kauas pienjännitekaapeleista ja muista häiriölähteistä. Tarvittavat pienjännitekaapelien ylitykset tulee tehdä mieluiten kohtisuoraan kaapeliin nähden, jotta mahdolliset magneettikentän aiheuttamat häiriöt jäisivät mahdollisimman pieniksi. (Liedes ym. 2022, 90–92.)

3.6 Väylät

3.6.1 Modbus-protokolla

Modbus on vuonna 1979 julkaistu tiedonsiirtoprotokolla, ja se on alun perin tarkoitettu liittämään yhteen ohjelmoitavia logiikoita. Protokollan etuihin kuuluu se, ettei siitä tarvitse maksaa minkäänlaisia rojaltimaksuja kehittäjille. Modbus on nykyään laajasti käytössä teollisuudessa, rakennuksissa, pitkien matkojen tiedonsiirrossa, ohjauspaneelien yhteen liittämässä sekä energian optimoinnissa ja se mahdollistaa eri valmistajien laitteiden liittämisen yhteen helposti ja ilman ongelmia. Modbus toimii isäntä-orja-rakenteella, eli yksi

kyselee ja muut vastaavat (kuva 4). Modbus-tiedonsiirto tapahtuu kaksipisteisesti RS-232-väylässä tai monipisteisesti RS-485-väylässä. Useimmissa automaattilaitteistoissa on valmiina vähintään toinen näistä väyläliitännöistä, joka tekee tiedonsiirron järjestämisestä helpompaa. Väylän maksimipituus on RS-232-tekniikalla 15 metriä, ja RS-485-väylässä 1,2 kilometriä per kaapeliväli. RS-485-väylä tulee terminoida molemmista päistä päätevastuksilla, ja käytetyn kaapelin tulee olla suojattua ja maadoitettua kelluvalla maadoituksella toisesta päästä. (Liedes ym. 2022, 77–79.)



Kuva 4. Modbus-kysely isäntä-orja (Modbus Org. 2006).

Modbus-viestit

Modbus viestinnän perustana ovat kehykset (kuva 5) eli PDU (Protocol Data Unit), joiden rakenne muodostuu toimintokoodista (Function code) sekä siirrettävästä datasta. Kun kehys siirretään Modbus-väylässä, siihen lisätään osoitekenttä ja CRC-tarkistekenttä, jotka varmistavat viestin päätymisen oikeaan paikkaan ja mahdollisten tiedonsiirtovirheiden havaitsemisen. (Modbus Org. 2006.)

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

Kuva 5. Modbus-viestin rakenne (Liedes ym. 2022).

Modbus-rekisterit

Modbus-orjalaitteet varastoivat tietonsa rekistereihin. Näitä rekistereitä on neljää eri tyyppiä: Discrete Input, Coils, Input registers ja Holding registers (taulukko 1). Discrete Input ja Coils-rekisterit ovat yksibittisiä rekistereitä, joten ne varastoivat ainoastaan tilatietoja. Näistä Coils-rekisteriin voidaan myös kirjoittaa tietoa, ja Discrete Input on vain luku-tyypin rekisteri. Input Registers ja Holding registers ovat 16-bittisiä rekistereitä, joissa voi olla tallennettuna monenlaisia arvoja. Usein näissä rekistereissä kaksi rekisteriä on yhdistetty, jolloin rekisterin koko on 32 bittiä. (Modbus Org. 2012.)

Taulukko 1. Modbus-rekisterit (Modbus Org. 2012).

Rekisteri	Objektin tyyppi	Luku/Kirjoitus	Lisätietoja
Discrete input	1 bit	Vain luku	Voidaan lukea esim. tilatietoa (0/1)
Coils	1 bit	Luku ja kirjoitus	Voidaan lukea ja kirjoittaa esim. tilatietoa (0/1)
Input registers	16 bit	Vain luku	Voi olla mittatietoa I/O järjestelmästä
Holding registers	16 bit	Luku ja kirjoitus	Voidaan lukea tai muuttaa tietoja

Modbus-toimintokoodit

Modbus käyttää kolmen tyyppisiä toimintokodeja: julkisia, käyttäjän määrittelemiä ja varattuja toimintokodeja (kuva 6). Julkiset koodit ovat valmiiksi määriteltyjä ja Modbus Orgin validoimia ja niistä on saatavilla valmis dokumentaatio. Käyttäjän määrittelemät toimintokoodit eivät ole virallisesti Modbus Orgin tukemia, eikä voida olla varmoja, että ne ovat uniikkeja. Käyttäjä voi siis halutessaan määritellä toimintokoodin, joka ei ole virallisesti tuettu. Varatut toimintokoodit ovat tiettyjen yritysten käytössä, eivätkä ne ole saatavilla julkiseen käyttöön. (Modbus Org. 2012)

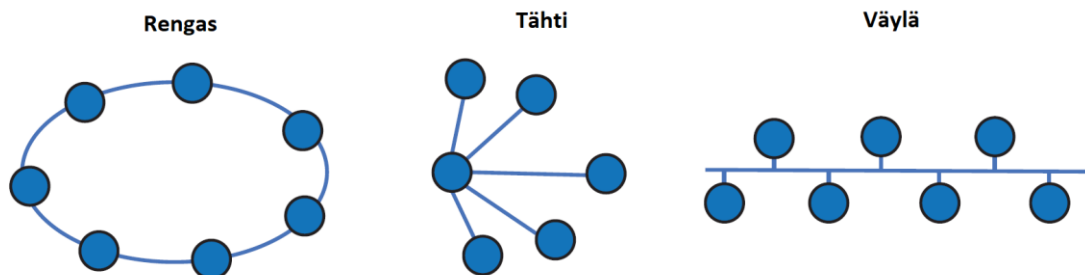
				Function Codes			
				code	Sub code	(hex)	Section
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs	02		02	6.2
		Internal Bits Or Physical coils	Read Coils	01		01	6.1
			Write Single Coil	05		05	6.5
			Write Multiple Coils	15		0F	6.11
	16 bits access	Physical Input Registers	Read Input Register	04		04	6.4
		Internal Registers Or Physical Output Registers	Read Holding Registers	03		03	6.3
			Write Single Register	06		06	6.6
			Write Multiple Registers	16		10	6.12
			Read/Write Multiple Registers	23		17	6.17
			Mask Write Register	22		16	6.16
			Read FIFO queue	24		18	6.18
	File record access		Read File record	20		14	6.14
			Write File record	21		15	6.15
	Diagnostics		Read Exception status	07		07	6.7
			Diagnostic	08	00-18,20	08	6.8
		Get Com event counter	11		0B	6.9	
		Get Com Event Log	12		0C	6.10	
		Report Server ID	17		11	6.13	
		Read device Identification	43	14	2B	6.21	
Other		Encapsulated Interface Transport	43	13,14	2B	6.19	
		CANopen General Reference	43	13	2B	6.20	

Kuva 6. Modbusin julkiset toimintokoodit (Modbus Org. 2012).

3.6.2 Topologiat

Fyysinen verkko koostuu laitteista, jotka on kytketty toisiinsa kaapeleilla. Topologioita on sekä fyysisiä että loogisia, joista fyysinen topologia kuvaa verkon rakenteen, eli miten väylän kaapelointi kulkee laitteilta toisille. Looginen topologia taas on toimintamalli, jonka mukaan verkko toimii fyysisestä rakenteestaan huolimatta. Minkä tahansa laitteen on mahdollista lähettää mille tahansa laitteelle viestejä missä tahansa topologiassa, mutta viestien siirtymisessä on silti eroja eri topologioiden välillä. Tärkeimpiä topologioita ovat tähti, rengas ja väylä (kuva 7). (Liedes ym. 2022, 16–19.)

Verkkotopologiat



Kuva 7. Verkkotopologiat (Liedes ym. 2022).

Väylätopologiassa kaikki laitteet ovat peräkkäin kytkettynä yhden väyläkaapelin varrella. Kaapelin päitä ei ole kytketty toisiinsa, vaan väylä on päistään avoin. Väylä toimii siten, että joka laitteella on oma osoite, jonka avulla viestit löytävät perille oikeaan kohteeseen. Kaapelina käytetään yleensä kierrettyä parikaapelia, koaksiaalikaapelia tai optista kuitua. Koaksiaalikaapelit alkavat olemaan harvinaisia nykyasennuksissa. (Liedes ym. 2022, 16.)

Rengastopologiassa laitteet ovat yhdistettynä nimen mukaisesti renkaan muotoisessa linjassa. Sanomat kulkevat laitteelta toiselle, josta ne ohjataan eteenpäin, kunnes oikea vastaanottaja löytyy. Laitteiden liityntäpisteet renkaaseen ovat toistimia, jotka vahvistavat signaalia. Toistimen hajoaminen voi lamauttaa koko renkaan toiminnan, kun toistin ei enää hajottuaan ohjaakaan viestejä eteenpäin. (Liedes ym. 2022, 18.)

Tähtitopologiassa jokainen laite kytketään suoraan yhteen verkon solmupisteeseen. Tähtiverkon suurimpana heikkoutena on solmupisteen kytkentäkeskuksen rikkoutuminen, jolloin kaikki liikenne pysähtyy. Tähtiverkossa laitteen poistaminen tai lisääminen on yksinkertaista, eikä se vaikuta muun verkon toimintaan mitenkään. (Liedes ym. 2022, 17.)

3.6.3 RS-232 ja RS-485

RS-232

RS-232 ja RS-485 ovat yleisimmin tunnetut sarjaliitännät tietokoneissa ja myös automaatiolaitteissa. RS-232 on jo jäänyt pois pöytätietokoneista, mutta sitä voidaan edelleen käyttää niissäkin USB-adapterin avulla. RS-232 on tarkoitettu kahden laitteen väliseen sarjaliikenteeseen ja sen tiedonsiirto on melko hidasta, ainoastaan 20 kbit/s. Maksimitoimintaetäisyys on myös lyhyt, noin 15 metriä. RS-232 käyttää tiedonsiirrossa analogisia signaaleja, joiden jännitetasot ovat välillä $\pm 5 \text{ V} \dots \pm 12 \text{ V}$ suhteessa maahan. (Piikkilä & Sahlstén 2017, 47–48.)

RS-485

RS-485 on suunniteltu teollisuuden tiedonsiirtotarpeisiin ja siinä voi olla maksimissaan 32 lähetintä/vastaanotinta per väylä. Signaalitasot ovat matalia, maksimissaan noin 5 V, jolloin häiriöitä syntyy mahdollisimman vähän. RS-485 väylän maksimipituus on 1200 m, jolloin maksimi tiedonsiirtonopeus on rajoitettu 90 kbit/s. Lyhyemmällä väylällä nopeudet ovat paljon suurempia ja väylä on hyvin suorituskykyinen ja luotettava. RS-485-väylässä ei ole varsinaista virallista protokollaa, mutta Modbus on yksi siinä usein käytetyistä protokollista. (Piikkilä & Sahlstén 2017, 48–51.)

3.6.4 Ethernet-verkko

Suuri osa maailman TCP/IP-lähiverkoista on toteutettu Ethernet-tekniikalla. Ethernet on IEEE 802.3 -standardin määrittelemä yksinkertainen kehysrakenne, joka käyttää siirtotien hallintaan CSMA/CD:tä (Ethernetin kilpavarauksjärjestelmä). CSMA/CD toimii siten, että laitteiden, jotka haluavat lähettää viestin on odotettava, kunnes verkossa on hiljaista ja vasta sitten kaikilla on tasavertainen mahdollisuus lähettää viestinsä. Jos useampi laite lähettää viestinsä samanaikaisesti, CD eli Collision Detection puuttuu peliin ja

lähettäjät aloittavat lähetyksen uudelleen satunnaisen ajan kuluttua. (Kaario 2002, 33–38.)

CSMA/CD -toimintaperiaate yksinkertaisesti:

1. Kuuntele väylää, onko vapaana?
2. Jos väylä on vapaana, lähetä viesti
3. Jos törmäys havaitaan, lopeta lähetys
4. Aloita uudelleen kohdasta 1 satunnaisen ajan kuluttua

Verkkojen yleisimpiä komponentteja ovat reitittimet, kytkimet ja asiakaslaitteiden verkkoadapterit. Reitittimet jakavat verkon laitteille IP-osoitteet ja ohjaavat paketit oikeisiin osoitteisiin verkossa. Kytkimet toimivat tähtiverkon solmupisteinä ja välittävät liikennettä porttiansa välillä. (Kaario 2002, 28–31.)

Viimeisin Ethernet-standardi IEEE 802.3ae mahdollistaa jopa 10 Gbit/s nopeudet Cat6a-kaapeleita käyttämällä. Yleisimpiä nopeuksia varsinkin automaatiolaitteissa ja kotiverkoissa ovat kuitenkin vielä 100 Mbit/s ja 1 Gbit/s nopeudet. (Weedmark 2019.)

3.6.5 Datasähkö

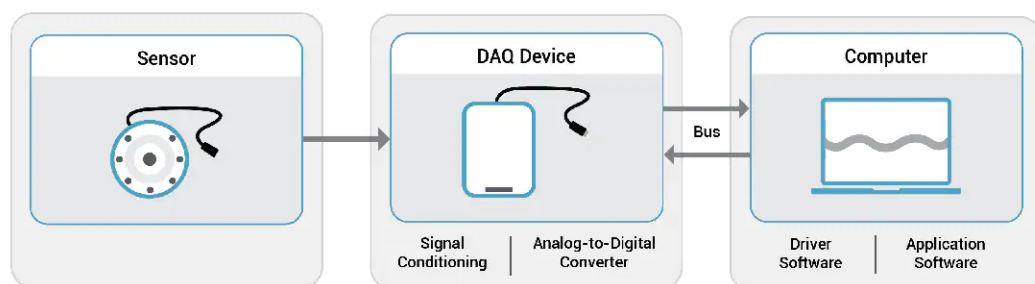
Datasähkö eli virallisemmin Power Line Communication (PLC) käyttää tiedon siirtämiseen sähköverkkoa, jossa data kulkee vaihe- ja nollajohdossa suurella taajuudella. Taajuusalueet ovat siirtoverkoissa 2–34MHz ja kotitalouskäytössä 2–50MHz. Datasähkön teoreettinen maksiminopeus on jopa 200 Mbit/s. Datasähköä käytetään yleensä silloin, kun langattomat verkot eivät kannata toivotusti ja Ethernet-kaapelointi ei ole mahdollista tai se olisi liian kallista tai muuten hankala toteuttaa. Datasähkön laajemman leviämisen on estänyt standardien puute ja vaadittavien investointien suuruus. Datasähköä käytetään myös edelleen joidenkin sähkömittarien etäluennassa. (Tervola 2011.)

3.7 Laitteistot

Mittausjärjestelmän rakentamiseen tarvitaan erilaisia laitteistoja, jotta järjestelmä toimisi oikein ja tiedot saataisiin talteen. Tiedonkeruulaitteistot, sarjaporttipalvelimet ja palvelimet ovat tärkeitä osia luotettavaa ja toimivaa mittausjärjestelmää.

3.7.1 Tiedonkeruulaitteistot

Tiedonkeruu- eli DAQ-laitteistot ovat erityisesti tiedonkeruuseen suunniteltuja laitteita, joilla voidaan mitata monenlaisia suureita. Tiedonkeruujärjestelmä koostuu antureista, tiedonkeruulaitteista ja tietokoneista, jotka yhdessä käsittelevät sähköisiä tai fyysisiä ominaisuuksia ja tallentavat niitä jatkokäyttöä varten (kuva 8). Konseptin tiedonkeruulle esitteli IBM jo vuonna 1963, mutta vasta lähiaikoina sen käyttö on kasvanut suuresti. Tietokonepohjaiset tiedonkeruujärjestelmät ovat olleet tärkeä osa monen tarkkuutta vaativan teknologian osa-alueen kehitystä, kuten esimerkiksi rakentamisen, elektroniikan, tuotannon ja valmistuksen. (Omega Engineering Inc. 2022)



Kuva 8. Tiedonkeruujärjestelmän rakenne (Omega Engineering Inc. 2022).

Tiedonkeruulaitteistot voivat olla kannettavia tai kiinteästi asennettuja ja etähallinnoitavia. Kannettavat laitteistot sopivat hyvin tilanteisiin, joissa on mahdollista olla paikalla tiedonkeruun ajan, kun taas kiinteästi asennettavat ja etähallinnoitavat laitteistot ovat parempia pidempiin mittauksiin ja hankalampiin

olosuhteisiin. Kerättävät signaalit vaativat monenlaista käsittelyä ennen kuin ne voidaan säilöä talteen. Tämän vuoksi tiedonkeruulaitteistoissa käytetään paljon erilaisia suodatuksia tai vahvistimia, jotta mittalaitteilta vastaanotettu signaali olisi optimaalista ja tarkkaa. Keskeisiä osia tiedonkeruulaitteissa ovat:

- AD-muunnin, eli analogisen signaalin digitaalseksi muuntava osa
- DA-muunnin, eli digitaalisen signaalin analogiseksi muuntava osa
- Sarjaliitännät, yleisimmin RS232 tai RS485-väylien kautta

Tietokoneet ovat tärkeä osa tiedonkeruujärjestelmää, sillä ne keräävät kaiken tiedonkeruulaitteelta saapuvan datan ja asennetut ohjelmistot käsittelevät sen ja tallettavat sen halutussa muodossa jatkokäyttöä varten. (Omega Engineering Inc. 2022)

National Instruments on tunnettu tiedonkeruulaitteiden valmistaja ja heiltä löytyy todella monenlaisia laadukkaita ja suorituskykyisiä mittalaitteita moneen tarpeeseen. Jokaisella tiedonkeruujärjestelmällä on omat erityiset vaatimuksensa, jonka vuoksi tiedonkeruulaitteet ovat hyvin skaalautuvia ja modulaarisia. National Instruments tarjoaa tiedonkeruuseen neljää eri tuoteperhettä:

- PC-pohjaiset järjestelmät
- CompactDAQ
- CompactRIO
- PXI

Näistä PC-pohjaiset järjestelmät ovat kustannustehokkaimpia ja vähimmillä ominaisuuksilla, kun taas PXI-järjestelmät on tarkoitettu jopa satoihin mittauskanaviin ulottuviin sovelluksiin. CompactDAQ on hyvä valinta tältä väliltä, sillä se tarjoaa todella kattavat liitännämahdollisuudet, ja mahdollisuuden käyttää mitatun tiedon käsittelyyn erillistä tietokonejärjestelmää. CompactRIO taas sisältää enemmän rautaa tiedon käsittelyyn jo laitteessa itsessään, ja se voikin toimia itsenäisesti ainoastaan tietoverkkoon kytkettynä. (National Instruments Corp. 2022.)

3.7.2 Moxa Nport

Modbus-väylään liityntä tarvitsee aina jonkinlaisen väylämuuntimen, ellei sellaista ole käytettävissä laitteistossa sisäänrakennettuna. Moxa Nport-sarjan laitepalvelimet (kuva 9) mahdollistavat sarjaliikenteen Ethernet-liitännän kautta, jolloin laitteiden asettelu helpottuu ja luotettavuus paranee. Moxan Nport-laiteajurit mahdollistavat helpon konfiguroinnin ja käyttöönoton. Tarvittaessa laitteesta löytyy myös ominaisuuksia häiriöiden poistoon väylässä, kuten ylös/alasvetovastukset ja terminointi. Laitteiden valvonta onnistuu Ethernetin välityksellä SNMP-protokollan (tietoverkkojen hallintaprotokolla) avulla, ja joka laite voi lähettää automaattisesti viestejä virheen havaitessaan. Hälytysviestit voidaan välittää myös sähköpostitse. (Moxa Inc. 2022.)



Kuva 9. Moxa NPort 5150 -laittepalvelin (Moxa Inc. 2022.)

3.7.3 Palvelimet

Palvelin koostuu tietokoneesta ja palvelinohjelmistosta, jota tietokoneella suoritetaan. Se tarjoaa palveluita muille ohjelmille ja tietokoneille, ja näitä palveluita käytetään useimmiten tietoverkkojen välityksellä. Nykyiset rakennusautomaatiojärjestelmät perustuvat suureksi osaksi palvelimiin, joihin asiakaslaite ottaa yhteyden ja siirtää tietoja. Näitä tietoja voidaan sitten jatkokäsittellä tai visualisoida sekä katsella mistä tahansa Internet-yhteyden päästä. Palvelimet sijaitsevat useimmiten valvomopalveluita tarjoavien yritysten tiloissa tai konesaleissa näiden yritysten hallinnoimina. (Liedes ym. 2022, 38.)

4 Tiedonkeruu ja Visualisointi

4.1 Grafana

Grafana on visualisointijärjestelmä, jonka avulla voidaan monitoroida ja analysoida dataa sekä lokitiedostoja. Visualisointi tapahtuu kojelaudoilla eli dashboardeilla, joita voi olla konfiguroituna useampiakin. Grafanan avulla tietokantaan talletettu data saadaan helpommin käyttäjien ulottuville ja helposti ymmärrettävään muotoon. Grafanasta on tarjolla muutama versio hieman eri ominaisuuksilla: Grafana Open Source on avoimen lähdekoodin ohjelmisto ja sen asennus ja käyttö on ilmaista, Grafana Cloud on maksullinen pilvipalvelu, joka mahdollistaa ohjelman käytön ilman asennusta paikallisille laitteille ja Grafana Enterprise on enemmän suurille yrityksille suunnattu palvelu, johon kuuluu paljon lisäominaisuuksia ja joka on myös maksullinen. (Grafana Labs 2022c.)

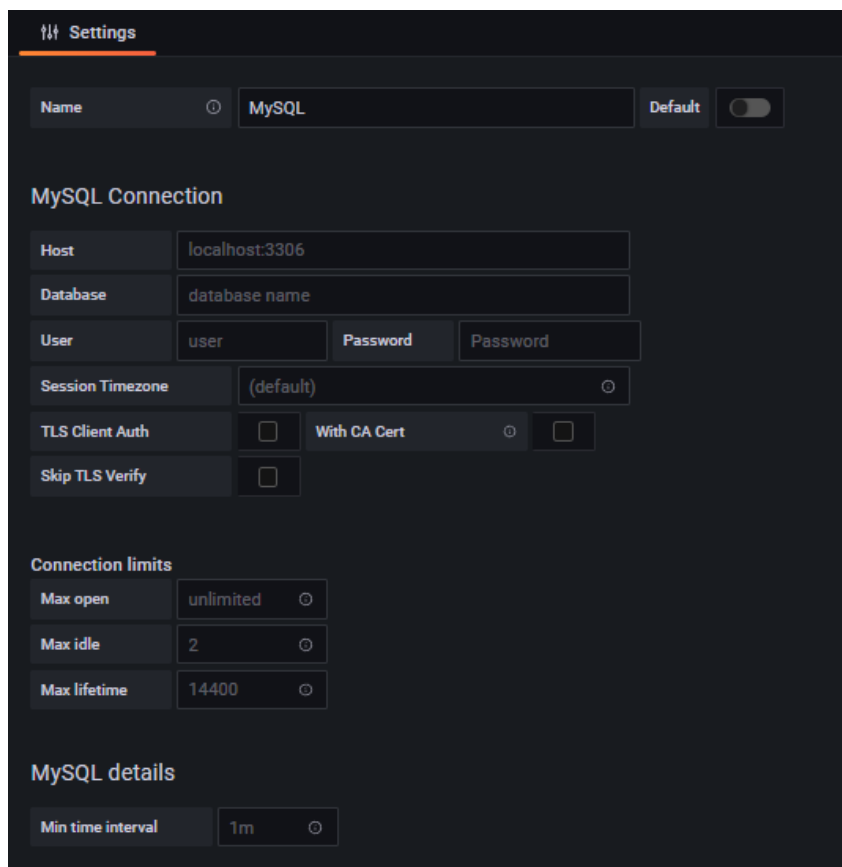
4.1.1 Tietolähteet

Tietolähteet (Data sources) ovat ne kohteet, joihin tietoa on varastoitu ja joista sitä noudetaan esitettäväksi. Grafana tukee useita erilaisia tietolähteitä ja tietoja useista tietolähteistä voidaan näyttää helposti samalla kojelaudalla. Haluttu tietolähde pitää lisätä ja sen yhteysasetukset määrittellä, ennen kuin sitä voidaan käyttää kyselyissä (kuva 10). Joka tietolähteellä on oma kyselyeditori, joka ottaa huomioon kyseisen tietolähteen ominaisuudet ja vaatimukset. Yhteen kojelautaan voidaan yhdistää tietoa useasta erilaisesta tietolähteestä, mutta yhdessä paneelissa voidaan näyttää tietoa ainoastaan yhden tyyppisestä tietolähteestä, esimerkiksi MySQL. Grafanan virallisesti tukemia tietolähteitä ovat:

- Alertmanager
- AWS CloudWatch
- Azure Monitor

- Elasticsearch
- Google Cloud Monitoring
- Graphite
- InfluxDB
- Jaeger
- Loki
- Microsoft SQL Server
- MySQL
- OpenTSDB
- PostgreSQL
- Prometheus

(Grafana Labs 2022b.)

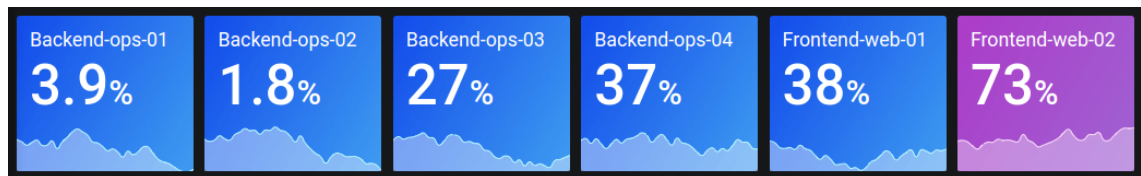


The screenshot shows the Grafana Settings interface for adding a MySQL data source. The 'Name' field is set to 'MySQL' and the 'Default' toggle is off. The 'MySQL Connection' section includes fields for 'Host' (localhost:3306), 'Database' (database name), 'User' (user), 'Password' (Password), and 'Session Timezone' (default). There are also checkboxes for 'TLS Client Auth' (With CA Cert) and 'Skip TLS Verify'. The 'Connection limits' section has 'Max open' (unlimited), 'Max idle' (2), and 'Max lifetime' (14400). The 'MySQL details' section has 'Min time interval' (1m).

Kuva 10. MySQL-tietolähteen lisääminen.

4.1.2 Kojelaudat ja paneelit

Kojelauta Grafanassa koostuu yhdestä tai useammasta paneelista, jotka sisältävät näytettävää tietoa eri muodoissa. Nämä paneelit voidaan asetella kojelaudalla riveihin (kuva 11), jotka voidaan näyttää tai piilottaa erikseen. Kojelautaa voidaan hallita valitsemalla haluttu aikaväli, jolta tietoa tarkastellaan. Näkymää voidaan myös suurentaa tai pienentää ja päivittää tai myös piilottaa tietoja näkymästä. Kojelauta voidaan myös monistaa tai jakaa käytettäväksi muualla. Grafanan web-sivustolla onkin tarjolla useita valmiiksi tehtyjä, näyttäviä ja käytännöllisiä kojelautoja moneen yleiseen käyttötarkoitukseen. (Grafana Labs 2022a.)



Kuva 11. Rivin näkymä Grafanassa (Grafana Labs 2022e).

Paneelit ovat perusosa Grafanan näkymiä, ja niitä voidaan näyttää tai piilottaa rivien avulla. Rivit ovat aina koko kojelaudan levyisiä, ne voidaan määrittellä pystysuunnassa haluttuihin paikkoihin ja ne toimivat tilanjakajina kojelautoilla. Riveillä kerätään yhteen tietty määrä paneeleja ja nämä paneelit voidaan näyttää tai piilottaa yhdellä hiiren painalluksella. (Grafana Labs 2022a.)

4.1.3 Lisäosat

Grafanaan on myös saatavilla erilaisia lisäosia, joilla voidaan laajentaa sen toiminnallisuutta. Lisäosatyyppejä ovat paneelit, tietolähteet ja sovellukset. Paneelilisäosat mahdollistavat navigoinnin kojelautojen välillä, ulkoisten järjestelmien kuten kotiautomaation ohjaamisen sekä erilaiset visualisoinnit tietolähteiden datasta. Tietolähdelisäosat lisäävät uusia tietolähteitä Grafanan jo ennestään laajaan valikoimaan, jotta käyttömahdollisuudet olisivat vielä laajemmat. Sovelluslisäosat yhdistävät tietolähteet ja paneelit, jolloin käytöstä

tulee yksinkertaisempaa ja käyttökokemuksesta yhtenäisempi. Sovelluslisäosat tarjoavat helpon tavan käyttää monimutkaisiakin visualisointiratkaisuja.

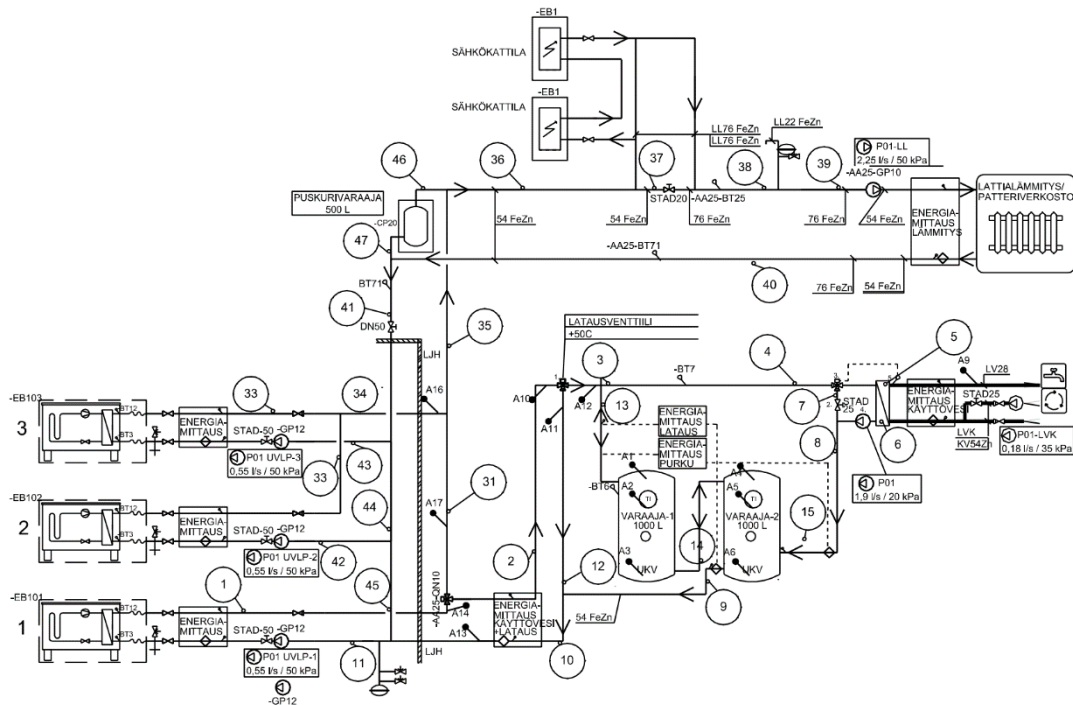
(Grafana Labs 2022d.)

4.2 MySQL

MySQL on ruotsalaisen MySQL AB:n vuonna 1995 kehittämä tietokantajärjestelmä ja sen nykyinen omistaja ja kehittäjä on Oracle Corporation. Se on tällä hetkellä yksi maailman laajimmin käytetyistä avoimen lähdekoodin tietokantajärjestelmistä. MySQL:n tietokannat ovat relationaalisia, eli tieto tallennetaan erillisiin tauluihin eikä vain yhteen samaan paikkaan. Tämä tekee siitä loogisemman ja yksinkertaisemman käyttää, ja lisää samalla myös tietokannan toiminnan nopeutta. MySQL on hyvin skaalautuva eri kokosiin tarpeisiin, joten tietokannan voi pystyttää joko pienitehoiselle kannettavalle tietokoneelle tai todella tehokkaalle palvelintietokoneelle. Myös klusterointi (palvelinten yhteen liittäminen) on tuettuna, joten useita palvelimia voidaan liittää yhteen, jolloin tietokantaan saadaan lisää kapasiteettia, tehoa ja toimintavarmuutta. (Oracle Corporation 2022.)

5 Työn toteutus

Työn tekeminen alkoi neuvotteluilla toimeksiantajan edustajan kanssa, jonka jälkeen kävimme tutustumassa kohteeseen. Järjestelmän toimintaperiaatteita, nykytilaa ja eri mittauspisteiden mahdollisia sijainteja käytiin läpi myös tässä yhteydessä. Mietittiin, mitä halutaan mitata ja mistä kohtaa, jotta kerätty data olisi mahdollisimman hyödyllistä ja kattavaa. Järjestelmän kytkentäkaaviosta (kuva 12) saatiin selkeämpi kuvan järjestelmän toiminnasta ja siitä, mitä kaikkea siihen sisältyy.



Kuva 12. Toimeksiantajan toimittama järjestelmän kytkentäkaavio.

Tehtävänä oli suunnitella mittauslaitteisto ja järjestelmä mitatun datan visualisointiin. Laitteistoa varten käytettävissä oli toimeksiantajan edellisistä projekteista poistuneita laitteita, joita oli tarkoitus käyttää hyödyksi tässä projektissa. Mittausjärjestelmän suunnittelu aloitettiin siltä pohjalta, että mahdollisimman paljon jo olemassa olevia laitteita saataisiin hyödynnettyä. Uusiokäyttöön laitteista päätyivät kytkentäkaappi, jossa oli valmiiksi riviliittimiä ja

DIN-kiskoja sekä NI CompactDAQ-9188-laitteisto 0–10 V sekä 4–20mA-mittauskorteilla.

5.1 Mittalaitteiston valinta ja valmistelut

Toimeksiantajan kanssa päädyttiin siihen, että lämpötilamittaukset olisi hyvä saada tehtyä rikkomatta mitään putkituksia tai rakenteita. Putkessa virtaavan nesteen lämpötilan mittaukseen paras menetelmä olisi käyttää anturitaskua, mutta tämä olisi tarkoittanut lähes jokaisen putken rikkomista anturitaskun asennusta varten, jonka vuoksi päädyttiin putken pinnalle asennettaviin antureihin. Suuri osa putkista oli kuitenkin eristettyjä, joten poikkeama todelliseen lämpötilaan tulisi olemaan hyvin pieni ja mittaukset olisivat kuitenkin keskenään hyvin vertailukelpoisia.

Mittauksia varten oli tarpeen valita 8 kpl lämpötila-antureita lämminvesivaraajien anturitaskuihin, 20 kpl putken päältä lämpötilaa mittaavia antureita sekä 8 kpl sähköenergiamittareita. Kohteeseen asennettiin myös 8 kpl lämpöenergiamittareita, mutta nämä tulivat ulkopuoliselta toimittajalta suoraan hankittuna toisen opinnäytetyön tekijän toimesta, ja tehtäväksi jäi vain niiden kytkentä väylään ja 24 VAC käyttöjännitteeseen.

Anturitaskuihin valittiin 9 kpl Pro dual Oy:n TEKY4 LU-lähtetimiä (kuva 13) PT1000-mittapäällä ja 0–10 V jänniteviestillä. Näiden anturien mitta-alue on -50...+150 °C, joka riittää erittäin hyvin tällaiseen mittauskohteeseen. Putken pinnalta mittaamiseen valitsin Pro dual Oy:n TEPK LU-lähtetimet (kuva 14) myös PT1000-mittapäällä, 0–10 V jänniteviestillä ja mitta-alue oli sama kuin TEKY4 LU-lähtetimillä. Näiden anturien tarkkuudet riittävät hyvin projektin vaatimuksiin ja 0–10 V jänniteviestin ansiosta kytkentä on yksinkertaista, sillä tiedonkeruulaitteessa on useita 0–10 V tuloja. Kummatkin lähtetimet ovat luokiteltuja IP54-suojausluokkaan ja niiden sallittu ympäristön lämpötila on -30...+60 °C, joten näiden suhteen ei kuivassa kellarihuoneessa tule mitään ongelmia.



Kuva 13. Pro dual TEK Y4 LU -lähetin (Pro dual Oy 2022a).



Kuva 14. Pro dual TEPK LU -lähetin (Pro dual Oy 2022b).

Sähköenergian mittaukseen valittiin Carlo Gavazzin EM330 Modbus-mittarit virtamuuntajakytkennällä (kuva 15), sillä kohteen sähkökeskuksessa ei olisi ollut tilaa suorakytkentäisille mittareille. Gavazzin mittareilla on hyvä maine ja niiden mittaustarkkuus oli riittävä tämän projektin vaatimuksiin. Virtamuuntajat olivat 50 A virtaan asti mittaavia ja niiden suurin toisiovirta oli 5 A, jota valitut energiamittarit pystyvät lukemaan. Virtamuuntajakytkentäiset sähkömittarit asennettiin myöhemmin sähköasentajan toimesta moduulikoteloon kohteen

sähkökeskuksen läheisyyteen, josta niitä on helppo manuaalisesti lukea ja myös niiden väyläkaapelointi on helppo toteuttaa.



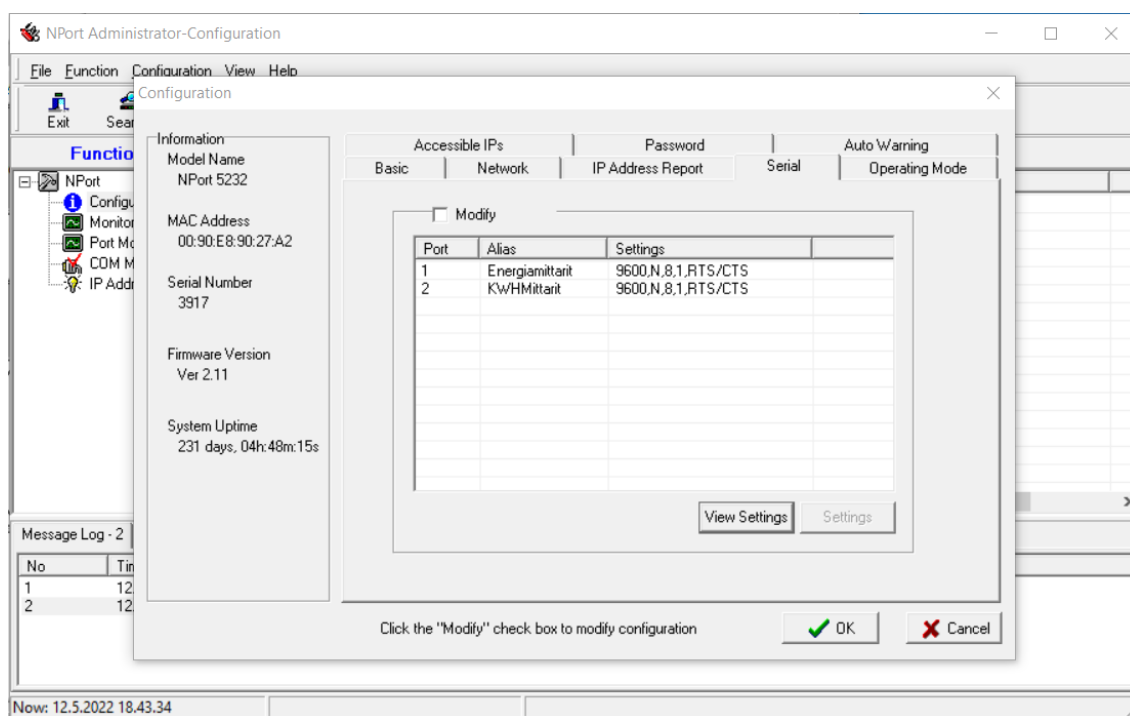
Kuva 15. Carlo Gavazzi EM330 Modbus -mittarit asennettuna.

Kohteessa oli tarvetta tehdä mittauksia kahdessa eri tilassa, joten toista tilaa varten hankittiin toinen, pienempi kytkentäkaappi. Tämä toinen tila sijaitsi kerrosta ylempänä katutasossa ja siellä kytkettäviä laitteita olivat ulkolämpötilanturi sekä kolme lämpöenergiamittaria. Kytkentäkaappiin asennettiin valmiiksi riviliittimet ja 24 VDC virtalähde, jonka ulkopuolinen sähköasentaja kytki sitten toimintaan. Lisäksi kaappiin tuli Produalin langaton vastaanotin ulkolämpötilalähetintä varten, sillä kaapelointi talosta ulos oli hyvin haasteellista.

5.2 Väylät

Modbus-väylää varten tuli hankkia sarjaporttipalvelin, jotta väylä saataisiin yhdistettyä mittauskoneeseen. Laitteiden sijainnin ja selkeyden takia päädyttiin

käyttämään kolmea Moxan Nport-sarjapalvelinta, jotka kaikki kytketään Ethernet-kaapelilla tietoverkkoon. Modbus-väylälaitteita oli kiinteistössä kahdessa eri tilassa, joten Ethernet-väylä sopi hyvin vähän pidempäänkin tiedonsiirtomatkkaan. Verkkoliitintää tarvitsevia laitteita tuli lopulta niin paljon, että päädyttiin myös hankkimaan suurempaan kytkentäkaappiin 8-porttinen Ethernet-kytkin. Nport-laitteiden konfigurointi tehtiin etukäteen, jolloin asetettiin oikeat parametrit väylälle ja nimettiin yhteys sen mukaan, mihin se oli kytkettynä. Laitteiden konfigurointi (kuva 16) oli todella yksinkertaista, sillä kaikki väylän laitteet käyttivät samoja parametreja, ja vain yhtä oletusasetusta piti muuttaa.



Kuva 16. Yhden Nport-laitteen konfiguraationäkymä.

5.3 Mittalaitteiston asennus

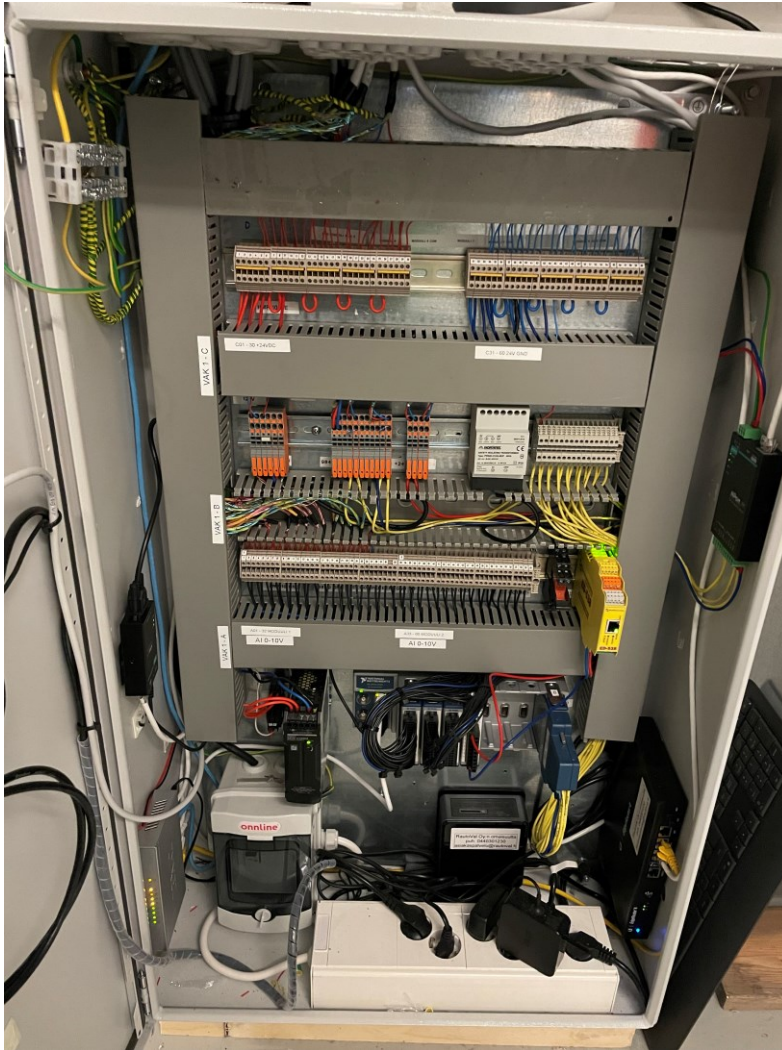
Aluksi asennettiin lämpötilalähettimet kohteen kolmeen lämminvesivaraajaan. Asentaminen oli melko yksinkertaista ja hoitui vain työntämällä lähettimen mittapää varaajan anturitaskuun, tiivistämällä anturitaskun reikä ja kiinnittämällä lähetin nippusiteillä varaajan viereiseen putkeen kuten kuvassa 17 näkyy. Tämä

vaihe sujui vastaavalla tavalla jokaisen yhdeksän lähettimen kohdalla. Tämän jälkeen vedettiin asennetuille lähettimille NOMAK-kaapelit kytkentäkaapilta ja kytkettiin johdot lähettimen päästä. NOMAK-kaapelin parit ovat numeroitu 1 ja 2, ja käytin paria 1 syöttämään lähettimille käyttöjännitteen 24 VDC ja parista 2 punaista johdinta 0–10 V-signaalin siirtoon. Kaapeloinnissa hyödynnettiin kohteessa valmiina olleita kaapelihyllyjä, joissa oli hyvin tilaa tarvittavalle kaapelimäärälle, jättäen hyvä välimatka hyllyllä kulkeviin vahvavirtakaapeleihin häiriöiden välttämiseksi.



Kuva 17. Kaksi lämpötilalähetintä asennettuna ja kaapeloituna.

Mittauskaapin päässä tehtiin kaikki anturien heikkovirtakytkennät ja muutamat tarvittavat vahvavirtakytkennät teki toimeksiantajan tilaama sähköalan ammattilainen. Anturien ja väyläkaapelien maadoituksen kytkettiin kelluvana maadoituksena ainoastaan mittauskaapin päästä kaapin maadoitusrimaan. Kaappi maadoitettiin teknisessä tilassa sijaitsevaan maadoitusrimaan, johon myös tilan muut maadoitusta tarvitsevat putket ja kytkentäkaapit oli maadoitettu. Kuvassa 18 näkyvästä mittauskaapista tuli melko siisti ja laajennusvaraakin vielä jäi mahdollisia tulevia tarpeita ajatellen.



Kuva 18. Lämmönjakohuoneessa sijaitseva päämittauskaappi.

Seuraavaksi asennettiin kaksi Moxan Nport-sarjaporttipalvelinta kaappiin ja kytkettiin niihin tarvittavat kaapeloinnit eli väyläkaapelit, Ethernet-kaapeli kytkimeltä ja 24 VDC jännitteensyöttö kuvan 19 mukaisesti. Toiselta sarjaporttipalvelimelta kaapeloitiin Modbus-väylät lämpöenergiamittareihin ja sähköenergiamittareihin ja toiselta sarjaporttipalvelimelta kohteen lämpöpumppujärjestelmän ohjainyksikölle. Energiamittareiden väylät kulkivat yksinkertaisesti laitteelta toiselle ja väylän viimeiseen laitteeseen asennettiin 150 ohmin päätevastus väylän kaapelien välille. Nport-sarjaporttipalvelimissa on mahdollisuus ottaa käyttöön sisäinen päätevastus, mutta myös niissä päädyttiin käyttämään ulkoista vastusta.



Kuva 19. Moxan Nport -sarjaporttipalvelin asennettuna.





Pienempään mittauskaappiin kytkettiin myös väylät sekä lämpöenergiamittareille, että Produalin langattomalle vastaanottimelle. Ethernet-kaapelin veto kellarissa sijaitsevaan lämmönjakohuoneeseen oli haasteellista, ja tässä kohtaa kokeiltiin, toimisiko yhteys datasähköä hyödyntäen. Datasähköllä yhteys kyllä muodostui, mutta myöhemmin todettiin, että häiriöitten takia datasähkö ei ole tarpeeksi luotettava tiedonsiirtomenetelmä tällaiseen mittaukseen. Tämän vuoksi päädyttiin vetämään Ethernet-kaapeli sekä myös kaksi muuta kaapelia kellarin lämmönjakohuoneesta katutasen huoneeseen, joilla sitten saatiin mittauskaapit yhdistettyä luotettavasti toisiinsa.

5.4 Asetukset ja verifiointi

Lämpötilalähetimissä oli mahdollista valita eri mitta-alueita tarpeen mukaan asettamalla mukana tulevat hyppylangat tiettyihin pinneihin lähettimen piirilevyllä (kuva 20). Koska lämminvesivaraajissa ja putkistoissa lämpötilat voivat ylittää +50 °C, mutta eivät koskaan alita 0 °C, päädyttiin valitsemaan mitta-alueeksi 0–100°C. Mahdollisimman sopivan mitta-alueen valinta on

tärkeää, sillä muuten mittauksen tarkkuus voi kärsiä turhaan. Tässä kohtaa annettiin myös lämpötilalähettille omat TE-alkuiset tunnuksensa, jolloin niiden paikallistaminen ja mahdollinen piirustuksiin lisääminen olisi helppoa ja selkeää.

Mittausalueen valinta

0...+50 °C	*0...+100 °C	-50...+50 °C	-50...+150 °C
S1 S2	S1 S2	S1 S2	S1 S2
			

* = tehdasasetus

Kuva 20. Pro dual-lähettilmien mitta-alueen valinta (Pro dual Oy 2013).

Lämpöenergiamittareissa ei ollut mitään muutettavia asetuksia, ainoastaan niiden Modbus-osoitteet merkittiin muistiin. Näissä mittareissa Modbus-osoitteet olivat valmiiksi konfiguroituja eli sarjanumeron kolme viimeistä numeroa, joten se helpotti työtä hieman. Lämpöenergiamittarit saivat omat EM-alkuiset tunnuksensa, jotta ne olisi helppo erottaa toisistaan ja muista mittauksista ohjelmistotasolla ja piirustuksissa.

Sähköenergiamittareiden asetuksista piti asettaa virtamuuntajien muuntosuhde oikeaksi, jotta mittari näyttäisi oikeita lukemia. Tässä tapauksessa suhteeksi asetettiin 10, eli 5 A mittaus vastaa 50 A oikeaa virtaa mitatussa johtimessa. Tämän lisäksi asetin sähköenergiamittareille peräkkäiset Modbus-osoitteet, jolloin niiden luenta olisi yksinkertaista ja selkeää. Sähkämittarit nimettiin tässä kohtaa SM-etuliitteellä anturiluetteloon, joka tehtiin tässä kohtaa valmiiksi. (Liite 2.)

Lämpötilalähettilmien verifiointiksi tässä tapauksessa riitti Fluken yleismittarilla mittaukset mittalähettilmen päästä sekä mittauskaapilta, jolloin tarvittavat korjaukset voitiin tehdä tuloksiin jännitteenaleneman mukaisesti. Kaapelivedot olivat niin lyhyitä, että jännitteenalenemat voitiin tässä tapauksessa laskea merkityksettömiksi ja niiden aiheuttama virhe mahtuu sallitun mittaustarkkuuden sisään. Väylien verifiointiseksi käytettiin Qmodmaster-nimistä ohjelmaa, jolla pystyy muodostamaan yhteyden Modbus-väylän laitteisiin ja kyselemään niistä

dataa. Väylät toimivat heti kuten pitikin, eikä korjauksia tarvinnut tehdä. Tämä oli myös odotettavissa, sillä väylän laitteiden määrä oli suhteellisen pieni ja etäisyydet lyhyitä ja kaapelit hyvin suojattuja, joten virheiden todennäköisyyskin oli pieni.

5.5 Tiedonkeruu

Tiedon tallennus paikalliselle palvelimelle on toimiva ratkaisu, mutta tässä tapauksessa haluttiin myös lisävarmuutta järjestelmän datan säilymiselle. Toimeksiantajan puolesta käyttöön saatiin edellisestä käytöstä poistunut palvelintietokone, joka asennettiin ulkopuoliseen kohteeseen. Tämän palvelimen ja mitattavan kiinteistön välille hankittiin VPN-yhteys, jolloin etäyhteys mittausjärjestelmiin olisi helppoa ja tietoturvallista muodostaa. VPN-yhteydellä on mahdollista muodostaa yhteys kohteen järjestelmään mistä tahansa, kunhan käytössä ovat oikeat salausavaimet ja tietokone Internet-yhteydellä. Vastaavia järjestelmiä on jossain kytkettynä myös suoraan Internetiin ilman mitään turvatoimia, jolloin järjestelmät jäävät alttiiksi vahingonteolle ja väärinkäytölle, joten tämänkin vuoksi suojattu etäyhteys oli tärkeää saada.

Paikallisen järjestelmän perustana toimivat kaksi pientä tietokonetta, joista toinen on pelkästään tietokantapalvelimena, ja toinen hoitaa tiedonkeruun mittalaitteilta ja datan siirtämisen tietokantakoneelle. Tietokoneiksi valittiin saatavuuden vuoksi Asus Vivomini UN62 sekä Intel NUC-tietokoneet. Nämä laitteet olivat valmiiksi saatavilla edeltävistä projekteista, ja ne kuluttavat vähän virtaa ja sopivat tähän tarkoitukseen todella hyvin.

Tiedonkeruujärjestelmän päätavoitteena oli olla mahdollisimman luotettava ja mahdollistaa datan hakeminen etäyhteydellä esimerkiksi Excel-taulukkoon. Tämän vuoksi valittiin tiedon tallentamiseen MySQL-tietokanta, sillä siihen on saatavilla Excel-lisäosa ja se toimii hyvin Grafanan kanssa. Asennukset aloitettiin Intel NUC-tietokoneesta, johon asennettiin Ubuntu Server-käyttöjärjestelmä ja siihen MySQL-ohjelmisto. Asentaminen oli yksinkertaista

näytöllä näkyvien ohjeiden avulla ja seuraavaksi siirryttiin toisen koneen asennukseen. Asus Vivomini-tietokoneessa oli valmiiksi asennettuna Windows 10-käyttöjärjestelmä, johon ei tarvinnut asentaa sen ihmeempiä lisäosia. Tällä tietokoneella oli tarkoitus saada toimimaan toimeksiantajan oma tiedonkeruusovellus, joka ottaa mittadatan NI CompactDAQ-9188:lta ja tallettaa sen toisella tietokoneella sijaitsevaan tietokantaan. Tässä kohtaa luotiin tietokantaan tarvittavat perustason käyttäjätilit sekä tiedon tallennukselle, että tiedon hakijoille eli tässä tapauksessa Grafanalle. Myös pääkäyttäjätili konfiguroitiin niin, että pääsy tarkastelemaan tietokantaa etänä olisi mahdollista. Tietoturvariskejä tässä kohtaa ei pääkäyttäjätilin käytöstä muodostunut, sillä ainoa pääsy MySQL-palvelimelle on tietoturvallisen etäyhteyden kautta. Tietokanta asennettiin myös etäsijainnissa sijaitsevalle palvelimelle täysin samalla tavalla ja samoilla käyttäjätileillä, sillä tämä helpottaa tulevaa tietokantojen replikointia. Tilaajan edustajan tehtävänä oli hoitaa tietokannan replikointi eli kopiointi näiden kahden sijainnin välillä, joten sitä ei tässä huomioitu.

Tietokantoihin luotiin sekä paikallisella että palvelinkoneella identtiset taulurakenteet, jotta tietojen kopiointi palvelimelle sujuisi hyvin. Sarakkeet nimettiin anturien tunnusten mukaan, jotta tiedon löytäminen niistä olisi helpompaa. Muita sarakkeita tauluissa olivat id eli jokaisen rivin yksilöivä tunnus sekä aikaleima, jonka avulla dataa voi hakea ajan perusteella. Tietokantojen rakenteiden tekoon käytettiin MySQL Workbench-nimistä apuohjelmaa, jolla tietokantojen hallinta onnistuu monipuolisesti ja selkeästi. Kuvassa 21 nähdään näkymä tietokannasta MySQL Workbenchissä, josta dataa on helppo käsitellä tai tarkistaa. MySQL Workbenchiä voidaan myös tarvittaessa käyttää tietokannan selaamiseen tai varmuuskopiointiin.

id	time	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25
336...	2022-02-28 14:35:36	51.39	45.88	52.25	50.94	47.79	43.95	27.3	31.3	31.09	30.67	27.71	55.78	6.83	30.28	30.6	30.46	50.04
336...	2022-02-28 14:36:36	51.36	45.33	50.96	49.6	48	43.87	27.54	31.1	31.26	30.63	27.75	55.76	6.82	30.3	30.63	30.42	49.81
336...	2022-02-28 14:37:36	51.52	45.02	51.11	48.53	48.14	43.76	27.52	31.22	31.29	30.72	27.7	55.67	6.81	30.27	30.63	30.41	49.67
336...	2022-02-28 14:38:36	51.16	44.15	46.09	45.74	45.93	43.78	27.53	31.13	31.24	30.62	27.73	55.23	6.82	30.26	30.59	30.49	49.72
336...	2022-02-28 14:39:36	50.71	46.68	47.11	45.42	46.46	47.14	27.56	31.23	31.23	30.76	27.7	55.28	6.86	30.34	30.61	30.35	49.61
336...	2022-02-28 14:40:36	50.6	46.59	47.07	47.16	47.24	45.85	27.55	31.23	31.28	30.72	27.73	55.21	6.73	30.27	30.6	30.46	49.58
336...	2022-02-28 14:41:36	50.7	43.26	43.62	46.62	43.97	42.89	27.5	31.25	31.35	30.72	27.76	55.29	6.72	30.3	30.82	30.4	49.49
336...	2022-02-28 14:42:36	51.06	43.27	43.42	50.39	43.28	43.41	27.54	31.19	31.33	30.81	27.74	55.45	6.77	30.38	30.79	30.57	49.42
336...	2022-02-28 14:43:36	50.95	46.53	46.56	51.93	45.68	47.29	27.48	31.27	31.37	30.87	27.69	55.21	6.93	30.41	30.81	30.31	49.3
336...	2022-02-28 14:44:36	50.73	49.46	49.53	50.06	48.55	49.85	27.76	31.01	31.47	30.73	27.71	55.01	6.82	30.26	30.72	30.46	48.94
336...	2022-02-28 14:45:36	50.92	50.5	50.77	50.63	48.89	50.68	27.54	31.25	31.27	30.5	27.73	54.65	6.86	29.51	29.93	30.1	48.74
336...	2022-02-28 14:46:36	51.81	51.59	51.65	51.38	48.77	52.01	27.56	31.25	31.28	29.17	27.72	54.47	6.86	28.82	29.04	29.18	48.4
336...	2022-02-28 14:47:36	50.15	53.67	53.45	53.54	48.32	53.98	27.51	31.01	31.1	29.07	27.75	54.67	6.83	28.6	28.95	28.82	48.16
336...	2022-02-28 14:48:36	52.49	53.13	53.97	53.06	47.44	52.99	27.55	31.12	31.15	29.08	27.71	54.44	6.96	28.62	28.95	28.81	48.16
336...	2022-02-28 14:49:36	53.03	51.41	52.11	51.34	46.84	51.24	27.52	31.13	31.24	29.15	27.74	53.48	7.06	28.56	29.12	28.89	48.01
336...	2022-02-28 14:50:36	51.85	51.83	51.73	51.64	47.46	52.11	27.52	31.18	31.2	29.2	27.75	52.09	7.15	28.96	29.11	28.89	48.05

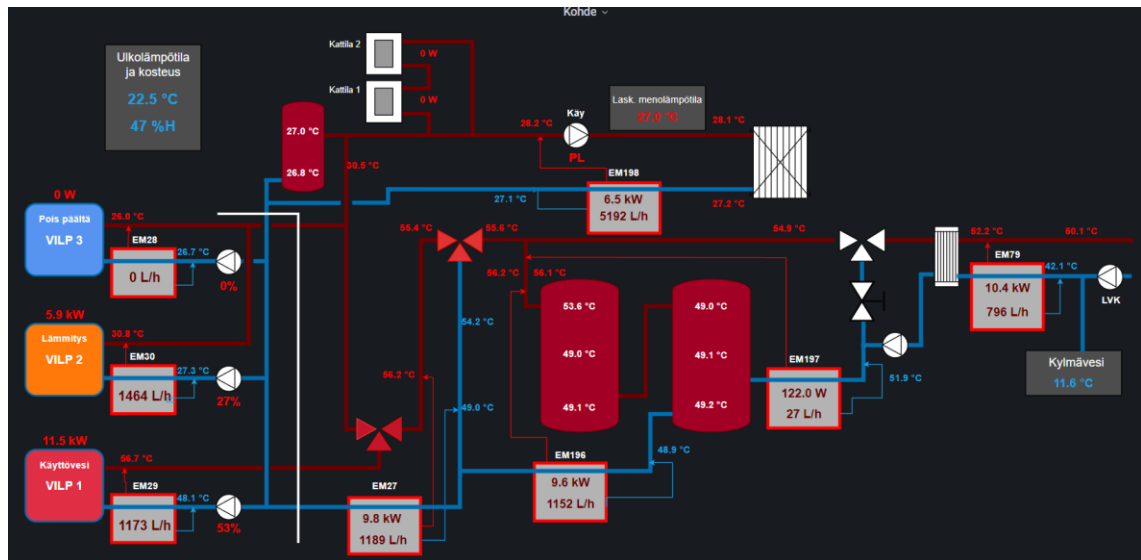
Kuva 21. MySQL Workbench -näkyvä lämpötila-arvoista tietokannassa.

5.6 Etäkäyttöliittymä

Etäkäyttöliittymän tarkoitus oli mahdollistaa kohteen seuranta ja historiatietojen näyttäminen yksinkertaisesti verkon yli. Tähän tarkoitukseen käytettiin Grafana-ohjelmistoa, joka asennettiin toimeksiantajan palvelimelle. Grafana mahdollistaa selkeiden ja monipuolisten näkymien luonnin ja siihen pääsy on yksinkertaista järjestää kaikille projektin osapuolille. Tätä varten tutkittiin myös Grafanan lisäosatarjontaa ja löydettiin tähän projektiin sopiva, Flowcharting-niminen lisäosa, jolla voidaan luoda vuokaavioita ja kaikenlaisia muita kuvia, joihin voi sitten yhdistää näkyviin tietokantojen dataa.

Aluksi asennettiin Grafana ja sen Flowcharting-lisäosa etäkohteessa sijaitsevalle palvelimelle, sillä käytössä oleva Internet-yhteys kohteeseen oli sen verran hidas, ettei paikallinen asennus olisi ollut järkevää. Asennus sujui ohjatusti ja helposti, jonka jälkeen aloitettiin konfigurointi. Grafanan konfigurointi aloitettiin luomalla sinne pääkäyttäjätili ja kaksi vieraskäyttäjää, joilla on rajoitetut oikeudet ainoastaan lukea dataa. Näin vältetään mahdollisilta virhepainallusten aiheuttamilta ongelmilta ohjelman toiminnassa. Grafanaan asennettu Flowcharting-lisäosa mahdollisti erilaisten kaavioiden luonnin ja sillä piirrettiin laitteiston järjestelmäkaavio näkyviin ja lisättiin siihen mittauspisteitä, jotta järjestelmän senhetkinen tila olisi mahdollisimman helppo hahmottaa.

Järjestelmäkaavio (kuva 22) oli melko työlästä luoda, sillä jokainen arvo ja viiva on oma yksilöllisesti numeroitu komponenttinsa, johon sitten arvoa linkitettäessä pitää viitata. Kuvan piirtäminenkin vaati jokaisen viivan yksilöllisen mitoituksen ja kohdistamisen muihin nähden, mutta lopputuloksesta tuli selkeä ja hyvännäköinen.



Kuva 22. Järjestelmäkaavio.

Tietojen helppoa lataamista ja historiatietojen katselua varten tehtiin myös muita kojelautoja. Yleisnäkymät kaikista mitatuista arvoista luotiin ensin yhteen kojelautaan, mutta sitten havaittiin, ettei se skaalautu hyvin eri resoluutioisilla näytöillä. Tämän vuoksi päätettiin tehdä erikseen "4K-näkymä" ja "1080p-näkymä", jotta loppukäyttäjä voi sitten valita omalle näytölleen paremmin sopivan vaihtoehdon. Tämän yksityiskohdan suhteen Grafanassa olisi vielä kehittämisen varaa, sillä skaalautuvuus eri kokoisille ja eri resoluution näytöille on nykyään tärkeää. Myös mobiilikäyttö osoittautui melko hankalaksi, mutta sille ei tässä projektissa onneksi ollut tarvetta ja tarpeen mukaan sillekin saisi toki tehtyä omat kojelautansa.

6 Tulokset ja pohdinta

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa tiedonkeruu- ja mittausjärjestelmä asuinkiinteistön lämmitysjärjestelmälle sekä visualisointi kerätylle datalle. Lähtötietoina oli saatavilla piirustukset järjestelmästä sekä toimeksiantajan toiveet siitä, mitä haluttaisiin mitata ja mitä mitatulla tiedolla tehtäisiin.

Sopivien anturien ja mittalaitteiden valinta oli melko yksinkertaista mutta myös tärkeää, jotta mittaukset onnistuisivat parhaalla mahdollisella tavalla ja tarkkuudella. Työn lopputuloksena valmistui toimiva kokonaisuus, jonka avulla toimeksiantajan projekti saadaan vietyä tavoitteiden mukaisesti loppuun asti ja kaikki tarvittava tieto saadaan tallennettua myöhempää käyttöä varten. Toteutetusta järjestelmästä tuli luotettava ja tietokannasta arvoja noutava visualisointijärjestelmä on selkeä ja helppokäyttöinen.

Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja samalla myös haastavaa, sillä uusia asioita tuli väistämättä eteen varsinkin lämmitysjärjestelmien LVI-tekniikan osalta. Työn perusteella voidaan havaita, että vastaavanlaiselle valmiille järjestelmälle voisi hyvinkin olla kysyntää, varsinkin jos se olisi tarpeen mukaan skaalattavissa kohteen koon ja tarpeiden mukaiseksi. Myös kiinteistöjen ja lämpöpumppujärjestelmien rakennusvaiheessa tulisi kiinnittää enemmän huomiota niiden toiminnan seurantaan ja tehdä vähintään tarvittavat varaukset tulevia mittauksia tai toiminnan varmennustarpeita ajatellen.

LÄHTEET

Chint Global 2022. Current transformers. Viitattu 15.6.2022.

<https://chintglobal.com/blog/difference-between-current-transformer-and-potential-transformer/>

Diehl Metering 2022. Smart leak detection for heating applications. Viitattu 21.4.2022. <https://www.diehl.com/metering/en/solutions/heating-and-cooling-solutions/smart-leak-detection-heating-applications/>

Energiäteollisuus 2008. Energiäteollisuus kaukolämmön mittaus. Viitattu 15.6.2022. https://energia.fi/files/589/SuositusK13_2008_KL-mittaus.pdf

Grafana Labs 2022a. Grafana Dashboards. Viitattu 10.3.2022.

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/dashboards/>

Grafana Labs 2022b. Grafana Datasources. Viitattu 10.3.2022.

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/datasources/>

Grafana Labs 2022c. Grafana Labs Introduction. Viitattu 10.3.2022.

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/introduction/>

Grafana Labs 2022d. Grafana Plugins. Viitattu 16.6.2022.

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/plugins/>

Grafana Labs 2022e. Grafana Visualizations. Viitattu 30.10.2022

<https://grafana.com/docs/grafana/latest/panels-visualizations/visualizations/>

Kaario, K. 2002. TCP/IP-verkot. 1. Painos. Jyväskylä: Docendo Finland Oy.

Liedes, R.; Härkönen P.; Mikkola J.; Piikkilä V.; Pusa K.; Sahala A.; Sahlstén T.; Sandström B.; Sirviö A.; Spangar T. & Sulku J. 2018. ST-käsikirja 17. Sähkötieto Ry.

Liedes, R.; Uusitalo S.; Reinikainen V.; Erkkilä V. & Koivisto P. 2022. ST-käsikirja 21. Sähkötieto Ry.

Mäkinen, P.; Kauppi V.; Reinikainen V. & Ylinen T. 2013. Sähköasennukset 4. Espoo: Sähköinfo Oy.

Modbus Org. 2006. MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02. Viitattu 19.3.2022.

https://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf

Modbus Org. 2012. Modbus Application Protocol. Viitattu 19.3.2022

https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf

Moxa Inc. 2022. Moxa Nport 5100-series. Viitattu 15.6.2022.

<https://www.moxa.com/en/products/industrial-edge-connectivity/serial-device-servers/general-device-servers/nport-5100-series>.

National Instruments Corp. 2022. Data Acquisition (DAQ). Viitattu 19.6.2022.

<https://www.ni.com/fi-fi/shop/data-acquisition.html>

Omega Engineering Inc. A Complete Guide to Data Acquisition (DAQ) Systems.

Viitattu: 19.6.2022. <https://www.omega.com/en-us/resources/daq-systems>

Oracle Corporation. What is MySQL? Viitattu 15.6.2022.

https://docs.oracle.com/cd/E17952_01/mysql-5.7-en/what-is-mysql.html

Piikkilä V. & Sahlstén T. 2017. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät: Tietotekniset järjestelmät, ST-käsikirja 21. 2. Painos. Espoo: Sähköinfo Oy

Produal Oy 2013. Produal TEPK LU-datalehti. Viitattu 15.6.2022.

<https://produal->

[pim.rockon.io/rockon/api/v1/int/extmedia/openFile/01TGWJBKDBSKHULXALNRE2L36N557TUFCX](https://produal-pim.rockon.io/rockon/api/v1/int/extmedia/openFile/01TGWJBKDBSKHULXALNRE2L36N557TUFCX)

Produal Oy 2022a. Produal TEKY4 LU. Viitattu 19.6.2022.

<https://www.produal.com/fi/teky4-lu.html>

Produal Oy 2022b. Produal TEPK LU. Viitattu 19.6.2022.

<https://www.produal.com/fi/tepk-lu.html>

QMC Corporation. Viitattu 30.10.2022. <http://qmmeters.com/us/meters/thermal>

Tervola, J. 2011. Tekniikka ja talous: Dataa töpselistä. Viitattu 15.6.2022.

<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/dataa-topselista/a3e33c3d-3bff-3421-938d-ee1aa20e8e0j>

Tukes 2022. Tukes MID. Viitattu 15.6.2022. [https://tukes.fi/tuotteet-ja-](https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/mittauslaitteet/mittauslaitteiden-vaatimustenmukaisuuden-osoittaminen)

[palvelut/mittauslaitteet/mittauslaitteiden-vaatimustenmukaisuuden-osoittaminen](https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/mittauslaitteet/mittauslaitteiden-vaatimustenmukaisuuden-osoittaminen)

Värjä, P. & Mikkola, J-M. 1999. Uusi Kiinteistöautomaatio. 10. painos. Koria: Cadnet Oy

Weedmark, D. 2019. The Three Most Common Ethernet Speeds. Viitattu 15.6.2022 <https://smallbusiness.chron.com/three-common-ethernet-speeds-69375.html>

Lämpötila-antureiden resistanssi – lämpötilataulukko

Sensor element	Pt100	Pt1000	Ni1000	Ni1000-LG	NTC 1.8	NTC 2.2	NTC 3.0	NTC 10	NTC 20	NTC 10-AN	NTC 10-C	NTC 10-KB	KP 10	T1
Tol.	±0.3 °C / 0 °C EN60751 B	±0.3 °C / 0 °C EN60751 B	±0.4 °C / 0 °C DIN43760	±0.4 °C / 0 °C to: 5000 ppm Siemens	±0.3 °C / 25 °C TAC1800	±0.25 °C / 25 °C Johnson	±0.25 °C / 25 °C	±0.25 °C / 25 °C Trend	±0.25 °C / 25 °C Honeywell	±0.25 °C / 25 °C Andover	±0.25 °C / 25 °C Carel	±0.5 °C / 25 °C	LM335Z, 10 mV/K	±0.4 °C / 0 °C
Temp. °C	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	V	Ω
140	153.6	1535.8	1909	1737	71	53	64	235	351	298	381	324		
130	149.8	1498.3	1833	1675	87	68	81	301	460	377	474	385		3675
120	146.1	1460.7	1760	1615	110	90	105	390	609	482	597	467		3552
110	142.3	1422.9	1688	1557	139	115	138	511	818	624	758	576		3430
100	138.5	1385.1	1618	1500	177	153	204	679	1114	817	973	723	3.73	3311
95	136.6	1366.1	1583	1472	202	178	236	786	1307	939	1108	815	3.68	3252
90	134.7	1347.1	1549	1444	232	207	275	916	1541	1084	1266	923	3.63	3194
85	132.8	1328.0	1516	1417	261	241	321	1070	1823	1254	1451	1048	3.58	3136
80	130.9	1309.0	1483	1390	303	283	376	1255	2166	1457	1668	1194	3.53	3079
75	129.0	1289.9	1450	1364	350	334	444	1480	2585	1700	1924	1364	3.48	3022
70	127.1	1270.8	1417	1337	404	395	526	1752	3098	1990	2228	1562	3.43	2966
65	125.2	1251.6	1385	1311	468	469	625	2083	3732	2338	2588	1791	3.38	2910
60	123.2	1232.4	1353	1285	544	560	746	2488	4518	2760	3020	2056	3.33	2855
55	121.3	1213.2	1322	1260	636	673	896	2986	5494	3270	3536	2358	3.28	2800
50	119.4	1194.0	1291	1235	750	811	1081	3602	6718	3893	4160	2702	3.23	2745
45	117.5	1174.7	1260	1210	885	984	1310	4368	8260	4655	4911	3088	3.18	2692
40	115.5	1155.4	1230	1186	1049	1200	1597	5324	10212	5594	5827	3517	3.13	2638
35	113.6	1136.1	1200	1162	1251	1471	1960	6532	12698	6754	6940	3987	3.08	2585
30	111.7	1116.7	1171	1138	1496	1814	2417	8055	15886	8196	8313	4492	3.03	2532
29	111.3	1112.9	1165	1132	1551	1893	2522	8406	16627	8525	8622	4597	3.02	2522
28	110.9	1109.0	1159	1128	1610	1977	2634	8779	17406	8869	8944	4703	3.01	2512
27	110.5	1105.1	1153	1123	1673	2064	2750	9165	18227	9229	9281	4809	3.00	2501
26	110.1	1101.2	1147	1119	1736	2156	2872	9574	19090	9606	9632	4917	2.99	2491
25	109.7	1097.3	1141	1114	1800	2252	3000	10000	20000	10000	10000	5025	2.98	2480
24	109.3	1093.5	1136	1109	1871	2353	3135	10448	20958	10413	10380	5134	2.97	2470
23	109.0	1089.6	1130	1105	1942	2458	3277	10924	21968	10845	10780	5243	2.96	2460
22	108.6	1085.7	1124	1100	2014	2572	3426	11421	23033	11298	11200	5353	2.95	2449
21	108.2	1081.8	1118	1095	2094	2689	3582	11940	24156	11773	11630	5462	2.94	2439
20	107.8	1077.9	1112	1091	2178	2813	3747	12491	25340	12270	12090	5573	2.93	2429
19	107.4	1074.0	1107	1086	2263	2940	3922	13073	26591	12791	12560	5685	2.92	2418
18	107.0	1070.2	1101	1081	2351	3081	4104	13681	27912	13337	13060	5795	2.91	2408
17	106.6	1066.3	1095	1077	2444	3226	4298	14325	29307	13910	13580	5906	2.90	2398
16	106.2	1062.4	1089	1072	2545	3378	4500	15000	30782	14510	14120	6016	2.89	2388
15	105.8	1058.5	1084	1068	2646	3538	4713	15710	32340	15140	14690	6126	2.88	2377
14	105.5	1054.6	1078	1063	2751	3708	4938	16461	33982	15801	15280	6235	2.87	2367
13	105.1	1050.7	1072	1058	2865	3886	5177	17256	35716	16494	15900	6344	2.86	2357
12	104.7	1046.8	1067	1054	2983	4075	5427	18091	37550	17222	16560	6453	2.85	2347
11	104.3	1042.9	1061	1049	3105	4273	5691	18970	39489	17987	17240	6560	2.84	2337
10	103.9	1039.0	1056	1045	3236	4482	5971	19902	41540	18790	17960	6667	2.83	2326
9	103.5	1035.1	1050	1040	3371	4703	6265	20884	43715	19633	18700	6773	2.82	2316
8	103.1	1031.2	1044	1036	3510	4937	6575	21918	46018	20519	19480	6877	2.81	2306
7	102.7	1027.3	1039	1031	3657	5183	6905	23015	48457	21451	20300	6980	2.80	2296
6	102.3	1023.4	1033	1027	3813	5444	7251	24170	51041	22430	21150	7082	2.79	2286
5	102.0	1019.5	1028	1022	3978	5719	7617	25391	53780	23460	22050	7182	2.78	2276
4	101.6	1015.6	1022	1018	4146	6010	8005	26683	56678	24545	23000	7281	2.77	2266
3	101.2	1011.7	1016	1013	4327	6318	8415	28051	59751	25687	23990	7379	2.76	2256
2	100.8	1007.8	1011	1009	4513	6643	8849	29498	63011	26890	25030	7475	2.75	2246
1	100.4	1003.9	1005	1004	4711	6988	9309	31030	66469	28156	26130	7569	2.74	2236
0	100.0	1000.0	1000	1000	4917	7353	9795	32650	70140	29490	27280	7661	2.73	2226
-5	98.0	980.4	973	978	6118	9533	12698	42327	92220	37310	33900	8093	2.68	2176
-10	96.1	960.9	946	956	7664	12460	16599	55329	122260	47540	42470	8472	2.63	2127
-15	94.1	941.2	919	935	9662	16428	21887	72957	163480	61020	53410	8796	2.58	2078
-20	92.2	921.6	893	914	12265	21860	29125	97083	220600	78910	67770	9067	2.53	2030
-25	90.2	901.9	867	893	15678	29398	39127	130422	300400	102900	86430	9288	2.48	1982
-30	88.2	882.2	842	872	20191	39908	53093	176976	413400	135200	111300	9466	2.43	1934
-35	86.2	862.5	816	851	26955	54751	72658	24682	576763	179200		9605	2.38	
-40	84.3	842.7	791	831	35480	75953	100701	336479	810861	239700		9712	2.33	
-45	82.3	823.0	767	811	47135	106603	141183	472178	1152992	323600		9793		
-50	80.3	803.1	743	791	63229	151470	200348	671305	1659082	441300		9854		

Mittalaiteluettelo

Anturi	Malli	Signaali	Mitta- alue	Sijoitus/selitys
TE1	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Varaaja 1 ylä
TE2	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Varaaja 1 keski
TE3	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Varaaja 1 ala
TE4	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Varaaja 2 ylä
TE5	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Varaaja 2 keski
TE6	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Varaaja 2 ala
TE7	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Puskurivaraaja ylä
TE8	TEKY4 LU	0–10 V	0...100°C	Puskurivaraaja ala
TE9	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Käyttövesi lähtö
TE10	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Sekoitus 50 °C lämmin
TE11	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Sekoitus 50°C kylmä
TE12	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Sekoitus 50°C lähtö
TE13	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	VILP1 Ulos
TE14	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	VILP1 Sisään
TE15	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	VILP2 ja 3 Ulos
TE16	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	VILP2 ja 3 Sisään
TE17	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	3tie puskuriliitântä
TE18	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Lattialämmitys meno
TE19	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Lattialämmitys paluu
TE20	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Varaajilta/VILP vaihtimelle
TE21	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Kylmävesi
TE22	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Sähkökattila Tulo
TE23	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Sähkökattila Väli
TE24	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Sähkökattila Lähtö
TE25	TEPK LU	0–10 V	0...100°C	Varaajat väliputki
EM27	Sharky 775	Modbus RTU		Tuotu energia käyttövesi
EM28	Sharky 775	Modbus RTU		VILP 3
EM29	Sharky 775	Modbus RTU		VILP 1
EM30	Sharky 775	Modbus RTU		VILP 2
EM79	Sharky 775	Modbus RTU		Kulunut energia käyttövesi
EM196	Sharky 775	Modbus RTU		Varaajien lataus

EM197	Sharky 775	Modbus RTU		Varaajien purku
EM198	Sharky 775	Modbus RTU		Energia lattialämmitys
SM11	Gavazzi EM330	Modbus RTU		Sähkökattila 2
SM12	Gavazzi EM330	Modbus RTU		Sähkökattila 1
SM13	Gavazzi EM330	Modbus RTU		Varaaja 1
SM14	Gavazzi EM330	Modbus RTU		Varaaja 2
SM15	Gavazzi EM330	Modbus RTU		VILP 2
SM16	Gavazzi EM330	Modbus RTU		VILP 1
SM17	Gavazzi EM330	Modbus RTU		VILP 3
SM18	Gavazzi EM330	Modbus RTU		LTO-koneet