



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Ahola

# Sähkölaitetilan automaattivalvonta

Tekniikka  
2024

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Marko Ahola
Opinnäytetyön nimi	Sähkölaitetilan automaattivalvonta
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	46
Ohjaaja	Juha Ramsila

---

Työn aiheena on kehittää Nordic Electro Power Oy:lle automaattinen valvontajärjestelmä, jota yritys voi myydä lisäpalveluna jo tarjoamansa tuotteen mukana tai yksittäisenä palveluna. Valvontajärjestelmä toteutetaan ohjelmoitavalla logiikalla, jonka tehtävänä on toimia tiedonkeruu- ja välityslaitteena.

Työn toteuttamiseksi kerättiin tietoa kenttäväylistä, logiikoista ja palvelimista. Tietoa kerättiin pääosin suoraan laitevalmistajan sivuilta ja tunnetuista tietolähteistä.

Työn tuloksena syntyi tuote, joka lisää toimeksiantajayrityksen muiden tuotteiden arvoa ja modernisoi tarjontaa.

---

Avainsanat	tekniset järjestelmät, hälytysjärjestelmät, valvontajärjestelmät
------------	--

## ABSTRACT

Author	Marko Ahola
Title	Automatic Status Monitoring System for Electrical Equipment
Year	2024
Language	Finnish
Pages	46
Name of Supervisor	Juha Ramsila

---

The subject of the thesis is to develop an automatic monitoring system for Nordic Electro Power Oy to sell as an additional service with its existing products or as a standalone service. The system will be implemented using a programmable logic controller, the task of which is to do data collection and transmission.

To finish the development, it was required to collect information about field buses, logic controllers and cloud servers. The information was mainly collected directly from the device manufacturers site and from other well-known sites.

As a result of the development, a product was created to add value to Nordic Electro Powers current product lineup and modernize the offering.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Toimeksiantajayritys .....	7
1.2	Tuotteen tarve .....	7
2	VALVONTAJÄRJESTELMÄ.....	9
2.1	Järjestelmän hyödyt toimeksiantajalle .....	9
2.2	Valvontajärjestelmän myynti.....	9
3	JÄRJESTELMÄN YLEISSUUNNITTELU JA KOMPONENTTIVALINNAT.....	10
3.1	Ohjelmoitava logiikka .....	10
3.2	Valintojen perusta.....	10
3.3	Komponenttivalinnat .....	10
3.4	Käyttölämpötilojen vaikutukset valintoihin.....	12
4	VALVONNAT JA OHJAUKSET .....	16
4.1	Ulko- ja sisäovien tilavalvonta .....	16
4.2	Katkaisijoiden tilavalvonta .....	16
4.3	Sisä- ja ulkolämpötila .....	17
4.4	Paine-eromittaus .....	18
4.5	Eristystasovalvonta .....	19
4.6	Valokaarisuojan valvonta.....	19
4.7	Muuntajan lämpötilavalvonta .....	19
4.8	Ennakoivan huollon arviointi .....	20
4.9	Huoltokirjat .....	21
5	JÄRJESTELMÄN HYÖDYT .....	23
5.1	Laitteiston rakentaja .....	23
5.2	Laitteiston huoltaja .....	23
5.3	Laitteiston haltija .....	23

5.4	Käytönjohtaja .....	24
6	SUUNNITTELU JA DOKUMENTAATIO.....	25
6.1	3D-mallinnus .....	25
6.2	Layout-vaihtoehdot .....	26
6.3	Piirikaaviosuunnitelmat .....	26
6.4	Johtimet .....	27
7	OHJELMOINTI .....	28
7.1	Ohjelman rakenne .....	28
7.2	Etäyhteysviestin muodostaminen .....	28
7.3	Logiikkaohjelman salaus .....	29
8	TIEDONSIIRTO .....	30
9	VIESTILIIKENTEEEN SALAAMINEN JA TIETOTURVA .....	31
10	VALVOMO .....	34
10.1	Ohjelmointi .....	34
10.2	Etäyhteys.....	34
10.3	Valvomonäkymä .....	36
10.4	Palvelinohjelmiston toiminnot.....	36
10.5	Palvelin .....	37
10.6	Nykyinen palvelininfrastukturi .....	37
10.7	Palvelininfrastruktuurin skaalaaminen .....	38
10.8	Tietokanta .....	39
11	LAITTEISTON TUOTANTO.....	41
11.1	Tuotantodokumentaatio.....	41
12	LAITTEISTON YLLÄPITO .....	42
12.1	Palvelinohjelmisto.....	42
13	TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT .....	43
14	YHTEENVETO .....	44
	LÄHTEET .....	45

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Phoenix Contactin UPS-laitteen väylästä saatavat tiedot. ....	12
<b>Kuva 2.</b> Suomen alimmat mitatut lämpötilat. [3.] .....	13
<b>Kuva 3.</b> S7-1200 1214C-logiikan käyttölämpötilat. [4.] .....	13
<b>Kuva 4.</b> Valitun HMI-paneelin käyttölämpötilat. [5.] .....	14
<b>Kuva 5.</b> Esimerkki muuntajan lämpötilaerotuksesta kuormituksessa.....	21
<b>Kuva 6.</b> Layout 3D-mallinnettuna. ....	25
<b>Kuva 7.</b> Public Key-esimerkki. ....	33
<b>Kuva 8.</b> Private Key-esimerkki.....	33
<b>Kuva 9.</b> MQTT-yhteys.....	35
<b>Kuva 10.</b> Valvomon päänäköymä.....	36
<b>Kuva 11.</b> Vaakasuuntaisesti skaalattu palvelininfrastruktuuri. ....	39
<b>Taulukko 1.</b> Laitteiden alimmat käyttölämpötilat. ....	15
<b>Taulukko 2.</b> Järjestelmän johdinvärit. ....	27

## LIITELUETTELO

**Liitteet salattu**

## **1 JOHDANTO**

Toimeksiantajayritys Nordic Electro Power Oy:lle alettiin kehittää sähkötilojen automaattivalvontapalvelua, jonka avulla saadaan tehostettua tarjolla olevia ratkaisuja sekä parannettua olemassa olevien projektien ja sopimusten järjestelmällisyyttä.

### **1.1 Toimeksiantajayritys**

Nordic Electro Power Oy on vuonna 2016 perustettu sähköalan yritys. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Vaasassa. Muita toimipaikkoja sillä on Seinäjoella, Oulussa ja Skellefteåssa. Nordic Electro Power Oy:n markkinointinimenä käytetään lyhennettä NEPower Oy. [1.]

Yrityksen toimituksiin kuuluu KVR-urakointi sähköasemilla, prosessisähköistys, huolto, uusiutuva energia ja erikoismuuntamot. Erikoismuuntamoihin kehitetään koko ajan uutta. Niitä optimoidaan tarjoamaan asiakkaalle aina vain teknisesti tehokkaampia ratkaisuja. Opinnäytetyönä kehitettävä valvontajärjestelmä on osaa tätä optimointia.

Järjestelmää alettiin kehittämään yrityksen tahdosta lisätä tarjontaan nykyaikaisia palveluita, joilla voi olla suuri vaikutus sähkölaitteiden kokonaisikään. Lisäksi yritys haluaa kerätä omista kohteistaan tietoa ja tehdä tarvittavia parannuksia saadun tiedon pohjalta.

### **1.2 Tuotteen tarve**

Nordic Electro Power Oy:n tuotevalikoimaan kuuluvat erikoismuuntamot, sähkötilat ja sähköasemarakennukset. Kaikkiin mainittuihin tyyppeihin sisältyy aina jonkinlaisia sähkölaitteita, kuten muuntajia, pienjännitekeskuksia, keskijännitekojeistoja ja akustoja. Sähköasemarakennuksissa näitä yleensä valvotaan jo sähköaseman omalla automaatiojärjestelmällä, mutta erikoismuuntamoissa ja sähkötiloissa

ei välttämättä ole minkäänlaista valvontaa, mikä johtaa siihen, että laitteiden vi-  
kaantumiset havaitaan vasta, kun muuntajan syöttämässä tehtaassa tai kiinteis-  
tössä kaikki varmentamattomat prosessit sammuvat. Järjestelmää lähdettiin ke-  
hittämään tuomaan automatisoitu ratkaisu tällaisten tilanteiden mahdolliseen en-  
naltaehkäisyyn.

Laitteisto tuo ominaisuuksillaan lisäarvoa nykyisille tuotteille ja sitä voidaan tar-  
jota myös omana tuotteenaan muihin vastaaviin kohteisiin. Järjestelmän asiakas-  
ryhmiin ajateltiin kuuluvan esimerkiksi teholtaan alle 10 MVA:n uusiutuvan ener-  
gian tuotantolaitosten omistajat ja teollisuuden asiakkaat, joilla on oma keskijän-  
niteliittymä. Järjestelmän tarkoitus ei ole kilpailla suurten yritysten SCADA-järjes-  
telmien kanssa.



## **2 VALVONTAJÄRJESTELMÄ**

### **2.1 Järjestelmän hyödyt toimeksiantajalle**

Järjestelmän tarkoituksena on tarjota asiakkaalle automaattista valvontaa laitteistoihin, joiden huolellinen kunnossapito pidentää niiden käyttöikää ja voi siten säästää kalliilta tuotantokatkoilta.

Järjestelmän avulla asiakas voi itse valvoa laitteiston tilaa tai ulkoistaa valvonnan esimerkiksi huoltoliikkeelle. Valvonnan voi suorittaa myös NEPower Oy, jolloin valvonnan kustannukset lisätään palvelun kuukausihintaan.

### **2.2 Valvontajärjestelmän myynti**

Valvontajärjestelmän myynti suunniteltiin tehtäväksi kuukausimaksullisena palveluna. Tällöin laitteisto ja ohjelmisto pysyvät NEPowerin omistuksessa. Tämän vuoksi esimerkiksi ohjelmistoa suunniteltaessa oli huomioitava tiedostojen salaus ja soveltuvat hallinta-asetukset. Ohjelmisto lukittiin logiikalle, eivätkä ulkopuoliset voi sitä tarkastella tai ladata. Lukituksella paitsi estettiin sen avaaminen ilman tunnuksia, myös lukittiin ohjelma siten, ettei sitä voi käyttää lataamisen jälkeen toisessa laitteessa. Laitteelle ladattiin myös etäyhteyden muodostamiseen tarvittavat sertifikaatit, joita ei voida jakaa asiakkaalle.

### **3 JÄRJESTELMÄN YLEISSUUNNITTELU JA KOMPONENTTIVALINNAT**

#### **3.1 Ohjelmoitava logiikka**

Ohjelmoitava logiikka on pieni laite, jossa on yleensä vakiona muutamia tuloliittimiä ja muutamia lähtöliittimiä. Logiikalle voidaan tehdä oma ohjelma, jossa määritellään, miten logiikka reagoi tulojen tilojen muutoksiin. Logiikoihin voidaan myös yhdistää erilaisia lisäkortteja, jotka tuovat laitteelle uusia ominaisuuksia ohjelmoitavaksi.

Lisäkortit on yleensä rajoitettu toimimaan vain saman valmistajan logiikoiden kanssa, mutta nykyisin kortteja on paljon myös erilaisilla väyläkommunikaatioilla, mikä mahdollistaa eri valmistajien tuotteiden käyttämisen. Logiikoita valmistavat useat yritykset, kuten ABB, Allen Bradley, Phoenix Contact ja Siemens. Logiikoiden yleinen ohjelmointi on standardisoitu, mutta kehitysohjelmassa on eroja valmistajien välillä. Logiikoiden käyttöjännite on lähes aina 24 VDC. Osa logiikoista on rakennettu virtatulokortti sisälle, mutta osa vaatii erillisen virtalähteen.

#### **3.2 Valintojen perusta**

Järjestelmän on tarkoitus olla soveltuva niin uusiin kuin olemassa oleviin kohteisiin, joten laitteiston on oltava helposti kuljetettavissa ja asennettavissa. Kaikki kokoonpano ja testaus oli suunniteltava tehtäväksi yrityksen omissa tiloissa, jolloin työmaalle asennettavaksi jää vain anturit ja mittalaitteet sekä tarvittavat ulkoiset kytkennät. Järjestelmä haluttiin myös suunniteltavaksi soveltumaan kylmiin ja kosteisiin tiloihin, millä oli suuri vaikutus komponenttivalinnoissa.

#### **3.3 Komponenttivalinnat**

Komponenttivalintoja varten luotiin ensin signaalilista, jossa mietittiin kaikki valittavat tilat sekä se, miten tieto tuodaan logiikalle. Iso osa signaaleista oli suoria DC-tuloja, mutta osa tiedoista, kuten energiamittaukset tuodaan väylällä.

Järjestelmän logiikaksi valittiin Siemensin valmistama S7-1200 sarjan PLC, 1214C DC/DC/DC. Mallimerkinnän viimeiset kirjaimet tarkoittavat, että logiikan virransyöttö, tulokanavat ja lähtökanavat toimivat 24 VDC:n jännitteellä. Kyseistä sarjaa on valmistettu jo vuodesta 2009, mutta sen suorituskyky ja I/O-pisteet riittävät järjestelmän valvontojen suorittamiseen, eli tarvetta tehokkaammalle 1500-sarjalle ei ollut [2]. Suurimmat erot 1200- ja 1500-sarjan välillä ovat 1500-sarjan nopeampi ohjelmakiertoaika, suurempi työmuisti, suurempi I/O-määrä (128 vs. 2048) ja mahdollisuus toteuttaa esimerkiksi sekvenssiohjauksia kehitysohjelmiston sisäänrakennetuilla ohjelmalohkoilla.

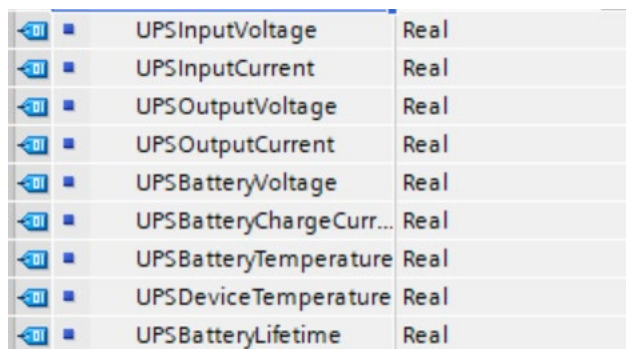
Logiikan valmistajan valintaan vaikutti yrityksen jo omistamat kehitysohjelmistolisenssit sekä logiikan tunnettavuus niin yleisesti, kuin yrityksen sisällä. Näiden lisäksi Siemens on tunnetusti luotettavien logiikoiden valmistaja. Logiikan lisäksi järjestelmään sisältyy myös teholähde, UPS, akut, HMI-paneeli, antureita, tulokortteja, verkkokytin ja kotelo.

Teholähteeksi valittiin Phoenix Contactin PSU-laite, joka kykenee syöttämään 10 A:n jatkuvaa virtaa ja jopa 60 A:n piikkivirtaa. Suurelle piikkivirralle on tarvetta esimerkiksi silloin, kun ohjataan useaa laukaisukelaa samanaikaisesti. Laitteen alin käyttölämpötila on -25°C.

UPS-laitteeksi valittiin Phoenix Contactin UPS-laite ja sen energiavarastoksi Phoenix Contactin oma 1,2 Ah:n akku. UPS-laitteen lisäominaisuutena on ProfiNet-väylä, jonka kautta on mahdollista lukea mm. akun tilaa koskevia suureita. Laitteen alin käyttölämpötila on -25°C.

Akkuvarmennuksella haluttiin varmistaa laitteiston toiminta lyhyissä sähkökatkoissa, joten 1,2 Ah varaus riittää laitteistolle hyvin. Laitteiston huippuvirraksi laskettiin 2,8 A, jolloin akun varaus riittää noin 0,43 h, eli 26 minuuttia täydellä teholla. Järjestelmää testatessa akku kesti jopa 2 tuntia.

Phoenix Contactin UPS-laite ei vaadi, että akku on saman valmistajan, mutta akkuksi valittiin kuitenkin valmistajan oma akku sen ja UPS-laitteen välisen kommunikoinnin takia. Väylä mahdollistaa kuvan 1 mukaisten tietojen keräämisen akulta.



	UPSInputVoltage	Real
	UPSInputCurrent	Real
	UPSOutputVoltage	Real
	UPSOutputCurrent	Real
	UPSBatteryVoltage	Real
	UPSBatteryChargeCurr...	Real
	UPSBatteryTemperature	Real
	UPSDeviceTemperature	Real
	UPSBatteryLifetime	Real

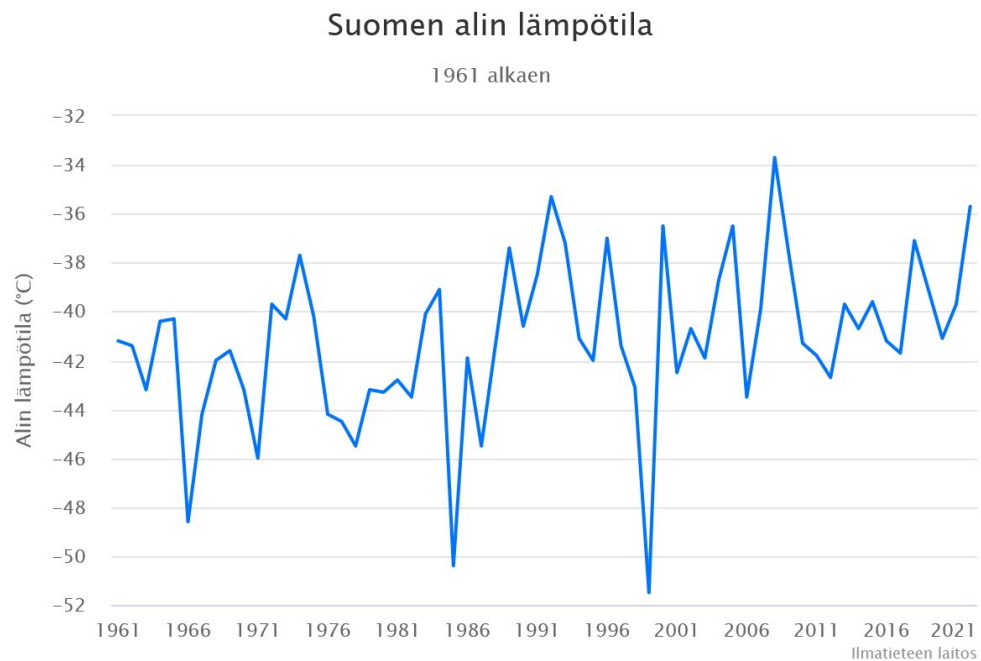
**Kuva 1.** Phoenix Contactin UPS-laitteen väylästä saatavat tiedot.

HMI-paneeliksi valittiin Siemensin 9-tuumainen Basic-sarjan paneeli. Suurin valintaan vaikuttanut tekijä oli paneelin hinta. Vahvana ominaisuutena pidettiin myös sitä, ettei paneelin ohjelmointiin vaadittu erillistä ohjelmistoa, vaan sen pystyi suorittamaan myös TIA Portal -ohjelmistolla, jolla itse logiikan ohjelma tehdään.

Energiamittarin valintaan vaikutti lähinnä sen tarjoama tiedonsiirtoväylä. Phoenix Contact tarjoaa useita versioita, jotka tukevat ProfiNet-väylää. Väylän helppo konfiguroitavuus esimerkiksi ModBus-väylään verrattuna nopeuttaa erilaisten projektien aloitusprosessia huomattavasti.

### 3.4 Käyttölämpötilojen vaikutukset valintoihin

Komponenttien käyttölämpötiloissa oli huomioitava se, että järjestelmä voidaan asentaa kylmiin tiloihin. Kuvasta 2 nähdään, että alimmillaan lämpötila oli Suomessa viime vuonna  $-35,7^{\circ}\text{C}$  [3], joka on kylmempi kuin mitä järjestelmän komponenttien valmistajat ohjeistavat laitteilleen. Tämän takia järjestelmän ohjeistuksiin päätettiin lisätä alin käyttölämpötila, joka määräytyi heikoimman komponentin mukaan.



**Kuva 2.** Suomen alimmat mitatut lämpötilat. [3.]

Logiikan alhaisin käyttölämpötila on -20°C ja suurin käyttölämpötila 60°C. Logiikka siis kestää hyvin kylmiä ja kuumia olosuhteita.

Ambient temperature during operation	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C; Number of simultaneously activated inputs or outputs 7 or 5 (no adjacent points) at 60 °C horizontal or 50 °C vertical, 14 or 10 at 55 °C horizontal or 45 °C vertical
• horizontal installation, min.	-20 °C
• horizontal installation, max.	60 °C
• vertical installation, min.	-20 °C
• vertical installation, max.	50 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-40 °C
• max.	70 °C
Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	

**Kuva 3.** S7-1200 1214C-logiikan käyttölämpötilat. [4.]

HMI-paneeli on Siemens KTP900 Basic, joka on 9” kosketusnäyttö.

Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
Operation (vertical installation)	
— For vertical installation, min.	0 °C
— For vertical installation, max.	50 °C

#### Kuva 4. Valitun HMI-paneelin käyttölämpötilat. [5.]

Paneelin alin käyttölämpötila vaikutti siihen, millaisiin olosuhteisiin paneelin sisältävän järjestelmän voi myydä, joten vaihtoehdoksi kehitettiin järjestelmä, jossa paneeli viedään laitekaapelilla lämpimään tilaan. Laitekaapelin suurin sallittu pituus on Ethernet-kaapeleille normaali 90 metriä, mikä mahdollistaa paneelin viedä kauaskin muista komponenteista.

Virransyöttöä varten oli myös tarkasteltava paneelin käyttöjännitettä. HMI-paneelin alin sallittu käyttöjännite on 19,2 V, jolloin jännitteenalenema kaapelissa saa olla maksimissaan 4,8 V eli 20 %.

Jännitteenalenema laskettiin 2,5mm<sup>2</sup>-kaapelille 90 m matkalle, jolloin virtapiirin laskentapituudeksi tulee 180 m. 2,5mm<sup>2</sup>-kaapelin ominaisresistanssi on 8,77 Ω/km, eli 0,00877 Ω/m. Kaapelin kokonaisresistanssi 180 m matkalle on siis 1,5786 Ω. Jännitteenalenema saatiin kaavalla  $U = 2R * I$ , jossa  $I$  on kuormitusvirta ja  $2R$  on johtimen resistanssi 180 m matkalla. Kaavalla saatiin likimääräinen jännitteenalenema, koska kaava ei huomioi esimerkiksi johtimen lämpötilaa. Jännitteenalenema 180 m matkalla on noin 0,73 V. Tällöin käyttöjännite paneelilla on vielä 23,27 V, joka on hyvin sallituissa rajoissa.

Laitteiden käyttölämpötilat on listattu taulukossa 1. Verkkokytkimen ja HMI-paneelin käyttölämpötilat olivat rajoittavimmat tekijät koko järjestelmän käyttölämpötilaa mietittäessä. Verkkokytkimen ollessa kriittisen tärkeä osa koko järjestelmää, täytyi sen tilalle etsiä toinen malli, jotta koko järjestelmän alimmaksi käyttölämpötilaksi voitaisiin määrittää vähintään -20°C.

Siemensin oman verkkokytkimen tilalle valittiin toisen valmistajan 8-porttinen verkkokytkin. Kyseisellä verkkokytkimellä on laajempi toimintalämpötila-alue.

**Taulukko 1.** Laitteiden alimmat käyttölämpötilat.

Laite	Alin käyttölämpötila °C
TosiBox	-20
PSU ja UPS	-25
S7-1200 PLC	-20
RTD Moduuli	-20
Verkkokytkin	-25
HMI-paneeli	0

Alimmaksi käyttölämpötilaksi siis määritettiin PLC:n ja RTD-moduulin käyttölämpötila -20°C.

## **4 VALVONNAT JA OHJAUKSET**

Järjestelmään valitut valvonnat ja ominaisuudet suunniteltiin toimeksiantajayrityksen rakentamien erikoismuuntamojen tarpeisiin, kuitenkin rajoittamatta järjestelmän sopivuutta muihin jo olemassa oleviin kokonaisuuksiin varaamalla ylimääräisiä digitaalituloja ja -lähtöjä.

Järjestelmä ei sovellu useiden yhtäaikaisten muuntamoiden tai sähkötilojen valvontaan sellaisenaan, mutta erikoistapauksissa se voidaan muokata siihen soveltuvaksi. Joka tapauksessa jokainen kohde tulee vaatimaan järjestelmän konfigurointia kyseisen asennuspaikan vaatimusten mukaiseksi.

### **4.1 Ulko- ja sisäovien tilavalvonta**

Ulko- ja sisäovien valvonta toteutettiin käyttäen ovikytkimiä. Ovikytkimien johdotus viedään kytkimen NC-kärjen kautta, jolloin logiikan tuloliittimen jännitteen ollessa 24 VDC, ovi on kiinni. NC-kärjen käyttö mahdollistaa myös mahdollisen kaapelivaurion havaitsemisen, koska tällöin oven tila logiikassa on auki, vaikka todellisuudessa se on kiinni.

Ovien valvonta mahdollistaa hälytyksien lähettämisen esimerkiksi yöaikaan, jolloin ovien kuuluisi olla kiinni. Ovien tilatieto on tärkeä osa koko laitteiston suojausta mahdollisilta vahingontekijöiltä.

### **4.2 Katkaisijoiden tilavalvonta**

Katkaisijoissa on usein valmiiksi potentiaalivapaat koskettimet, joiden kautta voidaan lukea sen eri tilat. Saatavilla on myös katkaisijoita väyläliitynnällä, jolloin katkaisijan kaikki tilat sekä mitatut suureet saadaan tuotua yhdellä kaapelilla logiikalle. Väylän kautta tilatietojen lukemisen kuitenkin todettiin olevan tapauskohtainen ominaisuus, koska eri valmistajien välillä on suuria eroja siinä, mistä osoitteesta ja mitä väylää pitkin tietoja on saatavilla.



Tilavalvonnat suoritetaan siis pääsääntöisesti tavallisena I/O-tietona. Katkaisijoiden ym. laitteiden eri tilat tuodaan, jos mahdollista, kahdella eri tulolla, jolloin pystytään havaitsemaan myös virheelliset tilatiedot. Tämän haittapuolena on se, että se vaatii kaksinkertaisen määrän tuloja yhtä tietoa valvomaan.

Suurin sallittu katkaisijamäärä rajattiin neljään kappaleeseen sekä kojeistoissa että keskuksissa. Rajoituksen perusteina olivat logiikalla muodostettujen etäyhteysviestien maksimipituus, sekä asennuskotelon tilarajoitukset. Kotelo haluttiin pitää kuitenkin mahdollisimman pienenä.

Katkaisijoiden tilatietoihin kuuluu tavalliset auki- ja kiinni-tilat sekä esim. lauenut-tila. Tieto todellisesta tilasta on tärkeä etävalvonnan kannalta, koska siten siihen osataan reagoida tarkemmin. Pelkkä auki-tila voi tarkoittaa ihan tavallista huoltotoimenpidettä.

#### **4.3 Sisä- ja ulkolämpötila**

Sisä- ja ulkolämpötilan mittaukseen käytetään PT100-antureita. Antureiden lukeman muuntamiseksi lämpötilaksi logiikalle lisättiin RTD-tulokortti, joka mahdollistaa kahdeksan anturin yhtäaikaisen luennan. Kaikki tulot on konfiguroitava kohdekohtaisesti. Kahdeksan tuloa riittää esimerkiksi mittaamaan kolmen eri huoneen lämpötila, ulkolämpötila, kaapin lämpötila ja yhden muuntajan kaikkien käämien lämpötila. Jos tuloja pitää lisätä, on vakio-layoutissa varaa toiselle 8-tulon kortille.

Sisälämpötilan luennan avulla järjestelmällä ohjataan rakennuksen ilmanvaihtoa ja pyritään pitämään lämpötila tarpeeksi alhaisena komponenttien käyttöiän parantamiseksi. Ilmanvaihto voidaan myös asettaa manuaalitilaan, jolloin sen ohjaaminen onnistuu HMI-paneelilta. Lämmityksen ja jäähdytyksen yhtäaikainen ohjaus on ristiinlukittu ohjelmassa.

Logiikan lähtöliittimien suurin virta on 500 mA ja jännite 24 VDC, minkä takia ohjaus on toteutettava 230 VAC apureilla, joissa on 24 VDC kela. Ilmanvaihtopuhaltimet ovat yleensä 230 VAC.

Koska järjestelmä on asennettavissa myös olemassa oleviin rakennuksiin, joiden ilmanvaihtolaitteistosta ei välttämättä ole tarkkaa tietoa, päätettiin nopeussäätö jättää pois. Sen sijaan ohjaus on pelkästään ON/OFF. Nopeussäädön lisääminen vaatii myös lisäkorttien asentamisen.

Lämpötilan mukaan toteutettavassa ohjauksessa on huomioitava lämpötilan mahdollinen heiluminen asetetun raja-arvon molemmin puolin. Tälle rajalle aseteltiin  $\pm 0,2$  asteen hystereesi, jolla estetään apureleen liian tiheä ohjaaminen päälle ja pois.

Ilmainvaihdon ja lämmityksen ohjauksen lisäksi lämpötilamittaus mahdollistaa lämpötilan ala- ja ylärajahälytykset. Laitetiloissa voi olla asennettuna komponentteja, jotka eivät kestä liian alhaisia lämpötiloja. Hälytys tällaisesta tilanteesta voi estää kalliiden komponenttien vioittumisen, kun siihen pystytään reagoimaan nopeasti.

#### **4.4 Paine-eromittaus**

Muuntajatilojen tarvittava ilmanvaihto on yleensä toteutettava koneellisesti. Koneellisen ilmanvaihdon huono puoli on kuitenkin se, että jos se vioittuu, heikentyy myös painovoimainen ilmanvaihto pysähtyneen puhaltimen lapojen takia.

Ilmanvaihdon korvausilmakanavissa käytetään suodattimia. Suodattimien tukkeutessa ilmanvaihdon tehokkuus laskee huomattavasti, eikä esim. muuntaja välttämättä jäähdy enää tarpeeksi tehokkaasti. Paine-eromittauksella pystytään havaitsemaan tukkeutuneet suodattimet ajoissa ja ryhtymään tarvittaviin toimenpiteisiin.

Paine-eroa mitatessa on myös huomioitava tahattomat paine-eron vaihtelut, kuten ulko-oven avaaminen. Tältä vältyttiin poistamalla mittaus silloin, kun ovet ovat auki. Jos kohteessa ei kuitenkaan ole käytössä ovivalvontaa, voidaan vaihtelut myös suodattaa esimerkiksi pitkällä mittausvälillä.

#### 4.5 Eristystasovalvonta

Eristystason valvontaa käytetään usein IT-järjestelmissä eli maadoittamattomissa AC- tai DC-verkoissa. Tällaisessa järjestelmässä jakeluverkko ei ole ollenkaan yhteydessä maahan tai sillä on korkeaimpedanssinen yhteys. Eristystason valvontalaite tarkkailee vaihejohtimen ja maan välistä maadoittamatonta järjestelmää.

Useat laitevalmistajat ovat kehittäneet valvontaa varten laitteita, jotka voidaan asetella kohteelle soveltuviksi. Tavallisesti sallittu impedanssi on 50 kΩ. Halvimmatkin mallit on yleensä varustettu potentiaalivapailla kärjillä, joiden kautta saadaan järjestelmään hälytystieto, jos eristystaso on laskenut liian alhaiseksi.

Eristystason laskiessa valvontajärjestelmä tekee hälytyksen, joka nähdään myös etävalvomossa. Hälytystä varten varattiin myös yksi lähtö, jota voidaan käyttää laukaisukäskynä. Eristystason laskeminen liian alhaiseksi aiheuttaa vikatilanteessa vaarallisia kosketusjännitteitä laitteiston läheisyydessä.

#### 4.6 Valokaarisuojan valvonta

Nykyisin yleisesti käytössä olevissa valokaarisuojissa on potentiaalivapaat koskettimet hälytys- ja laukaisutiedoille. Järjestelmään varattiin kaksi tuloa valvomaan kahden eri suojan tilatietoja.

Myös valokaarisuojien valvonta mahdollistaa oikeanlaisen nopean reagoinnin vikatilanteessa ja siten pienentää jännitekatkoon kuluva aikaa. Valokaarisuojan aktivoituminen tarkoittaa kuitenkin yleensä suurempaa vikaa järjestelmässä, joten nopea reagointi voi auttaa esimerkiksi uusien osien toimitusajan minimoimisessa.

#### 4.7 Muuntajan lämpötilavalvonta

Muuntajan lämpötilavalvonta oli aluksi tarkoitus toteuttaa käyttäen muuntajien sisäisiä antureita, jotka on kytketty muuntajan lämpöreleelle, kytkien logiikka tähän rinnalle. Tässä kuitenkin huomattiin mahdollinen virhe, joka voi väärentää molempien laitteiden lukemaa milliampeeriviestiä, koska rinnakkainkytkennässä virta

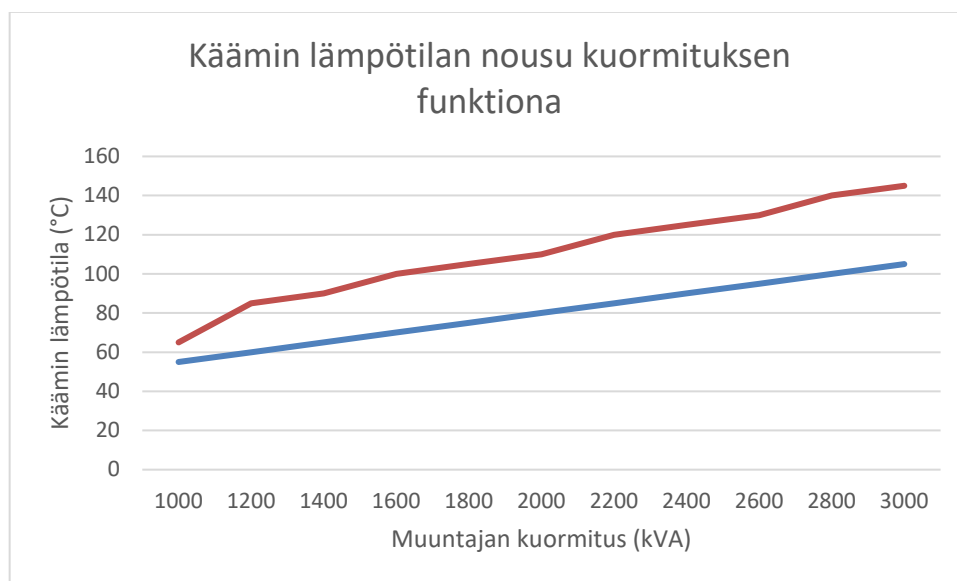
jakaantuu molemmille laitteille, eikä tällöin yksittäinen laite pysty mittaamaan todellista lämpötilaa. Tähän ratkaisuksi etsittiin RTD-signaalinjakajaa, joka tekee yhdestä PT100-signaalista kaksi uutta. Tällaisia jakajia löytyi kyllä useita, mutta niitä ei löydetty Suomesta tai tunnetuilta eurooppalaisilta toimittajilta.

Uusissa kohteissa on mahdollista tilata muuntaja kahdella anturilla käämiä kohden, jolloin lämpötilan lukeminen ei vaadi erillisiä komponentteja RTD-moduulin lisäksi. Muuntajien lämpövalvontareleitä on eri mallisia. Osassa on saatavilla Mod-Bus-väyläliityntä, jonka kautta voidaan lukea muuntajan lämpötila ja muut tilatiedot. Joissain taas saattaa olla yksi 4—20 mA lähtö, jonka kautta saadaan korkein laitteen mittaama lämpötila.

Kohteissa, joissa väyläliityntää tai milliampeeriviestiä ei ole saatavilla, valvonnan toteutus osoittautui vaikeammaksi. Ratkaisuna tähän päätettiin, että kohteisiin tarjotaan väyläliityntäinen lämpövalvontarele.

#### **4.8 Ennakoivan huollon arviointi**

Ennakoivassa huollonarvioinnissa käytetään lähtökohtaisesti historiallista lämpötilatietoa. Esimerkiksi muuntajien lämpötiloja voidaan verrata kuormituksen funktiona aiempiin vastaaviin tilanteisiin.



**Kuva 5.** Esimerkki muuntajan lämpötilaerotuksesta kuormituksessa.

Kuvan 5 mukaisessa tilanteessa on vertailtu muuntajan lämpötilaa tietyssä ulko- ja sisälämpötilassa eri kuormituksilla. Todellisuudessa muuntajan käämin lämpötila ei nouse lineaarisesti kuormituksen kasvaessa.

Muuntajan ennakoivan huollontarpeen arviointi vaatii aina muuntajan tulokentän mittaamisen, jotta voidaan verrata suureita keskenään. Mittaukset lähetetään keskuspalvelimelle ja tallennetaan tietokantaan. Palvelinohjelmisto suorittaa saatujen arvojen perusteella analysoinnin muuntajan tilasta.

Analysoinnissa verrataan tuloksia aiempiin vastaaviin tilanteisiin, jolloin ulko- ja sisälämpötila sekä kuormitus ovat olleet samalla tasolla. Jos muuntajan lämpötila on merkittävästi suurempi, järjestelmä tallentaa tilanteen mahdollisena vikana ja lähettää tiedon valvomoon.

#### 4.9 Huoltokirjat

Huoltokirjoille luotiin oma PDF-lomake, jonka pystyy täyttämään web-sovelluksessa. Huoltokirjat tallentuvat heti järjestelmään, mutta niiden vahvistaminen vaatii kohteessa käymisen. PDF-lomakkeelle luodaan automaattisesti ohjelmassa tun-

nus, joka tulee syöttää kohteen HMI-päätteelle huoltokirjan vahvistamiseksi. Ennen vahvistusta huoltokirjan tila pysyy ohjelmassa keskeneräisenä. Huoltokirjat tallentuvat järjestelmään pysyvästi.

Huoltokirjan tärkeimpiä kohtia ovat päivämäärä, huollon suorittaja ja itse huolto-toimenpide. Huollon kirjaus sovelluksessa tehdään vapaamuotoisella tekstillä, jossa kirjataan tehdyt toimenpiteet ja mahdolliset tarvittavat jatkotoimenpiteet.

Tekstin lisäksi lomakkeeseen voidaan liittää valokuvia todisteeksi suoritetusta toimenpiteestä. Huoltokirjoja voi selailla kaikki käyttäjät, joille on luotu tunnukset järjestelmään ja annettu oikeus kyseiseen kohteeseen.

Huoltokirjojen löytyminen helposti yhdestä paikasta helpottaa uusia huoltoja, koska huoltajan on helppo tarkistaa, mitä kohteessa on aiemmin tehty ja koska esim. nyt huollettava osa on viimeksi korjattu tai vaihdettu.

## 5 JÄRJESTELMÄN HYÖDYT

Järjestelmä tuo erilaisia hyötyjä riippuen tilaajan roolista. Tilaajana voi toimia laitteiston rakentaja, laitteiston haltija, laitteiston huoltaja tai käytönjohtaja.

### 5.1 Laitteiston rakentaja

Laitteiston rakentajalla on aina vähintään kahden vuoden takuuvastuu. Takuun aikana rakentajan velvollisuutena on korjata ilmenneet puutteet ja viat laitteistossa. Rakentaja voi tilaajan suostumuksella asentaa valvontajärjestelmän haltijan tiloihin valvomaan toimivuutta.

Laitteiston rakentaja tässä tapauksessa on usein toimeksiantajayritys, ja tarkoituksena on myydä järjestelmä optiona itse rakennuksen kanssa. Useat NEPowerin toimittamat sähkölaitteilat sisältävät kaikki komponentit, joita järjestelmällä valvotaan.

### 5.2 Laitteiston huoltaja

Laitteiston huoltajalle järjestelmä tarjoaa helpon tavan päästä käsiksi huoltohistoriaan ja -merkintöihin, jotka voivat auttaa uusien vikojen etsinnässä. Huoltajalle järjestelmä tarjoaa myös helpon tavan kirjata uusia huoltotoimenpiteitä.

Huoltohistoriassa näytetään kaikki kohteen huollot siltä ajalta, kun palvelu on ollut käytössä, edellyttäen, että kirjaukset on tehty järjestelmään. Kirjaustapahtumien valvonta jää tässä tapauksessa palvelun ostajalle.

### 5.3 Laitteiston haltija

Sähköturvallisuuslaki vaatii laitteiston haltijaa pitämään laitteiston turvallisena ja huolehtimaan sen ylläpitoon tarvittavasta kunnossapidosta. Käytön tai olosuhteiden muuttuessa haltijalta vaaditaan toimenpiteitä laitteiston turvallisuuden yllä-

pitämiseksi. Järjestelmä tuo haltijalle reaaliaik tietoa järjestelmän tilasta ja mahdollisista ennakoivista huoltotarpeista, mikä edesauttaa vahvasti turvallisuuden ylläpitoa. [6.]

Järjestelmä antaa myös tietoa laitteiston haltijalle laitteistossa suoritetuista huoltotoimenpiteistä. Jokainen huoltokirja on vahvistettava käyttöpaneelilla, jolloin haltijalla on varma tieto siitä, että kohteessa on käyty tekemässä vaaditut huolto- ja korjaustoimenpiteet.

#### **5.4 Käytönjohtaja**

Käytönjohtajan tehtäviin kuuluu valvoa, että laitteisto on sähköturvallisuuslain vaatimassa kunnossa. Laitteiston valvonta ja huoltokirjaominaisuudet tuovat käytönjohtajalle helpon tavan seurata, milloin ja mitä toimenpiteitä vaaditaan.

Ohjelmaan luotiin käytönjohtajan tarkastuslomake, joka tehtiin ST-ohjeisto 12 mukaan. Toimeksiantajayrityksellä oli valmiiksi tähän perustuva tarkastuslista, josta tehtiin verkkoversio. Huoltokirjojen tapaan lomake tallentuu järjestelmään vahvistamattomana, kunnes lomakkeen tunnus on syötetty kohteen käyttöpaneelille.

Kohteissa, joihin ei ole haluttu käyttöpaneelia, vahvistetaan käynti kirjaamalla lomake vahvistetuksi esimerkiksi puhelimella. Sovellus pyytää pääsyn puhelimen sijaintiin ja vertaa sijaintia kohteelle kirjattuun sijaintiin. Sijaintien täsmätessä tarpeeksi lähelle toisiaan, järjestelmä vahvistaa lomakkeen. Kohteissa, joissa on käytössä käyttöpaneeli, lomakkeen vahvistaminen onnistuu ainoastaan kirjaamalla tunnus paneelille.

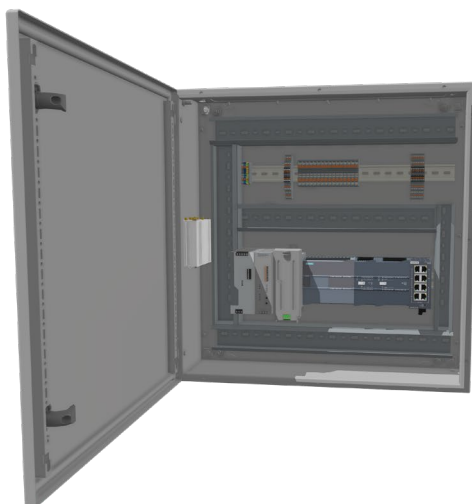


## 6 SUUNNITTELU JA DOKUMENTAATIO

Järjestelmän suunnittelu vaati komponenttivalintojen lisäksi layout- ja piirikaavio-suunnitelmat. Layout suunnittelu toteutettiin 3D-mallintamalla valmistajien omia 3D-malleja apuna käyttäen.

### 6.1 3D-mallinnus

Lähes kaikille komponenteille löytyi valmiit tiedostot valmistajan sivuilta, joten layoutin suunnittelu oli helppoa 3D-ohjelmistolla. 3D-ohjelmisto toi nopeasti esiin mahdolliset tilapuutteet ja risteämät.



**Kuva 6.** Layout 3D-mallinnettuna.

3D-mallinnuksessa kokeiltiin eri vaihtoehtoja johdotuskouruille, joiden mukaan saatiin suurin pituus DIN-kiskoille. Lähes kaikki laitteiston pääkomponentit saatiin mahtumaan alariville ja liitinpakat yläriville. TosiBox voitiin kiinnittää kotelon kylkeen sen pienien mittojen takia.

Tämä layout mahdollistaa järjestelmän tietyillä vakio-ominaisuuksilla. Järjestelmät, joilla halutaan valvoa suurempia kokonaisuuksia, vaativat myös isomman kotelon. Käytetyn kotelon koko on 600x600x210 mm. Tästä seuraava isompi koko on 600x800x210 mm, johon saadaan mahtumaan 200 mm lisää komponentteja.

Suuremman järjestelmän toteuttamiseksi lisättäviä komponentteja ovat RTD-moduulit ja digitaalitulo ja -lähtö-moduulit. Muut komponentit pysyvät vakiona.

## **6.2 Layout-vaihtoehdot**

Järjestelmälle suunniteltiin 3 eri layout-vaihtoehtoa;

Vaihtoehdossa 1 järjestelmän virransyöttö on 230 VAC, jolloin tarvitaan teholähde, UPS ja akku. Kotelona käytetään vakio-ominaisuuksilla 600x600 mm koteloa ja lisäominaisuuksia tarvittaessa on kotelo suurennettava 600x800 mm kokoiseksi.

Vaihtoehdossa 2 järjestelmän virransyöttö tulee ulkoisesta varmennetusta 24 VDC lähteestä. Tällöin teholähde, UPS ja akku, voidaan poistaa kokonaan. Kotelona voidaan käyttää 600x600 mm koteloa, jos halutaan lisätä ominaisuuksia, kuten lisälämpötilamittauksia tai digitaalisignaaleja.

Vaihtoehdossa 3 järjestelmän virransyöttö 230 VAC ilman akkuvarmennusta. Tällöin tarvitaan pelkästään teholähde laskemaan jännitetaso 24 volttiin.

Yllä esitetyt kolme vaihtoehtoa eivät ole koko järjestelmän ainoat toteutustavat, ja tarvittaessa isommat järjestelmät suunnitellaan erikseen.

## **6.3 Piirikaaviosuunnitelmat**

Piirikaaviosuunnitelmat toteutettiin CADS 23 -ohjelmistolla. Piirikaaviot suunniteltiin järjestelmän täysvalvontaominaisuuksilla, eli siten, että kaikki mahdolliset valvonnat ovat käytössä.

Jokainen valvonta- ja ohjausominaisuus suunniteltiin omille sivuilleen, jolloin tuotantoa varten suunnitelmien muokkaus on helpompaa tilaukselle soveltuvaksi. Järjestelmään myös suunniteltiin toimintoa, joka automaattisesti kokoaa oikeat suunnitelmat, kun uusi kohde kirjataan järjestelmään. Toiminto kuitenkin jäi vielä tulevaisuuden kehityskohteeksi.

## 6.4 Johtimet

Johtimien tunnistukseen valittiin käytettäväksi standardin SFS-EN 60204-1:2018 mukaiset johdinvärit. Taulukossa 2 on esitetty järjestelmän johdinvärit.

**Taulukko 2.** Järjestelmän johdinvärit.

Musta	Vaihtosähkö- ja tasasähkötehopiirit, DC +
Punainen	Vaihtosähköohjauspiirit
Sininen	Tasasähköohjauspiirit
Valkoinen	Digitaalisignaalit
Vaaleansininen	DC -
Harmaa	Analogiasignaalit

Johtimina käytettiin poikkipinta-alaltaan 0,75 mm<sup>2</sup> kuparijohtimia.

## 7 OHJELMOINTI

Ohjelmointi suoritettiin TIA Portal V19 -ohjelmistolla. Ohjelmoinnin suurimpia haasteita oli saada etäyhteys MQTT-palvelimelle toimimaan. Muu ohjelmointi oli jo entuudestaan melko tuttua, mutta vaati myös uusia tapoja ohjelman pitämiseksi helposti ylläpidettävänä.

Ohjelmaan piti luoda myös täysin omia toimintalohkoja, joista mm. yksi muodosti MQTT-viestin halutussa formaatissa.

### 7.1 Ohjelman rakenne

TIA Portal -ohjelmisto mahdollistaa eri sivuohjelmien kansioinnin. Tätä ominaisuutta käytettiin hyödyksi ohjelman rakennetta suunniteltaessa.

Ohjelman eri ominaisuudet jaoteltiin niiden toimintaperiaatteen mukaan. Eri toimintaperiaatteita olivat ohjaukset, mittaukset, tilavalvonnat, kommunikointi ja tietokannat. Ohjauksille luotiin omat toimilohkot, jolloin pystyttiin välttelemään ohjelmoinnin yleistä DRY-ohjetta. DRY tulee sanoista Don't Repeat Yourself. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että samalle toiminnolle ei kannata luoda joka kerta uutta lohkoa, vaan hyötykäyttää jo luotu lohko antamalla sille kyseisen ohjattavan laitteen tiedot parametreinä. Tätä ominaisuutta käytettiin esim. lämpötilan mittauksessa. Kyseinen lohko sisälsi mittauksen sekä jäähdytyksen ja lämmityksen ohjaukset, joita voitiin käyttää tarvittaessa.

### 7.2 Etäyhteysviestin muodostaminen

Etäyhteysviesti haluttiin lähettää JSON-formaatissa palvelimelle sen helpon käsiteltävyyden takia. JSON-formaatissa arvot lähetetään yhdessä viestissä, jossa on useita rivejä avain-arvo-pareja. TIA Portal ei sisällä tähän valmista toimilohkoa, joten sellainen oli luotava itse.

S7 1200-sarjan logiikat tukevat maksimissaan 254 merkin pituisia lauseita. Tämän takia ohjelmalohkon sisällä oli ensin muodostettava tarpeellinen määrä lausemuuttujia, joihin yhteensä mahtuu kaikki haluttu tieto. Tämän jälkeen jokainen lause kirjoitettiin taulukkomuuttujaan. Taulukkomuuttuja oli tyyppiä `Array [0...999] of Byte`, joka on MQTT-toimilohkon tukema muuttujatyyppi.

Toimilohkossa aina edellisen lauseen pituus kertoi uuden aloitusindeksin seuraavalle FOR-loopille. Täten kolmesta eri lauseesta saatiin muodostettua yksi viesti.

Kaikkea mitattua ja lähetettävää tietoa ei kuitenkaan saatu tehtyä yhdellä toimilohkolla S7 1200-sarjan omien rajoitusten vuoksi. Toimilohkoille tuotavien parametrien määrä on rajoitettu, mutta esimerkiksi TIA Portal ei edes osannut sitä suoraan virheviestissä sanoa, kuinka moneen. Tämän vuoksi samanlaiset toimilohkot luotiin yleistiedoille, sekä jokaiselle käytettävälle multimittarille. Muodostetut viestit lähetetään vuorotellen. Ohjelma vaihtaa jokaisen lähetetyn viestin jälkeen seuraavaan viestiin dynaamisesti.

### **7.3 Logiikkaohjelman salaus**

Koska järjestelmää myydään kuukausimaksullisena palveluna, oli ohjelmisto salattava ja lukittava logiikalle. TIA Portal -ohjelmistossa on sisäänrakennettuna ominaisuus, joka asettaa logiikalle salasanan ja siten estää ohjelman tarkastelun ja lataamisen toiselle tietokoneelle.

## 8 TIEDONSIIRTO

Järjestelmässä tiedonsiirto toteutettiin ProfiNet-väylällä. Väylän kautta tietoa siirrettiin UPS-laitteelta ja multimittareilta.

Profinet on lyhenne englannin sanoista Process Field Network. Väylä on kehitetty nopeaan tiedonsiirtoon teollisuuden automaatiojärjestelmissä. ProfiNet-liikenne toimii tavallisessa Ethernet-verkossa. Sen etuina on sen avoin standardi, joka mahdollistaa väylän toiminnan useiden eri laitevalmistajien kesken.

Väylä käyttää samanaikaisesti useita kommunikointikanavia. Eri kommunikointikanavia ovat esim. TCP/IP, ProfiNet RT ja ProfiNet IRT.

TCP/IP-kommunikointikanavaa käytetään ei-deterministiseen liikenteeseen, kuten parametrintiin, videon ja äänen siirtoon ja tiedon siirtoon ylempiin IT-järjestelmiin.

ProfiNet RT-kanavan pääte RT tulee sanoista Real Time. Kanavan reaaliaikaisuus toteutetaan ohittamalla TCP/IP-kerrokset kokonaan ja täten pystytään laskemaan tiedonsiirtoon kuluva aika 1–10 ms välille.

ProfiNet-IRT eli Isochronous Real Time-kanava taas painottuu viestiliikenteen synkronointiin, joka on tärkeää esim. liikkeenhallintasovellutuksissa, joissa vaaditaan erittäin nopeaa ohjaus- ja tilatiedon siirtoa logiikalta toimilaitteelle. [7.]

## 9 VIESTILIIKENTEEEN SALAAMINEN JA TIETOTURVA

Viestiliikenne logikoilta MQTT-brokerille ja siitä palvelimelle on salattu TLS-tekniikalla. TLS tulee englannin sanoista Transport Layer Security. Sen pääkäyttökohde on web-palvelimien ja -sovellusten välisen liikenteen salaus. Sitä voidaan käyttää myös muunlaisen viestiliikenteen salaukseen, kuten sähköposteihin, pikaviestiin ja ääniliikenteeseen.

TLS on uudempi ja kehittyneempi salaustekniikka verraten SSL-tekniikkaan. Sen kehitys aloitettiin seuraavana versiona SSL-tekniikassa, mutta nimi vaihdettiin, koska ei haluttu, että se viittaa SSL-tekniikan kehittäjään Netscapeen. [8.]

Liikenteen salaaminen alkaa sekvenssillä, jota kutsutaan TLS-kättelyksi. Kun laite yhdistää palvelimeen, kättely alkaa laitteen ja palvelimen välillä.

Kättelysekvenssin vaiheet etenevät seuraavasti:

1. Määritetään, mitä TLS-versiota käytetään
2. Valitaan, mitä salausohjelmistopakettia käytetään
3. Autentikoidaan palvelimen identiteetti käyttäen palvelimen sertifikaattia
4. Luodaan istuntoavaimet molemmille, laitteelle ja palvelimelle, joiden avulla liikenne salataan [8.]

Kättely suorittaa myös autentikoinnin laitteen ja palvelimen välillä ja ylläpitää sen, kunnes yhteys niiden välillä katkeaa. Autentikoinnissa käytetään julkista avainta, jonka palvelin lähettää laitteelle todentaakseen identiteettinsä. Näissä käytetään yhden suuntaista salausta. [8.]

Kun tieto on salattu ja autentikoitu, sille annetaan MAC-koodi (Message Authentication Code). Tiedon vastaanottaja voi tätä koodia hyödyntäen varmentaa tiedon eheellisyyden. [8.]

TLS-kättely tapahtuu MQTT-brokerille kahdesta suunnasta: laitteilta sekä palvelimelta, jossa ohjelmisto on asennettuna. Näin varmistetaan tiedon salaustaso koko matkalla laitteelta palvelimelle.

Tietoja ei salata tietokantaan siirrettäessä, pois lukien käyttäjien salasanat. Tiedon salaaminen ei tuo lisäarvoa, koska sitä ei suoraan pystytä yhdistämään mihinkään arkaluontoiseen käyttäjätietoon.

Palvelimen tietoturvaa vahvennettiin useilla eri tavoin. Yksi tärkeimmistä palomuurin lisäksi oli SSH-yhteyden salliminen ainoastaan avainpareilla. Tämä estää vahvasti niin sanottuja Brute Force -hyökkäyksiä, joissa hyökkääjä yrittää ohjelmallisesti veikata kirjautumiseen tarvittavan käyttäjätunnuksen. SSH-avainpareilla kirjautuvalta tietokoneelta vaaditaan salasanana lisäksi avaintiedosto, joka on sallittujen avainten listalla palvelimella. Ilman tätä avainta ei hyökkääjä pysty kirjautumaan palvelimeen. Avaimet suojattiin lisäksi myös salasanalla.

Vahva keino Brute Force -hyökkäysten estämiseen on myös asentaa palvelimelle ohjelmisto, joka huomaa tällaiset yritykset ja estää hyökkääjän IP-osoitteen kokonaan.

Avainparin muodostaa kaksi avainta, Private Key ja Public Key. Private Key asennetaan sille tietokoneelle, josta halutaan sallia kirjautuminen palvelimeen. Private Key asennetaan palvelimelle. Kuvat 7 ja 8 esittävät mallia avainparista.



```
ssh-rsa AAAAB3NzaC1yc2EAAAADAQABAAQGCzW29yFmWUyB5JXGvdcZtLzs3y+df71g
LrSG19DnvuB/1nqSjfCsWitV9y/ZekC3z6jTYWgyFZ4Cx27E4zgG6F5nEgk+cd/6mEz+te
Gc9Kfegm+gzFU14iF7RsvIwGi9i4T5M/qgH23DKoKJiH1v3dgtOL7FTN+rvK6DVHhFk35c
4S3xRg8uTJwzfSK0nrV5NBUZY1jMvX00Lw+vuVs4M1sMqFVXtBC7bP6n5zRy1b4PvXrYYV
Ts= example@example.com
```

#### Kuva 7. Public Key-esimerkki.

```
-----BEGIN RSA PRIVATE KEY-----
MIICXAIBAAKBgQCzW29yFmWUyB5JXGvdcZtLzs3y+df71gWjqbi3Hn+o1Mz9g2Nt
DWI4Gq31Lr62ZLp6QzGd4B06W84/J0BrhCjuHcWt5GTPLrSG19DnvuB/1nqSjfCs
witV9y/ZekC3z6jTYWgyFZ4Cx27E4zgG6F5nEgk+cd/6mEz+tegIpAR3U6VIXiwc
b1kWRJUpcsQmWgWwDC7ndj6u8Z00Rq6DUs9NLqoFVnGc9Kfegm+gzFU14iF7RsvI
wGi9i4T5M/qgH23DKoKJiH1v3dgtOL7FTN+rvK6DVHhFk35c4iS3cx6z6F18rypP
F4Vjrw8jNbA0no6HpyhYLMzF8ENokapQ3z/17nvQ4S3xRg8uTJwzfSK0nrV5NBUZ
Y1jMvX00Lw+vuVs4M1sMqFVXtBC7bP6n5zRy1b4PvXrYYVZNw+RPEvk3CwNRJb8v
S9B0x8L8+gAnNTJZ5DrLORpq702nUM9Nt7d/IVTsAoGAA1mJX06/8Zn7yG6pA2k5
JjJv4ysBr8DYwKs09jZIN1j+eU6t81LZsD14cRk7e0UojZ+AhZESbgnBPfoZ4S1Z
0vyuHc1T9wA6L1ev6f19+fVhc0KgU9nq02ziHh4rjgge3B1ywsS+4qIqzyDxPV1q
1ZB5iAc24P8Va1Q2j1fQ1Vk=
-----END RSA PRIVATE KEY-----
```

#### Kuva 8. Private Key-esimerkki.

Avaimet ovat jonoja satunnaisia kirjaimia, numeroita ja erikoismerkkejä. Niiden pituus myös vaihtelee sen mukaan, miten vahva avaimesta halutaan.

Avainparien lisäksi käyttöjärjestelmän pääkäyttäjän kirjautuminen estettiin etäyh-teyden kautta ja sallittiin vain käyttäjille, joilla on heikot oikeudet järjestel-mässä.

## 10 VALVOMO

Valvomo toteutettiin rakentamalla selainpohjainen sovellus, josta näkee kaikkien kohteiden tilat. Palvelinohjelmisto kirjoitettiin käyttäen ohjelmointikielenä NodeJS-kieltä, joka pohjautuu JavaScript-kieleen.

Valvomon toimintojen testaus tapahtui fyysisellä laitteistolla, joka oli asennettu ja ohjelmoitu toimintakuntoon NEPowerin toimistolla.

### 10.1 Ohjelmointi

Ohjelmointikielenä käytettiin JavaScriptiä. JavaScript on yleisesti käytetty verkko-ohjelmoinnissa ja alun perin sitä on käytetty verkkosivujen dynaamiseen muokkaamiseen, sekä erilaisten toimintojen tekoon. Vuonna 2009 julkaistu NodeJS mahdollistaa oikeiden sovellusten tekemisen JavaScript-kielellä. NodeJS on niin sanottu Runtime, joka kääntää JavaScript koodin tietokoneen ymmärtämään muotoon sen ajohetkellä. JavaScript on ohjelmointikielenä helppo oppia ja sitä on helppo ymmärtää.

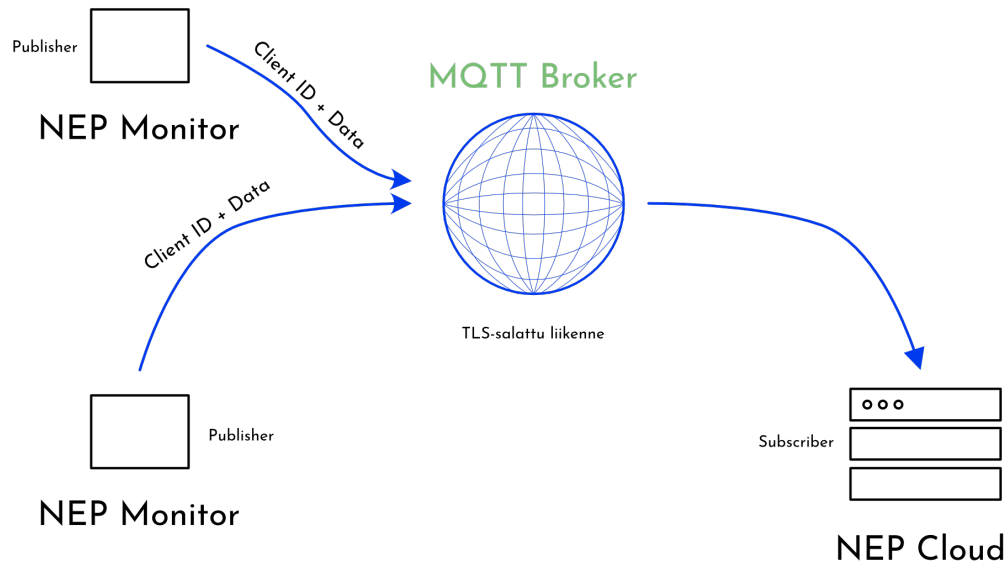
JavaScript ja NodeJS ovat aktiivisessa kehityksessä jatkuvasti. Tämän voidaan todeta siitä, että siihen julkaistaan tiheään tahtiin uusia päivityksiä [9]. Sen suorituskyky ja ominaisuudet parantuvat jatkuvasti, joten se on nykyään suosittu valinta verkkopohjaisten sovellusten tekoon.

### 10.2 Etäyhteys

Etäyhteys logiikalta valvomoon toteutettiin MQTT-tiedonsiirtoprotokollaa käyttäen. Viestiliikenne salattiin TLS-salauksella, joka estää ulkopuolisten pääsyn viestin sisältöön.

MQTT-tiedonsiirtoprotokolla perustuu niin sanottuun PubSub-kommunikointiin, jossa etälaitteet ovat asiakkaita ja palvelin on välittäjä. Asiakkaat julkaisevat viestejä tietylle aihealueelle ja kaikki palvelimeen yhteydessä olevat laitteet, jotka ovat

tilanneet kyseisen aiheen viestit, vastaanottavat ne. Kuvassa 9 on esitetty tietoliikenteen yleiskaavio.



**Kuva 9.** MQTT-yhteys.

Tilaaaja-rooli asetettiin vain keskuspalvelimelle, joten muut verkkoon yhdistetyt laitteet eivät näe toisten laitteiden lähettämiä viestejä.

Tilattavia aihealueita luotiin kolme kappaletta. Aihealueita ovat yleiset, mittaukset ja hälytykset. Jokainen laite lähettää vuorotellen tietyn aihealueen viestin, vaikka esim. hälytyksiä ei olisikaan. Tämä ominaisuus toteutettiin sen takia, että palvelimella voidaan myös valvoa, että viestit tulevat perille. Valvonta toteutettiin viiveillä, joiden aikana saman aihealueen viesti pitää olla vastaanotettu kohteittain, tai järjestelmä asetetaan valvomossa vikatilaan.

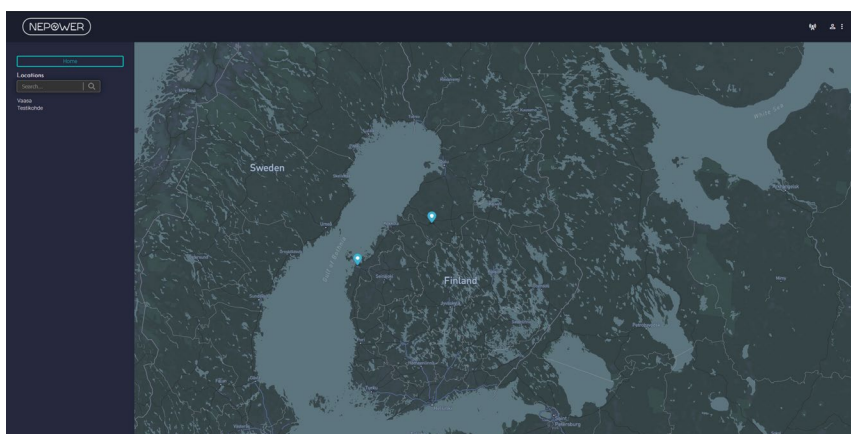
MQTT-palveluntarjoajana päätettiin käyttää Amazon AWS IoT Core -palvelua. Palvelun etuna on automaattinen sertifikaattien luonti, joka mahdollistaa uuden järjestelmän käyttöönoton nopeasti, sekä edullinen hinta.

Viestejä lähetetään yhden sekunnin välein, mikä tarkoittaa, että yksi kohde lähettää yhteensä 86400 viestiä yhden päivän aikana. Viestien hinnoittelu Amazonin-

palvelussa perustuu lähetettyjen viestien määrään ja kokoon. Yksi viesti voi olla 5 kt kokoinen, jolloin esimerkiksi 8 kt kokoinen viesti lasketaan kahdeksi viestiksi.

### 10.3 Valvomonäkymä

Valvomon päänäkyssä kaikki aktiiviset kohteet esitetään kartalla. NEPowerin työntekijöille näytetään kaikki kohteet, mutta yksittäisille käyttäjille vain ne, joihin heille on annettu oikeudet. Kohteen sijaintimerkintää painamalla avataan sen oma kohdesivu, jossa voidaan tarkastella kaikkia valvottuja arvoja.



**Kuva 10.** Valvomon päänäky.

Kohteen omassa näkymässä esitetään kaikki kohteelle konfiguroidut valvonnat. Valvonnat valitaan jo kohdetta rekisteröitäessä järjestelmään.

### 10.4 Palvelinohjelmiston toiminnot

Palvelinohjelmiston tehtävänä on paitsi tallentaa saadut tiedot tietokantaan, myös tehdä analysointia saaduille tuloksille. Jokainen valvontakohte lähettää yhden datapaketin yhden sekunnin välein JSON-formaatissa. Kyseinen formaatti on nopeasti käsiteltävissä arvo kerrallaan ja yksittäisen arvon ollessa rajojen ulkopuolella, voidaan ohjelmallisesti rakentaa sitä vastaava ilmoitus.

## 10.5 Palvelin

Palvelin on vuokrattu suomalaiselta UpCloud-palveluntarjoajalta. Tarjoajan valintaan vaikutti paitsi se, että he ovat lähtöisin Suomesta, myös se, että heillä oli tarjota palvelimia kotimaasta.

Palvelimen aloituskokoonpanoksi valittiin 2-ytiminen prosessori, 4 GB keskusmuisti ja 80 GB tallennustila. Näiden arvioitiin riittävän hyvin testivaiheeseen ja jopa muutaman ensimmäisen kohteen tarpeisiin. UpCloud tarjoaa helpon palvelinskaalauksen, joka mahdollistaa suorituskyvyn parantamisen ilman katkoja.

Jatkoa ajatellen tarjoajalta löytyy Load Balancereita, jotka mahdollistavat liikenteen jakamisen usealle palvelimelle yhden ollessa täydessä kapasiteetissaan. Tämä ratkaisu ei kuitenkaan ole ensimmäinen askel skaalaamisessa, vaan nykyisen palvelimen suorituskyvyn parantaminen lisäämällä prosessointitehoa ja keskusmuistia.

Palvelimelle otettiin myös lisäpalveluna seitsemän päivän varmuuskopiointi. Tämä tarkoittaa sitä, että koko järjestelmästä tallennetaan varmuuskopio kerran päivässä ja säilytetään seitsemän päivän ajan. Tarvetta tiheämmälle varmuuskopiointille ei nähty.

## 10.6 Nykyinen palvelininfrastrukturi

Nykyisessä infrastruktuurissa tietokanta ja palvelinohjelmisto ovat yhdellä palvelimella. Tietokannan ja palvelinohjelmiston asentaminen samalle palvelimelle ei ole hyvä tai suositeltu ratkaisu, koska silloin on vaarana menettää molemmat palvelimen vikaantuessa.

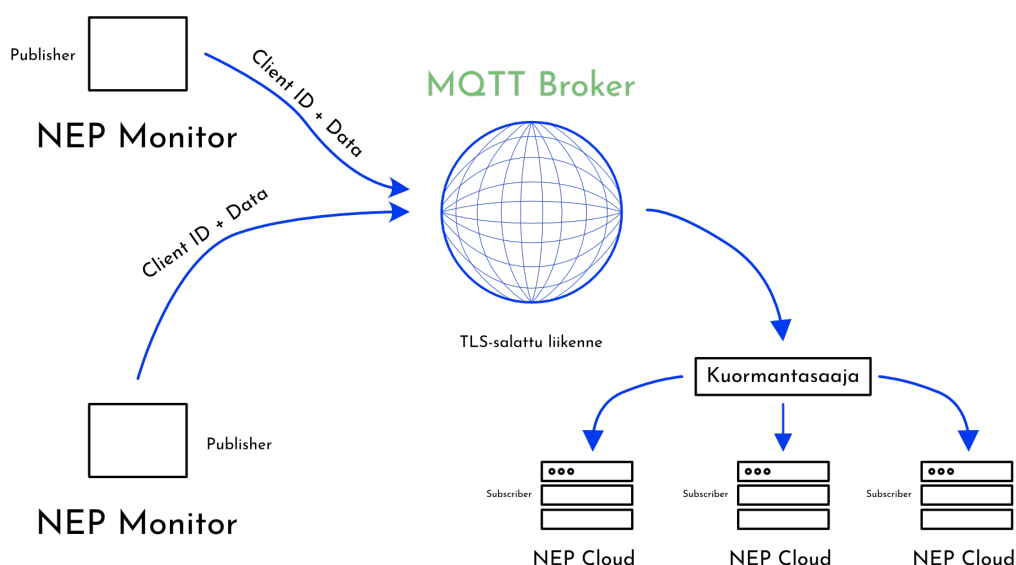
Infrastruktuurin muokkaaminen on kuitenkin helppoa, koska palveluntarjoajalla on siihen työkalut, jotka mahdollistavat lähes katkottoman muokkaamisen. Tietokannan siirto voidaan tehdä taustalla ja aktivoida käyttöön käynnistämällä palvelinohjelmisto uudelleen.

## 10.7 Palvelininfrastruktuurin skaalaaminen

Valvontajärjestelmien lisääntyessä on myös palvelimen suorituskykyä parannettava. Yhden palvelimen suorituskyvyn tarkasteluun valitussa käyttöjärjestelmässä löytyy työkaluja, joita käytetään komentorivin kautta. Yleisesti käytetty suorituskyvyn monitorointityökalu on htop, joka avataan kirjoittamalla sen nimi komentoriville. Työkalulla voidaan reaaliajassa monitoroida järjestelmän resurssien käyttöä.

Skaalaukseen voidaan käyttää kahta erilaista tapaa. Näitä tapoja kutsutaan nimillä pystysuuntainen skaalaus ja vaakasuuntainen skaalaus. Pystysuuntainen skaalaus tarkoittaa nykyisen palvelimen suorituskyvyn nostoa lisäämällä prosessorin suoritustehoa ja keskusmuistin määrää. Tämä ei kuitenkaan loputtomiin riitä, koska esimerkiksi NodeJS-sovellukset käyttävät vain yhtä prosessorin ydintä.

Vaakasuuntainen skaalaus tarkoittaa useiden erillisten palvelinten lisäämistä mukaan infrastruktuuriin. Tällöin jokaisella palvelimella suoritetaan samaa ohjelmistoa, mutta asiakkaiden, tässä tapauksessa MQTT-välittäjän, ja palvelimien välissä on kuormantasaaja, joka ohjaa pyynnöt sille palvelimelle, jolla on eniten vapaita resursseja käytettävissä.



**Kuva 11.** Vaakasuuntaisesti skaalattu palvelininfrastruktuuri.

Vaakasuuntainen skaalaus lisää suorituskyvyn lisäksi koko järjestelmän redundanttisuutta. Vaikka yksi palvelimista kaatuisi kokonaan, muut pitävät järjestelmän toiminnassa.

## 10.8 Tietokanta

Tietokannaksi valittiin MongoDB, joka on niin sanottu dokumenttiorientoitunut tietokanta. Perinteiset tietokannat ovat relaatiotietokantoja, joissa tiedot tallennetaan eri taulukoihin ja riveihin.

MongoDB tallentaa tiedot BSON-formaatissa, joka tulee sanoista Binary Javascript Object Notation. Formaatti on hyvin lähellä logiikan muodostamaa viestiä.

Tiedot tallennetaan kokoelmiin, jotka voidaan vapaasti nimetä kuvaamaan tallennettavaa tietoa. Tiedostokokoelmat voidaan nimetä vapaasti. Tiedostokokoelman rakenne määritellään ohjelmoidessa valmiiksi, mutta sinne voidaan asettaa tiettyille arvoille vapaa muoto, jolloin ohjelman tarkistukset eivät välitä, minkä tyyppistä tietoa tallennetaan. Tietojen tyyppin valinta on kuitenkin tärkeä ominaisuus ja sillä voidaan estää virheellisen tiedon tallentuminen.

Tietokannan ominaisuuksia ovat mm. joustavuus. Joustavuudella tarkoitetaan sitä, ettei tallennettavien tietojen tarvitse noudattaa aina yhtä tiettyä rakennetta. Lisäksi sen tehokkaan indeksoinnin avulla tietokantakyselyjen suorituskky pysyy hyvänä, vaikka haettaisiin suuresta määrästä tietoa. MongoDB on laajalti käytössä erilaisissa sovelluksissa, joissa tarvitaan joustavuutta ja skaalautuvuutta.



## **11 LAITTEISTON TUOTANTO**

Laitteiston tuotanto toteutetaan NEPowerin omissa tiloissa. Tarpeen mukaan järjestelmälle varataan oma alue yrityksen tiloissa, jonne voidaan varastoida yleisimpiä järjestelmään kuuluvia komponentteja.

### **11.1 Tuotantodokumentaatio**

Tuotantodokumentaatioon kuuluu järjestelmän rakennusohje, piirikaaviot ja komponenttilista. Näiden lisäksi kokoonpanoa varten tehtiin kirjallinen ohje, jossa mainitaan yleisimmät asennuksiin liittyvät asiat, kuten komponenttijärjestys ja johdinvärit ja -koot.

Rakennusohjeessa esitetään selkeästi jokaisen komponentin asennuspaikka ja etäisyys. Ohjeessa on myös jokaiselle mittaan leikattavalle osalle mitat, joka mahdollistaa tarvittavien osien nopean valmistuksen.

Koska järjestelmä voidaan asentaa hyvinkin erilaisiin kohteisiin, jää tuotantodokumentaatioon aina myös kohteittain tehtävää suunnittelua, kuten piirikaaviosuunnittelu.

## 12 LAITTEISTON YLLÄPITO

Laitteiston ylläpito vaatii jatkuvaa valvontaa. Tietoturvan, toiminnallisuuksien ja laajennettavuuden ylläpitämiseksi on jatkuvasti pidettävä yllä tieto mahdollisista uhkista ja uusista mahdollisuuksista.

Tietoturvan tuomia riskejä voidaan parhaiten välttää pitämällä keskuspalvelinohjelmisto ajan tasalla korjaamalla mahdolliset haavoittuvuudet mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Kaikki käytetyt ohjelmakirjastot listattiin jo kehitysvaiheessa, jotta niiden seuranta on helppoa ja nopeaa myös jatkossa.

### 12.1 Palvelinohjelmisto

Palvelinohjelmiston ylläpitoon vaaditaan työtunteja joka kuukausi. Tärkeimmät kuukausittaiset tarkastukset sisältävät ohjelmalokien tarkastukset, palvelimen kunnon, levytilan ja kuormitusasteen tarkastukset ja ohjelmistopäivitysten tarkastukset.

Ohjelmiston toteutuksessa käytettyjä ohjelmakirjastoja saatetaan päivittää niiden ylläpitäjien toimesta useinkin, jolloin niiden pitäminen ajan tasalla on tärkeä osa ylläpitoa. Ohjelmakirjastoissa tapahtuu joskus niin sanottuja ”hajottavia” muutoksia, joiden tarkastaminen ennen päivitystä on tärkeää, tai koko ohjelmisto saattaa mennä vikatilaan. Yleensä tällaiset hajottavat päivitykset on selkeästi merkattu päivityksen tiedoissa.

Uusien ominaisuuksien tekemiseen ja testaamiseen riittää Linux-pohjaiselle tietokoneelle perustettu kehitysympäristö. Koko sovellus kaikkine ohjelmakirjastoineen vie hyvin vähän kovalevytilaa ja se on siten helppo myös varmuuskopioida.

Ennen uusien ominaisuuksien siirtämistä julkiseen versioon, täytyy ne testata huolellisesti, jotta vältetään palvelukatkoilta.

## 13 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Järjestelmän kehitysvaiheessa keksittiin useita lisäominaisuuksia palvelun parantamiseksi. Nämä kuitenkin päätettiin jättää kehitettäväksi myöhemmin, kun nykyiset toiminnot on todettu toimiviksi ja sellaisiksi, jotka asiakkaat näkevät arvokkaiksi.

Aiemmin mainittu infrastruktuurin skaalaaminen tulee olemaan myös aihe, johon on perehdyttävä syvällisemmin ja tarkasteltava, miten se saadaan toteutettua myös kustannustehokkaasti. Liian suuri kustannuksien nousu vaikuttaisi suoraan järjestelmän kuukausihintaan.

Jatkuvalla kehitystyöllä tarvitaan siihen soveltuvat välineet ja testiympäristöt, jotka mahdollistavat sujuvan ja helpon työn ja testauksen. Lisäksi mahdolliset ohjelmistopäivitykset, joita järjestelmälle tehdään, on hyvä aina toteuttaa samanlaisessa ympäristössä, jolloin vältetään eroavaisuuksien aiheuttamilta ongelmilta.

Nykyään kovasti kehittynyt ja lisääntynyt tekoäly erilaisissa ohjelmistoissa ja analyyseissä on myös osio, joka halutaan lisätä osaksi järjestelmää tehostamaan toimintojen tehokkuutta ja parantamaan vikojen havaitsemista ja ennustamista.

Myynnin osalta jo kehitysvaiheessa on ilmennyt kiinnostusta järjestelmään eri tahoilta. Myynnin tueksi on tehtävä materiaalia, joka kuvaa selkeästi järjestelmän tuomat hyödyt sen tilaajalle.

## 14 YHTEENVETO

Työn toteuttaminen oli erittäin mielekästä ja palkitsevaa. Toteutuksessa käytettiin paljon jo ennalta osattuja tekniikoita, mutta moni vaihe vaati myös tiedonhakua ja selvittämistä esimerkiksi ohjelmoinnista ja kenttäväylien luennasta. Isoon rooliin pääsi myös se ajattelutapa, että ominaisuuksia tehdessä on tärkeä optimoida kaikkea tekemäänsä sillä ajatuksella, ettei niiden uudelleen tekemisessä toiselle laitteelle kulu paljoa aikaa.

Ohjelma kasvoi myös koko ajan suuremmaksi ja sen ylläpidettävyyden merkitys kasvoi huomattavasti. Tämä oli onneksi tuttua aiemmasta web-ohjelmistokehityksestä. Vaikka ohjelman rakenne oli suunniteltu jo aiemmin, tuli siihen muutoksia vielä työn loppuvaiheilla. Toimilohkoja kategorioitiin suunniteltua paremmin sekä logiikkaohjelmassa, että palvelinohjelmassa.

Työn aikana opittiin paljon erilaisista kenttäväylistä, langattomasta tiedonsiirrosta ja erilaisten kustomoitujen ohjelmalohkojen luonnista. Lisäksi työn aikana isoon rooliin nousi tuotteistaminen ja tuotteen hinnoittelu. Hinnoittelussa oli huomioitava myös mahdolliset omien kustannusten nousut jo ajoissa, jolloin järjestelmän hinta voitiin laskelmoida sopivalle tasolla heti alkuun.

Eri valvontojen toteutukset vaativat selvitystyötä, jossa tutkittiin, miten ja miksi mikäkin valvonta on toteutettava. Esimerkiksi ilmanvaihdon valvonnasta ei juuri-kaan ollut aiempaa kokemusta muuta kuin yleistasolla. Kaikkia valvontoja ei myöskään pystytty toteuttamaan suunnitellulla tavalla, koska siinä ilmeni mahdollisten virheiden riski, joten valvonnalle oli mietittävä vaihtoehtoinen toteutustapa.

Järjestelmän kehitystä tullaan jatkamaan ja ominaisuuksia lisätään enemmän. Lisäksi käyttäjälle tarjottavaa tietoa kohteesta tullaan muokkaamaan vielä laajemmaksi erilaisilla analyysifunktioilla, joiden tarkoitus on antaa entistä tarkempi kuva laitteiston tilasta ja mahdollisesta huollontarpeesta.

## LÄHTEET

1. Nordic Electro Power Oy. Kotisivut. [Internet]. [viitattu 25.2.2024]. Saatavilla: <https://nepower.fi/fi/nordic-electro-power/>
2. Logiikoiden historia. Siemens. [Internet]. [viitattu 15.1.2024]. Saatavilla: <https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/specials/60-years-of-simatic.html>
3. Suomen alhaisimmat lämpötilat. Ilmatieteenlaitos. [Internet]. [viitattu 5.1.2024]. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lampimin-ja-kylmin-paikka-vuosittain>
4. Logiikan datalehti. Siemens. [Internet]. [viitattu 19.1.2024]. Saatavilla: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/255094?pdtd=td&dl=en&lc=en-BE>
5. HMI-paneelin datalehti. Siemens. [Internet]. [viitattu 5.1.2024]. Saatavilla: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6AV2123-2JB03-0AX0>
6. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. [Internet]. [viitattu 15.1.2024]. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>
7. Profinet-tietoliikenneväylä. [Internet]. [viitattu 5.2.2024]. Saatavilla: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/profinet.html>
8. TLS-salaustekniikka. [Internet]. [viitattu 4.2.2024]. Saatavilla: <https://www.cloudflare.com/learning/ssl/transport-layer-security-tls/>

9. NodeJS-Runtime. [Internet]. [viitattu 10.2.2024]. Saatavilla:  
<https://nodejs.org/en>