



# Profibus-väylän mittaus ja toiminnan parantaminen

Ville Kuukkanen

Opinnäytetyö, AMK

Tammikuu, 2023

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

**Kuukkanen, Ville**

## **Profibus-väylän mittaus ja toiminnan parantaminen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tammikuu 2023, 47 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Valio Jyväskylän tehtaan tuotevalmistuksen automaatiojärjestelmän hajauttamiseen on käytetty Profibus-kenttäväylää, jonka toiminnassa on alkanut vuosien saatossa ilmenemään erilaisia häiriöitä. Kenttäväylien kunnonvalvontaa ei ole vuosiin kiinnitetty huomiota ja tuotannon vaatimukset laitteiston luotettavuudelle on kasvaneet. Kenttäväylissä ilmenevät viat ovat usein helposti havaittavissa ja korjattavissa, mutta yhä useammin syyt eivät ole helposti nähtävillä ja näin ollen tarkat toimenpiteet ovat vaikea määrittää. Laitteistojen ikääntyminen tuo mukanaan lisääntyviä häiriöitä ja niiden selvittäminen nopeasti näyttelee entistä tärkeämpää roolia, kun tuotantomäärät muuttuvat. Opinnäytetyössä oli tavoitteena kartoittaa toimeksiantajan väylien yleinen kunto ja parantaa yhden väylän toimintaa mittauksen perusteella määritellyillä toimenpiteillä.

Työssä hyödynnettyyn tietoperustaan on käytetty standardeja sekä eri laitevalmistajien manuaaleja, joiden avulla on selvitetty, kuinka kommunikaatio Profibus-väylässä toimii ja kuinka viat väyläsignaalissa ilmenevät. Työn mittaukset suoritettiin käytössä oleviin järjestelmiin ja vertailussa käytettiin apuna saatavilla olleita aikaisempia mittauksia sekä signaalin vertailukäyriä. Työn vaatimat mittaukset ja korjaustoimenpiteet suoritettiin itsenäisesti.

Työn tuloksena saatiin Valion väylistä yleiskuva sekä kehittämistutkimuksen kohteen toimintaa paremmalle tasolle. Lisäksi työn aikana voitiin havaita ja määrittää toimenpiteitä siihen, kuinka väyliä voi ylläpitää ja valvoa mittaamalla sekä kuinka mittauksia tulee suorittaa tulevaisuudessa. Työssä käytetyn Indu-Sol väylä-analysaattorin käyttöön päästiin perehtymään käytännön mittauksissa todella perusteellisesti ja tätä osaamista hyödynnettiin työn aikana vian selvittämiseen ja korjaustoimenpiteiden määrittämiseen todellisessa vikatilanteessa.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Automaatio, Teollisuusautomaatio, Kenttäväylä, Profibus

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

**Kuukkanen, Ville**

### **Measurements and improving of Profibus fieldbus**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, January 2023, 47 pages.

Electrical and automation engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

Valio Jyväskylä's dairy process automation control system is distributed with Profibus-technology in 2003. System has been working very reliably, but during past years errors has been occurring in random occasion. Maintenance and surveillance have been very low in past years and the expertise of Profibus-network has decreased. For this reason, it has become more and more difficult to detect faults from the fieldbus. Main reason for this is that the number of errors that is hard to detect is rising, because of ageing of components that is controlled with Profibus-network. Troubleshooting is coming more important in daily basics because the production is all the time in change and down time rises the cost of pro-duction. The aim of the thesis was to map the general condition of the Valio's fieldbus-networks and to improve the operation of one fieldbus with measures defined based on measurements.

Different kind of user manuals and standards was used to create the database for this the-sis. Database was created to understand the Profibus-communication and how Profibus-errors is showing in the communication. All measurements that were needed in the work was done in running system and earlier measurements and different signal waveform graphs was used in comparison. All measurements and repairs to improve fieldbus condition was done independently.

As a result of the thesis, an overview of Valio's Profibus-network was obtained and the operation of the object of the development study was improved. During the work, it was possible to detect and determine measures how to maintain and monitor the Profibus-network in the future. All so the thesis tells how the measurements is done correctly. Indu-Sol analyser was used in all measurements, and it became quite familiar instrument during this work. This knowledge was used to find out the fault and to determine measures in real fault situation.

### **Keywords/tags (subjects)**

Automation, Industrial automation, Fieldbus, Profibus

### **Miscellaneous (Confidential information)**

## Sisältö

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>1</b>       | <b>Johdanto</b> .....                              | <b>3</b>  |
| 1.1            | Kenttäväylät teollisuusautomaatiossa .....         | 3         |
| 1.2            | Yritysesittely .....                               | 4         |
| <b>2</b>       | <b>Tutkimuskohteen esittely</b> .....              | <b>5</b>  |
| 2.1            | Tutkimusongelma .....                              | 5         |
| <b>3</b>       | <b>Tutkimusmenetelmät</b> .....                    | <b>6</b>  |
| <b>4</b>       | <b>Prosessinohjausjärjestelmä</b> .....            | <b>8</b>  |
| 4.1            | Valmet DNA .....                                   | 8         |
| 4.2            | Profibus-kenttäväylä .....                         | 9         |
| <b>5</b>       | <b>Työsuunnittelu</b> .....                        | <b>12</b> |
| 5.1            | Mittaustyön suunnittelu .....                      | 12        |
| 5.2            | Mittaussuunnitelma .....                           | 15        |
| <b>6</b>       | <b>Työn toteutus</b> .....                         | <b>16</b> |
| 6.1            | Työn toteutuksen ensihavainnot .....               | 16        |
| 6.2            | Visuaalinen tarkastelu .....                       | 17        |
| 6.3            | Mittaukset .....                                   | 18        |
| 6.4            | Mittausten analysointi .....                       | 19        |
| <b>7</b>       | <b>Ensimmäisten mittausten suorittaminen</b> ..... | <b>22</b> |
| <b>8</b>       | <b>Kehittämistutkimus AP1803</b> .....             | <b>24</b> |
| 8.1            | Muutostoiimenpiteiden määrittäminen .....          | 31        |
| 8.2            | Parannusten jälkeinen mittaus ja analysointi ..... | 33        |
| <b>9</b>       | <b>Tulokset</b> .....                              | <b>37</b> |
| 9.1            | Työn tulokset .....                                | 37        |
| 9.2            | Parannuskohteet ja väylän ylläpito .....           | 39        |
| <b>10</b>      | <b>Pohdinta</b> .....                              | <b>40</b> |
| <b>Lähteet</b> | .....  | <b>43</b> |

## Kuviot

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Kuvio 1. | Valio Oy hallintorakenne .....            | 4  |
| Kuvio 2  | Prosessinohjausjärjestelmä .....          | 8  |
| Kuvio 3. | Multi-master järjestelmän kuvaus .....    | 11 |
| Kuvio 4. | Mono-master järjestelmän kuvaus .....     | 11 |
| Kuvio 5. | OSI-kerrosmalli VS Profibus rakenne ..... | 12 |

|   |    |
|---|----|
| Kuvio 6. 1. sivu Indu-Sol mittausraportista.....  | 14 |
| Kuvio 7. AP1102 kaavio, virheet osoitettu nuolella.....                                   | 17 |
| Kuvio 8. PB-Q one viestiliikenne näkymä.....  | 18 |
| Kuvio 9. Profibus-väylän segmentointi kuvaaja.....  | 19 |
| Kuvio 10. Tarkastussummatavun muodostaminen.....  | 20 |
| Kuvio 11. Väyläkaapeli liian lähellä voimakaapelia.....                                   | 21 |
| Kuvio 12. Väyläkaapeli liian lähellä voimakaapelia.....                                   | 21 |
| Kuvio 13. Valmet DNA vikamäärät AP1803 väylästä.....                                      | 23 |
| Kuvio 14. Väylien jännitetaso vertailu.....   | 24 |
| Kuvio 15. Profibus-häiriödiagnostiikka Valmet DNA piiri.....                              | 25 |
| Kuvio 16. Diagnostiikka viestin kulku Profibus-väylässä.....                              | 25 |
| Kuvio 17. Profibus diagnostiikka viestit Indu-Sol ohjelmistossa.....                      | 26 |
| Kuvio 18. Viestin rakenne. Muokattu.....  | 26 |
| Kuvio 19. Kylmäkeskuksen taajuusmuuttajan liitos Profibus-väylään.....                    | 28 |
| Kuvio 20. Kylmäkeskuksen NJ1SC1 taajuusmuuttajan liitos Profibus-väylään.....             | 28 |
| Kuvio 21. Jännite-ero osoitteesta 2 ylhäällä, vertailukäyrä, normaalimuoto. Muokattu..... | 29 |
| Kuvio 22. Jännite-ero laitteesta 14.....  | 29 |
| Kuvio 23. Kylmäkeskuksen väylän rakenne Indu-Sol ohjelmalla.....                          | 30 |
| Kuvio 24. Valmet AP1803 väylästä havaitut viat.....                                       | 31 |
| Kuvio 25. Kylmäkeskuksen väylän rakenne.....  | 32 |
| Kuvio 26. Jännite-ero taajuusmuuttajassa NJ1SC1.....                                      | 34 |
| Kuvio 27. Jännite-ero väylän päässä.....  | 34 |
| Kuvio 28. Jännite-ero JK02 ollessa seis.....  | 35 |
| Kuvio 29. Jännite-ero kaapelin vaihdon jälkeen.....                                       | 36 |
| Kuvio 30. Profibus-DP päätevastuksen rakenne.....   | 37 |
| Kuvio 31. Valmet DNA historia data ennen DP/DP koplerin vaihtoa.....                      | 38 |
| Kuvio 32. Valmet DNA historia data DP/DP kplerin vaihdon jälkeen.....                     | 38 |
| Kuvio 33. Kylmäkeskuksen DP väyläjännite vertailu.....                                    | 39 |

# 1 Johdanto

## 1.1 Kenttäväylät teollisuusautomaatiossa

Teollisuudessa käytetään useita erilaisia kommunikaatiomenetelmiä prosessinohjaamiseen sekä hajauttamiseen ja yksi näistä menetelmistä on Profibus-väylä. Profibus-tekniologiasta on tullut vuosien saatossa yksi käytetyimmistä kommunikaatio menetelmistä teollisuudessa. (Cordova, P., de Dios Espinoza, J. Muso, P., Robayo, A., & Robayo, C. 2021, 1.) Vuoden 2021 loppuun mennessä Profibus-laitteita oli asennettuna käyttöön 65,9 miljoonaa kappaletta (Profibus 2022). Teollisuuden vaatimukset automaatiolle on muuttunut ja erityisesti turvallisuuden osuus automaatiossa kasvaa. Samaan aikaan valmistajien väliset erot kenttälaitteiden kehittämisessä vaihtelevat ja yhteensopivuus eri valmistajien laitteiden välillä muuttuu jatkuvasti, vaikka yhteensopivuus pyritäänkin varmistamaan. Pitkään käytössä olleiden teknologioiden hyödyt ovat nähtävissä varsinkin luotettavuuden ja toimintavarmuuden osalla sekä laitevalikoiman laajuudessa.

Profibus-tekniologia on kehitetty 1980 loppupuolella ja se on ollut käytössä lähes muuttumattomana siitä lähtien (Reynders, Mackay & Wright 2005, 303). Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Valio Oy:n Jyväskylän tehdas, jossa Profibus-väylät otettiin käyttöön vuonna 2003 ja toiminta on ollut luotettavaa vuosien ajan. Tästä johtuen siihen ei ole kiinnitetty juurikaan huomiota ja luotettavuuden myötä ylläpidon tarve on pienentynyt ja ylläpitoon tarvittavan erityisosaamisen määrä Jyväskylän Valiolla laskenut. Luotettavuus on aiheuttanut myös valvonnan keskeyttämisen, koska siitä saatavia hyötyjä ei tunnustettu ja valvontaan käytettyjä mittauksia tehtiin väärin perustein. Laitteiston laajentuessa ja komponenttien vanhentuessa on päädytty tilanteeseen, jossa järjestelmässä on alkanut esiintymään vikoja, jotka eivät lukeudu yleisiin, helposti löydettäviin vikoihin. Tästä syystä haastavien vikojen löytäminen on vaikeutunut ja osaaminen on yhä useammin hankittava alaan erikoistuneelta palveluntarjoajalta. Markkinoilla on myös saatavilla analyysilaitteita, jotka eivät vaadi peruskäyttöön erityisosaamista ja näillä laitteilla suurin osa vioista löydetään ja saadaan korjattua, mutta jäljelle jää viat, jotka poikkeavat yleensä esiintyvistä vioista ja näiden vikojen löytäminen edellyttää käytetyn teknologian tuntemista ja erityisosaamista.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia toimeksiantajayrityksen Profibus-väylien kuntoa ja tunnistaa siitä määrällisesti merkittäviä vikoja sekä pyrkiä selvittämään niiden syitä ja poistamaan niitä.

Määrällisten tutkimustulosten myötä luotiin pohja kehittämistoimenpiteille, joilla pyrittiin korjaamaan havaittu vika ja samalla osoitetaan toimeksiantajalle, miten väylästä etsitään ja korjataan vikoja mittausten perusteella. Tutkimuksessa käytettiin apuna Profibus-kenttäväylystä kertovaa materiaalia, toimeksiantajan automaatiojärjestelmän keräämää dataa sekä Indu-Sol PBQ-one -väyläanalyysointia. Työssä kartoitettiin samalla laitteiston nykytila, jonka avulla voidaan ylläpitää ja valvoa laitteiston kuntoa myös tulevaisuudessa.

## 1.2 Yritysesittely

Valio on Suomen suurin meijerituotteita valmistava yritys ja markkinajohtaja myös Baltian maissa. Valion strategiaan kuuluu visio, olla edelläkävijä maito- ja elintarvikealan innovatiivisissa ratkaisuissa. Yrityksen arvoihin lukeutuu voimakkaasti vastuullisuus, joka näkyy myös brändin saamisessa peräkkäisissä Vastuullisin brändipalkinnoista. Arvoihin lukeutuu myös asiakaskeskeisyys, uudistuminen ja yhteistyö. Valion Oy:n omistaa Suomalaiset maidontuottajat osuuskuntien kautta ja kaikki tuotot maksetaan maitotilayrittäjille maitotuotona. Osuuskuntiin kuuluu kaikkiaan 4 000 maitotilaa. Valio Oy:ssä on kaikkiaan kolmetoista osakasta ja osakkeiden lukumäärä on 48 681 kappaletta. (Hallituksen toimintakertomus ja tilinpäätös 2021, 2.)



Kuvio 1. Valio Oy hallintorakenne (Hallituksen toimintakertomus ja tilinpäätös 2021).

Valio-konsernin liikevaihto vuoden 2021 tilinpäätöksen mukaan oli 1,9 miljardia euroa ja kasvua vuoteen 2020 verrattuna oli 6,1 prosenttia. Kotimaassa liikevaihto kasvoi hiukan, kun taas ulkomailla liikevaihto laski. Liikevaihdosta maitokatetta oli 862 miljoonaa ja maitotuotto vuonna 2021

oli keskimäärin 43,7 senttiä litralta. Vuonna 2021 Valio konserni työllisti 4518 keskimäärin, joista noin 3317 henkilö työskentelee Suomen emoyhtiössä ja ulkomaisissa tytäryhtiöissä työskenteli 1028 henkilöä. (Hallituksen toimintakertomus ja tilinpäätös 2021, 5-6.)

## 2 Tutkimuskohteen esittely

Valion Jyväskylän tehtaan tuotevalmistuksen prosessinohjausjärjestelmänä käytetään Valmet DNA automaatiojärjestelmää ja hajauttamiseen on käytetty Profibus-väylää sekä AS-i väyliä ja etä-I/O järjestelmiä. Maidonvalmistukseen käytetyistä laitteista osassa on oma PLC, jota ohjataan kättelyiden kautta Valmet DNA järjestelmällä. Valio Jyväskylän maidonvalmistusprosessi on modernisoitu 2000-luvun alkupuolella ja tuon jälkeen prosessiin on tehty lukuisia muutoksia ja laajennuksia. Laitteiden määrä on lisääntynyt ja tämän myötä prosessin sähkökeskusten määrä on kasvanut, mutta modernisoinnin yhteydessä asennetut keskuksat ovat pysyneet pääosin muuttumattomina samoin kuin suurimmat maidonmuokkauslaitteet.

Muutosten yhteydessä kenttäväyliä on lisätty ja toisia väyliä laajennettu riippuen laajennuksen sijainnista ja suuruusluokasta. Mikäli olemassa olevassa väylässä on ollut tilaa osoitteiden osalta, on kyseessä olevaa väylää voitu jatkaa haluttuun kohteeseen. Jos taas prosessin laajennus on ollut suuri tai selkeästi oma kokonaisuutensa, on sille voitu rakentaa kokonaan uusi väylä. 2000-luvun alkupuolen modernisoinnin yhteydessä väyliä rakennettiin yksitoista kappaletta ja tänä päivänä väyliä on kaksikymmentäyksi kappaletta.

### 2.1 Tutkimusongelma

Tuotannon ohjaukseen käytetty hajautettukenttäväylä sallii laitteesta riippuen muutamien sekuntien kommunikaatio katkoksen. Tuon määrätyn ajan ylittäminen saattaa laitteen niin kutsuttuun "safe state" tilaan, joka on ennalta määritetty tuote- sekä henkilöturvallisuuden kannalta turvallinen tila. Turvalliseen tilaan siirtyessä laitteisto voi muuttaa tilaa, joka tarkoittaa, että venttiilin asento voi muuttua tai pumppu voi pysähtyä, riippuen siitä onko prosessi seis, tuotannossa, pesussa tai jossain muussa tilassa. Yleensä tämä muutos tarkoittaa tuotannollista häiriötä, joka aiheuttaa katkoksen sekä tuotantoajan menetyksen sekä kasvattaa suoraan tuotannon kuluja. Kulujen kasvaminen johtuu vedenkulutuksen sekä energiankulutuksen kasvusta, joka aiheutuu laitteistojen pesuista sekä ylös ja alas ajamisesta.

Kommunikaatiokatkoksista johtuvia tuotantohäiriöitä tapahtuu historiadatan perusteella kerran kuukaudessa tai useammin ja häiriöiden vaikutusalue vaihtelee hiukan sen mukaan mihin laitteisiin häiriö kohdistuu. Valmet DNA järjestelmän ominaisuuksiin kuuluu laaja tiedon keruu, jonka perusteella voidaan tunnistaa häiriöitä ja vikoja järjestelmästä. Historian selaamista voidaan tehdä Valmet DNA -raportin avulla, jolla voidaan suodattaa dataa kaikesta kerättävästä prosessidatasta. Kommunikaatio katkoksiin syyt voivat olla inhimillisiä virheitä, kuten asennusvirheet, merkintäpuutteiden tai -virheiden aiheuttama sekaannus tai vaihtoehtoisesti laitteesta tai ulkoisesta lähteestä tuleva häiriö. Inhimillisten katkosten syy saadaan yleensä nopeasti selville, koska prosessi-automaatioon kohdistuvat työt ovat resursoituja ja tarkkaan hallittuja. Usein kuitenkin katkoksen syy ei ole tarkkaan selvillä ja vika on usein lyhyiden katkosten sarja, jonka pituus on ennalta arvaamaton. Voidaan yleisesti todeta, että tunnistamaton vika tulee aaltolina, jonka pituus vaihtelee hetkellisestä katkosta pidempään katkokseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää mittaamalla, dokumentaation avulla ja historiaa selaimalla missä väylässä vikoja esiintyy eniten ja suorittaa valikoituun väylään tarkempia tutkimuksia. Tutkimuksen tulosten perusteella suoritetaan parannuksia kyseiseen väylään. Toissijaisesti tavoitteena on esittää työn avulla toimeksiantajalle, miksi Profibus-väyliä kannattaa ylläpitää mittaamalla ja miten väyliä voidaan ylläpitää. Työ sisältää myös yleisesti suositeltavia toimenpiteitä ylläpidon helpottamiseksi. Työtä varten on tutustuttu muun muassa Valio Jyväskylän Valmet DNA järjestelmän Profibus-väylän hälytyslogiikkaan sekä siihen liittyvään aineistoon. Lisäksi työssä on käytetty apuna laitevalmistajien dokumentaatiota sekä eri lähteistä löytyviä Profibus-väylää käsitteleviä aineistoja, jotka ovat edesauttaneet ongelmien ratkaisussa ja toiminnan ymmärtämisessä.

### **3 Tutkimusmenetelmät**

Työ tehdään kehittämistarkoituksessa ja tästä syystä kehittämistutkimus on työn pääasiallinen tutkimusmenetelmä. Kehittämistutkimuksen apuna tulosten tulkitsemiseen käytetään muitakin tutkimusmenetelmiä. Tässä tapauksessa apuna käytetään kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Kvantitatiivisella menetelmällä suodatetaan mittaustuloksista kohde, jonka toimintaa pyritään kehittämään ja mittaamaan tarkemmin. Kerrotaan, että kvantitatiivisella eli määrällisellä tutkimusmenetelmällä saa vastattua kysymykseen, miten paljon ja miten usein, jokin ilmiö esiintyy. Menetelmällä voidaan siis tehokkaasti kuvata muuttujien suhdetta ja eroa toisiinsa nähden. Määrälliselle tutkimukselle on ominaista, että tutkimuksessa käsitellään numeroita, joita suodattamalla ja

ryhmittelemällä voidaan kuvata erilaisten ilmiöiden suhdetta toisiinsa. Määrällistä tutkimusta voidaan käyttää myös vaativammissa tutkimuksissa, jolloin käsitteet muutetaan yksinkertaiseen muotoon ja tutkittavat kohteet vakioidaan, jotta mittauksen tuloksista voidaan muodostaa tutkintaa edistäviä lukujoukkoja. (Vilka 2007, 13–15.) Voidaan todeta, että määrällinen tutkimus perustuu suureen määrään lukuja, joita analysoimalla saadaan aineistoa, jonka avulla voidaan muodostaa yleiskuva tutkittavasta kohteesta (Vilpas n.d.).

Määrälliseen tutkimukseen liittyy olennaisesti mitattavan ilmiön tunnistaminen, mitattava suure, mitta-asteikko, luokittelu asteikko sekä itse mittaustapahtuma. Edellä mainittujen asioiden avulla tutkimuksen mittaustuloksia voidaan jäsenellä ja järjestellä. Nämä asiat on tunnettava ennen mittausten suorittamista riittävän hyvin, jotta tutkimus on objektiivista. (Mittaaminen n.d.) Voidaan siis todeta, että määrällinen tutkimus edellyttää tiettyjä esitietoja, jotta tutkimus voidaan tehdä.

Kehittämistutkimuksen merkittävin piirre on, että sillä pyritään aiheuttamaan muutos tutkittavan kohteeseen (Kananen 2015, 39). Tässä tapauksessa tutkimuskohde on Profibus-kenttäväylä ja haluttu muutos on häiriöiden vähentäminen, jolla pyritään aiheuttamaan toiminnan parantuminen. Kehittämistutkimukseen kuuluu mittaamisen ja analysoinnin lisäksi kehittämistoimenpiteitä, joilla pyritään aikaansaamaan mitattava muutos. Mitattavan muutoksen avulla voidaan vertailemalla tehdä johtopäätös siitä, onko muutosta tapahtunut ja onko muutos halutunlainen. (Kananen 2015, 40, 41.)

Muutoksen aikaansaamiseksi on määriteltävä toimenpiteitä, joilla pyritään haluttuun lopputulokseen. Toimenpiteitä määrittäessä on pystyttävä tunnistamaan ongelma sekä haluttu lopputulos tutkimuskysymysten avulla, joilla pyritään edesauttamaan ongelman ratkaisua. Tässä työssä tutkimuskysymyksiä ovat: Mikä väylä on heikoimmassa tilassa? Mistä heikoimman väylän tila johtuu? Millä toimenpiteillä väylän tilaa saadaan parannettua? Usein ongelman tunnistaminen vaatii tutkimusta, jotta ongelman todellinen syy saadaan selville ja näin ollen se on yleensä kehittämistyön vaativin vaihe. Myös toimenpiteiden toteuttaminen on yleensä vaativa tapahtuma, varsinkin tapauksissa, joissa toimenpiteen vaikutusta ei voida ennalta todeta vaan vaikutus havaitaan vasta

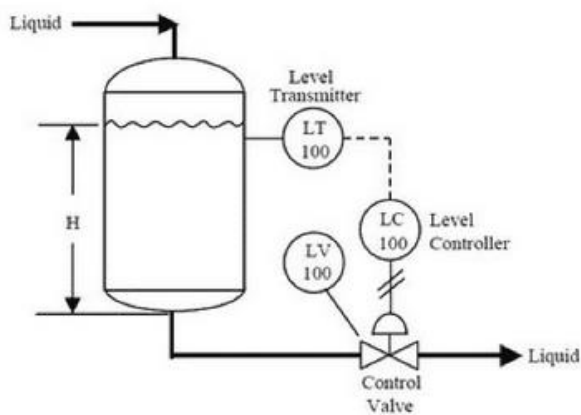
muutoksen jälkeen tehtävissä mittauksissa. Muutoksen vaikutukset tulee aina todentaa mittamalla ja vertaamalla tuloksia muutoksia edeltäneeseen tilaan, jolloin vaikutukset pyritään saamaan selkeästi nähtäville. (Kananen 2015, 48-50.)

## 4 Prosessinohjausjärjestelmä

### 4.1 Valmet DNA

Prosessinohjauksella tarkoitetaan kykyä mitata ja säätää systeemiä haluttuun tilaan ja yksinkertaisimmillaan tällainen systeemi voi koostua lämmittimestä sekä termostaatista, joilla tuotetaan haluttu lämpötila huoneeseen. (What is Process Control? 2022.) Edellä mainittu järjestelmä ei ole tarkka, koska lämpötilaa ohjataan ylä- ja alarajan mukaan, jolloin systeemissä on pysyvä poikkeama. Mainitulla systeemillä on hyvin vähän säätömahdollisuuksia, mutta sillä voidaan tuottaa haluttu lopputulos kyseessä olevaan järjestelmään.

Prosessinohjausjärjestelmällä voidaan toteuttaa monimutkaisempia kokonaisuuksia, joissa yhdistyy useita säätöjä ja mittauksia halutun lopputuloksen tuottamiseksi. (What is Process Control? 2022) Prosessinohjausjärjestelmällä tuotetaan usein myös tason yksi turvallisuus ominaisuuksia, joilla pyritään estämään systeemiä saavuttamasta kriittistä tilaa. Yksi prosessinohjausjärjestelmän tärkeimmistä ominaisuuksista on energiatehokkuuden parantaminen turvallisuuden lisäksi. (Basic Process Control Systems n.d.)



Kuvio 2 Prosessinohjausjärjestelmä (STI Automation, n.d.)

Valiolla on käytössä Valmet DNA -automaatiojärjestelmä, joka on tyypiltään hajautettu ohjausjärjestelmä (Distributed Control System). Hajautetulla ohjausjärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolla voidaan ohjata suuria automaatiojärjestelmiä, joissa on paljon ohjausta ja valvontaa vaativia kohteita. Valmet DNA -järjestelmää voidaan hyödyntää monilla eri toimialoilla ja sillä voidaan suorittaa yleisimmät prosessiteollisuuden ohjaus- ja hallintatoimenpiteet, kuten ohjaukset, kunnon- sekä laadunvalvonta sekä raportointi. (Valmet DNA Automation System 2022.)

## 4.2 Profibus-kenttäväylä

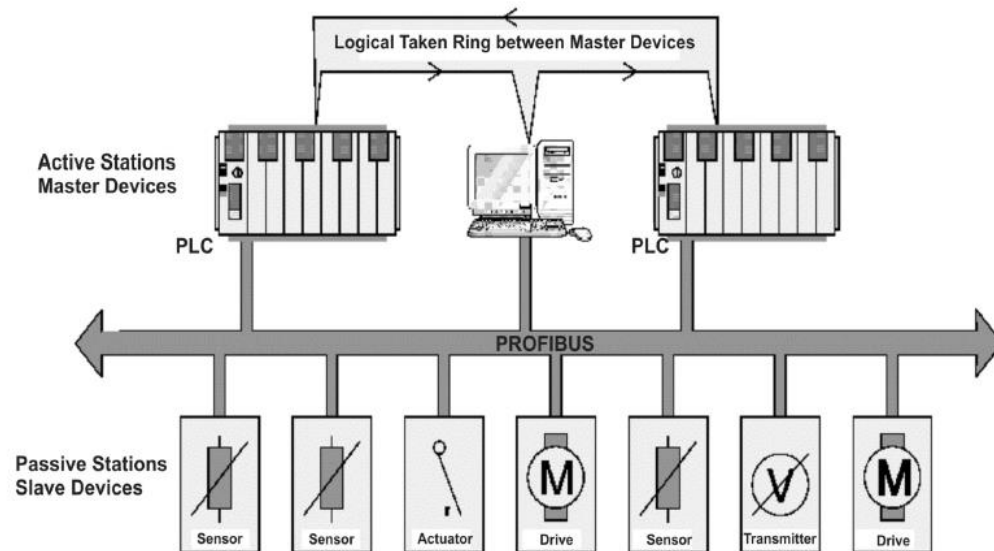
Profibus-kenttäväylän (Process fieldbus) viestiliikenne perustuu standardiin IEC 61158 type 3 ja fyysinen kenttäväylä on rakennettu RS-485 standardin mukaisesti. Standardi IEC 61158 tyyppi 3 määrittelee aikakriittisen viestiliikenteen ominaisuudet, jotka tulee suorittaa riittävällä varmuudella asetetussa aikaikkunassa. Aikakriittisellä tarkoitetaan tapahtumaa, jonka viipyminen voi aiheuttaa vaaraa tai haittaa ympäristöön suoraan tai välillisesti. (IEC 61158:3 2014, 8.) Standardi käsittelee tyyppi 3 kenttäväylien primitiiviset tapahtumat ja niihin liittyvät muuttujat sekä parametrit, kuten myös edellä mainittujen muuttujien suhteet toisiinsa nähden. Lisäksi standardissa on määritelty rajapinnat muihin järjestelmäkerroksiin sekä ulkoisiin järjestelmiin. (IEC 61158:3 2014, 18.) Profibus-kenttäväylä voidaan jakaa kahteen erityyppiseen rakenteeseen, jotka Profibus-DP ja Profibus-PA. Molemmat tyypit noudattavat samaa tietoliikenne standardia, mutta PA-väylässä kommunikaatio ja laitteen vaatima jännite jaetaan samassa johtimessa. PA-väylän liittämiseksi osaksi Profibus-DP -väylää tarvitaan yleensä komponentti, joka hidastaa väylän nopeuden sopivalle tasolle ja jakaa jännitteen PA-laitteille. (Reynders ym. 2005, 304).

RS-485 standardi määrittelee viestiliikenteeseen käytettävän teknologian ominaisuudet, jolla välitetään esimerkiksi IEC 61158: type 3 mukainen viesti. RS-485 kenttäväylää voidaan käyttää yhdessä muidenkin viestiliikennestandardien kanssa, mutta Profibus-väylän tapauksessa käytetään edellä mainittua viestiliikennestandardia. RS-485 kenttäväylä mahdollistaa erilaisia väylärakenteita, jotka voidaan toteuttaa yhdellä (half-duplex) tai kahdella parikaapelilla (full-duplex). Erona näillä on, että yhdellä parikaapelilla toteutettu väylä sallii lähettämisen ja vastaanottamisen eri aikaan, kun kahden parikaapelin järjestelmässä viestit kulkevat omissa kaapeleissa ja näin ollen yhtäaikainen vastaanaminen ja lähettäminen on mahdollista. Lisäksi RS-485 mukainen signaali sietää hyvin häiriöitä ja tästä syystä se on toimintavarma väyläteknologia. (Kugelstadt n.d.) Näin ollen

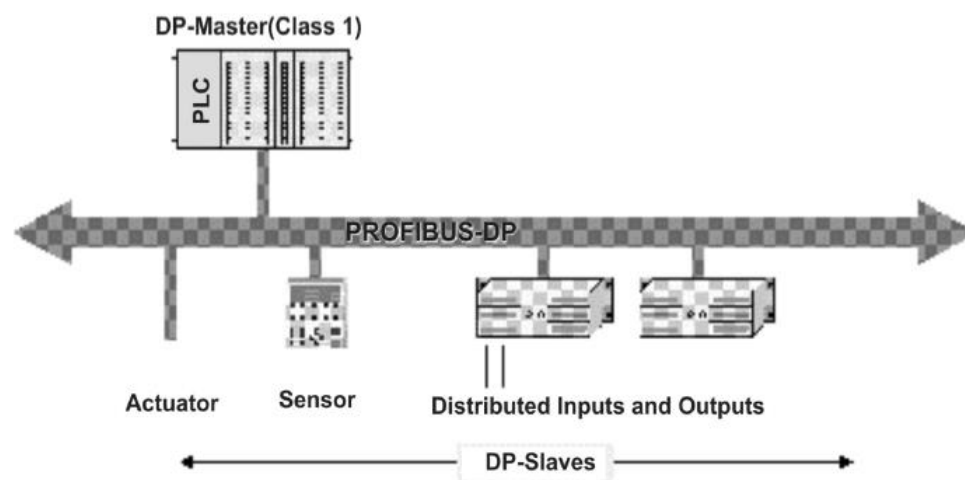
Profibus-kenttäväylässä yhdistyy viestiliikenteen määrittelevä sekä fyysisen kenttäväylän määrittelevä standardi. Lisäksi toteutukseen on olemassa suuri määrä erilaisia ohjeita ja suosituksia.

Profibus on yleisesti käytetty tiedonsiirtomenetelmä, jonka toiminta perustuu standardeihin, joiden ylläpidosta vastaa Profibus Trade Organization. Edellä mainittu organisaatio vastaa myös muiden Profibus -väylää määrittelevien standardien ylläpidosta, joihin kuuluu myös RS-485-standardi. Profibus-laitteiden fyysinen liitos voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla ja kaikkiaan yhteen väylään voidaan liittää 125 laitetta. Kaikkiaan Profibus-väylässä on 127 osoitetta, joista osoite 126 on määriteltä tyhjäksi ja osoitetta 127 käytetään kaikille laitteille tarkoitettuihin viesteihin. Tyhjää osoitetta 126 käytetään esimerkiksi uuden laitteen liittämiseksi väylään, jolloin laite näkyy väylässä ja kommunikoi, mutta ei vaikuta väylän muiden laitteiden toimintaan. Fyysisen kenttäväylän rakenteen tulee noudattaa tiettyjä ehtoja, joilla määritellään väylänpituuksia ja laitemääriä segmentissä. Ohjeilla varmistetaan kenttäväylän luotettava toiminta kaikissa olosuhteissa ja ympäristöissä. (Reynders ym. 2005, 304–305.)

Reyders ym. (2005, 304.) kertoo myös, että Profibus-väylä tukee kahdenlaisia laitteita, jotka ovat master- ja slave-asetat, joiden tehtävät ja ominaisuudet eroavat toisistaan. Master-asema ohjaa väylää ja kontrolloi viestiliikennettä väylässä. Kyseisen aseman toiminta väylässä on aktiivista. Kuviossa kolme on kuvattu väylä, jossa on useita master-asemia, joista vain yksi kerrallaan voi olla aktiivinen. Näitä järjestelmiä kutsutaan multi-master järjestelmiksi ja niissä mastereiden vuoroja jaetaan token-renkaan avulla, jonka toiminta on määriteltä standardissa IEC 61158: tyyppi 3. Kuviossa neljä on kuvattu yhden masterin järjestelmärakenne, joka on käytössä Valion automaatiojärjestelmässä. Slave-asetat ovat kenttälaitteita, kuten lähettimiä, asennontunnistimia, yms. laitteita, joissa tarvitaan suurta määrää dataa. Slave-asetat ovat passiivisia, jolloin ne vastaavat ainoastaan masterin pyynnöstä.



Kuvio 3. Multi-master järjestelmän kuvaus (Reynders ym. 2004)



Kuvio 4. Mono-master järjestelmän kuvaus (Reynders ym. 2004)

Profibus-kenttäväylän rakenne kuvataan usein OSI-mallin mukaisena 7-kerros rakenteena, jossa ensimmäisenä on fyysinen kerros, joka perustuu RS-485 standardiin. Toinen kerros on Data-link kerros, jossa tapahtuu varsinaisen väylän datan käsittelyä, johon kuuluu esimerkiksi viestin sisällön tarkistaminen ja kommunikaatio slave-asemien kanssa. Toisessa kerroksessa toimii myös master-asetat, jotka välittävät dataa seitsemänteen eli applikaatio kerrokseen. OSI-mallin kerrokset 3–6

eivät ole käytössä Profibus-kommunikaatiossa. Edellä mainitun poikkeuksen lisäksi on olemassa kahdeksas kerros, jossa toimii niin kutsutut käyttäjät eli ohjelmat, joilla tarkastellaan ja muokataan dataa Profibus-väylään. (Profibus System Description 2016, 3.) OSI-malli on ISO-standardin mukainen tapa esittää tietoverkkojen protokollien liityntää sen muihin osiin. OSI-mallissa on protokollat ovat kuvattuna kerroksina, jotka välittävät tietoa seuraavaan kerrokseen. (OSI- ja TCP/IP mallit 2022.)

|   | User program       | Application profiles   |
|---|--------------------|--|
| 7 | Application Layer  | PROFIBUS DP Protocol (DP-V0, DP-V1, DP-V2)                             |
| 6 | Presentation Layer | Not used   |
| 5 | Session Layer      |  |
| 4 | Transport Layer    |  |
| 3 | Network Layer      |  |
| 2 | Data link Layer    | Fieldbus Data Link (FDL):<br>Master Slave principle<br>Token principle |
| 1 | Physical Layer     | Transmission technology  |
|   | OSI Layer Model    | OSI implementation at PROFIBUS   |

Kuvio 5. OSI-kerrosmalli VS Profibus rakenne (PROFIBUS Nutzerorganisation e. V., 2016)

## 5 Työnsuunnittelu

### 5.1 Mittaustyön suunnittelu

Työnsuunnittelun tavoitteena on luoda selkeä kuva siitä, kuinka Profibus-väylän vikaa voidaan hakea systemaattisesti analysoimalla väylää mittalaitteen avulla. Mittalaitteena voidaan käyttää tarkkoja analyysilaitteita tai yleismittaria. Mittaamalla pyritään saamaan tutkittava ilmiö sellaiseen muotoon, että sen tutkiminen mitta-asteikon avulla on mahdollista. Tämän lisäksi voidaan todeta, että itse mittaustapahtuman lisäksi kaikki vertailu mittaustulosten välillä on mittaamista, jolla muodostetaan eroja tutkimuksen edistämiseksi. (Vilka 2007, 16). Tämän tutkimuksen alussa ha-

vaittiin, että uudisasennuksista ei ollut saatavilla mittauksia, jolloin tarkkaa tietoa tutkittavien väylän alkuperäisestä kunnosta ei ollut. Tästä johtuen vertailuun käytetään usein keinotekoisesti tuotettuja kuvaajia tai muita laboratorio olosuhteissa tuotettuja tuloksia.

Systemaattiseen vianhakuun kuuluu mittaamisen lisäksi kaikki kohteesta tehtävät havainnot, joita voidaan käyttää tutkinnan apuna. Havainnoinnin apuna voidaan käyttää esimerkiksi ennalta suunniteltua lomaketta, jossa on koostettu tarkastettavia pisteitä tutkittavaan kohteeseen liittyen. (Vilkka 2007, 29,30). Profibus-kenttäväylän kunnonvalvontaan saatavilla olevat analysaattorit pitää yleensä sisällään raportointipohjan, joka generoituu suoritettujen mittausten perusteella (kuvio 6). Mittausten perusteella täyttyvien tietojen lisäksi pöytäkirjassa on muun muassa visuaaliseen analyysiin liittyviä kohtia, jotka voi halutessaan täydentää. Työn suunnittelua varten edellytetään tietynlaisen esitiedon keräämistä, jolla pyritään luomaan selkeä kuva analysoitavasta kohteesta. On tärkeää tuntea tai tunnistaa jokaisen laitteen osoite sekä fyysinen sijainti väylässä suhteessa toisiin laitteisiin, jotta luotettavia mittauksia voidaan tehdä (Profitrace 2.9 n.d., 52).

|                |   |                 |
|----------------|---|-----------------|
| Client         | Valio JKL<br>Laukaantie 9<br>Jyväskylä<br>FINLAND | Location        |
| Contact Person | Ville Kuukkanen                                   | Controller      |
| Plant          |   | Order Number    |
| Master System  | AP1803_Jäähditys                                  | Document Number |

## Standard Network Analysis

### Plant-specific Consideration

|   |                                  |                                |          |
|---|----------------------------------|--------------------------------|----------|
| <input type="text" value="1.5 Mbit/s"/> | baud rate                        | <input type="text" value="1"/> | segments |
| <input type="text" value="0"/>          | diagnostic repeater              | <input type="text" value="0"/> | repeater |
| <input type="text"/>                    | diagnostic repeater started scan | <input type="text" value="0"/> | OLM      |

### Physical Consideration – Cable Test

| Measured Values                  |                                    | Threshold Value / Recommendation                                  |          |
|----------------------------------|------------------------------------|---|----------|
| <input type="text" value="109"/> | maximum cable length [m]           | <input type="text" value="200"/>                                  | m        |
| <input type="text"/>             | impedance [ $\Omega$ ]             | <input type="text" value="150 &lt;math&gt;\pm&lt;/math&gt; 10%"/> | $\Omega$ |
| <input type="text"/>             | visual examination of cable laying | Diagnosis- / Tester: PROFtest II                                  |          |

### Physical Consideration – Signal Evaluation

| Measured Values                   |                        | Threshold Value / Recommendation         |                        |
|-----------------------------------|------------------------|--|------------------------|
| <input type="text" value="2086"/> | minimum signal quality | <input type="text" value="2500"/>        | minimum signal quality |
| <input type="text" value="5866"/> | maximum signal quality |  |                        |
| <input type="text"/>              | signal shape problems  | Diagnosis- / Tester: PB-Q <sup>CNE</sup> |                        |

### Logical Consideration – Telegram Evaluation

|  |                             |                                   |                          |
|--|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| <input type="text" value="9.72"/>        | minimum cycle time [ms]     | <input type="text" value="1475"/> | error telegrams / frames |
| <input type="text" value="1,027.00"/>    | $\emptyset$ cycle time [ms] | <input type="text" value="766"/>  | telegram repetitions     |
| <input type="text" value="2,044.86"/>    | maximum cycle time [ms]     | <input type="text" value="23"/>   | diagnoses                |
| Diagnosis- / Tester: PB-Q <sup>CNE</sup> |                             |                                   |                          |

Kuvio 6. 1. sivu Indu-Sol mittausraportista.

Valion prosessista kerätään paljon erilaista dataa prosessinohjausjärjestelmän avulla ja datan luokittelua ja suodattamista varten Valmet DNA -järjestelmässä on Report-työkalu. Työkalulla voi muodostaa kaavioita ja tilastoja erilaisten hakujen avulla ja tässä tutkimuksessa käytetään apuna Profibus-DP väylistä kerättävää järjestelmädataa, jota muodostuu laitteista saatavasta diagnostiikasta. Systemissä on olemassa myös hälytyksiä, jotka ovat ohjelmoitu aktivoitumaan tietyissä prosessista johtuvista syistä tai muusta järjestelmän ulkopuolisesta syystä. Esimerkiksi järjestelmästä löytyy hälytyksiä, joiden selitteenä on teksti "VÄYLÄVIKA", mutta nämä hälytykset ovat alaväylien, kuten AS-i-väyliin liittyviä hälytyksiä, jotka eivät kuulu lähtökohtaisesti tutkimuksen piiriin. Edellä mainittujen hälytyksien luomiseen käytetään Profibus-väylän standardidiagnostiikkaa, josta kerrotaan tarkemmin luvussa 8.

## 5.2 Mittaussuunnitelma

Tässä kappaleessa kerrotaan tarkemmin ennen mittaamista tehtävistä määrittelyistä sekä muista mittaamiseen olennaisesti liittyvistä seikoista. Jotta mittaus olisi pätevä, on sille määriteltävä tietyt ominaisuudet. Mitattavan ilmiön tunteminen ja tunnistaminen on tärkeä osa mittauksia, itse mittarin määrittelyn kannalta. Lisäksi tuntemuksen avulla voidaan määrittää toimiva mitta- ja luokitteluasteikko. Mitta-asteikon avulla mittaustulokset saadaan jaettua luokitteluasteikolle. Näiden ominaisuuksien määrittely on tärkeä osa suunnittelua. (Mittaamien n.d.) Tässä tutkimuksessa mitattava ilmiö on jännitteen muutos ja se todetaan mittaamalla jännitettä numeerisesti, joka luokitellaan Profibusstandardin ohjearvojen mukaan kolmelle eri tasolle suuruuden mukaan.

Jännitteen mittaamisen lisäksi mittaamista tehdään myös aistinvaraisesti. Tämä mittaustapa taas vaatii oman mitta- sekä luokitteluasteikon, koska mittarin tulee olla aina kohteeseen sopiva (Mittaaminen n.d.). Aistinvaraisen mittaamisen mitta-asteikkona käytetään Profibusstandardin asennusohjeita, jonka avulla voidaan määrittää, onko asennus tehty ohjeiden mukaan. Tämä mittausmenetelmä tuottaa tuloksia, joiden arvo on 1 = ohjeiden mukaan rakennettu ja 0 = ohjeiden vastaisesti rakennettu. Tämä mittari tarkastelee asennuksen laatua verrattuna ohjeeseen. Asennuksen laatu ei suoraan kerro signaalin laadusta, vaan asennusohjeet ovat tulkittava suosituksina. Asennusohjeita noudattamalla voidaan varmistaa, että väylä toimii varmasti ja luotettavasti, mutta oheista voidaan poiketa, mikäli tunnetaan ympäristö ja siellä vaikuttavat mahdolliset häiriötekijät.

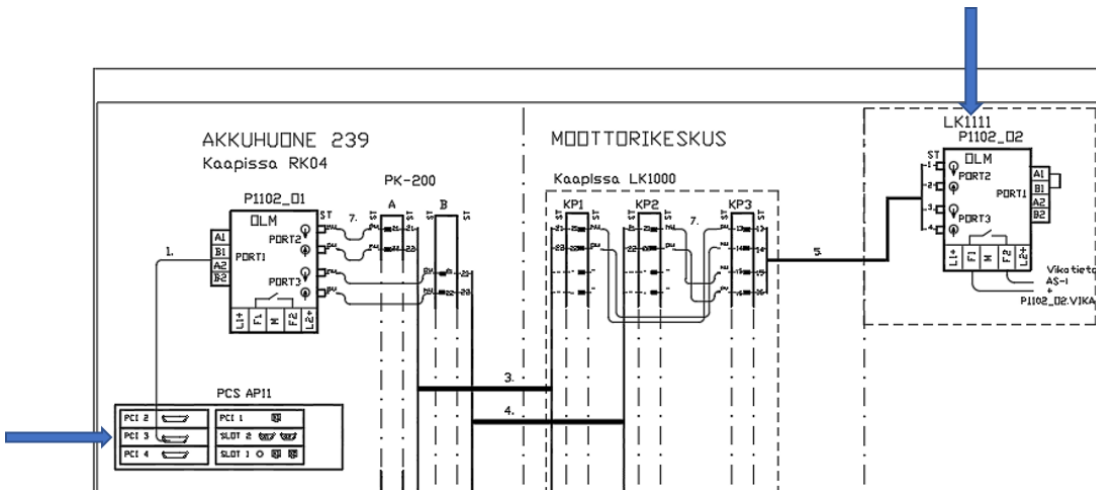
Jännitteen mittaamiseen käytettävän analysaattorin käyttöohjekirja antaa hyvät ohjeet siitä, kuinka mittaus tulee suorittaa. Mittaamiseen vaaditaan riittävästä mittauksista eripuolilta väylää, jotta systeemin analyysi on perusteellinen. Ohjekirjassa kerrotaan, miten väylä jakautuu osiin komponenttien ominaisuuksien tuloksena (PB-Qone User manual 2017, 13). Voisi helposti kuvitella, että osoitteelliseen väylään riittää mittaus, mistä tahansa kohdasta väylää, mutta näin ei ole. Profibus-väylä jakautuu osiin jokaisen toistimen, valokuitumuuntimen sekä mahdollisen jakajan kohdalla. Jokainen osa muodostaa itsenäisen osan väylässä, jonka signaalihäiriöt eivät heijastu toiseen osaan, koska haaroituspiste estää häiriön laajentumisen. Tästä syystä mittaukset tulee tehdä jokaisesta haarasta mahdollisimman läheltä alku- ja loppupistettä. (PB-Qone User manual 2017, 13.) Alku- ja loppupisteen mittausten avulla analysaattori pystyy muodostamaan automaattisesti laitejärjestyksen. Jos haarasta toinen mittaus uupuu, voidaan asettelu tehdä käsin fyysisen väylän rakenteen mukaan. Yhden mittauksen perusteella voidaan myös tehdä signaalianalyysi, mutta tämä

vaatii mittauksen suorittajalta suurempaa tietotaitoa, koska analysaattorin tarvitsema toinen mitaus uupuu. Mikäli molemmat mittaukset haarasta uupuvat, niin kyseisen haaran kunnosta ei voida analysaattorin avulla tehdä luotettavia johtopäätöksiä, joka johtuu edellä mainitusta haarautumisesta.

## 6 Työn toteutus

### 6.1 Työn toteutuksen ensihavainnot

Työn toteuttamiseen liittyy useita eri vaiheita ja toteutuksen yhteydessä tuli eteen huomioita, liittyen dokumentaatioon, jotka piti selvittää ennen työn jatkamista. Tässä luvussa kerrotaan, miten työ toteutettiin sekä miten työssä edettiin havaintojen lisääntyessä. Yksi mainittavista huomioista oli vuoden 2003 aikoihin rakennetun laajennuksen sähködokumentaatio ristiriidat dokumentaation sisällä. Ristiriita näkyi dokumentteihin merkityn väylätunnuksen eroina, joka hankaloitti fyysisen väylän tunnistamista. Väylänmerkintä eroaa väylissä AP10-14 kytkentälistoissa, kun niitä verrataan ohjauskeskusten piirikuviin oleviin merkintöihin. Kenttälaitekaapeissa merkintä on aloitettu numerosta yksi ja kaapin sisällä on dokumenteissa sama aloitusnumero. Kun väylän todellinen numerointi Valmet DNA järjestelmässä alkaa numerosta kaksi. Tämä aiheuttaa haasteen, kun tunnistetaan fyysistä Profibus-DP väylää kentällä, jota ei lähtökohtaisesti ole merkitty millään tavoin, vaan väylän tunnistaminen tapahtuu kenttälaitekaapin tai siinä olevan laitteen perusteella. Lisäksi saman dokumentaatiovirheen vuoksi fyysiseen väylään on tehty merkintöjä jälkikäteen, jotka ovat virheellisellä väylätunnuksella merkittyjä. Mittauksia jouduttiin tekemään useaan kertaan, ennen kuin mittaukset saatiin osoitettua oikeaan paikkaan. Valiolla oltiin tietoisia edellä mainitusta ristiriidasta, mutta missään vaiheessa ei ollut havaittu, että ristiriita on myös dokumentaatioissa. Koska asia oli tiedossa joiltain osin, sitä oli korjattu väylissä AP15-18, mutta suurin osa väylädokumentaatiosta piti sisällään edellä mainitun ristiriidan väylätunnuksessa sekä muita virheitä, joiden alkuperä ei ole tiedossa. Esimerkkinä voidaan esittää virhe AP11 väyläkaaviossa, jossa oli merkitty väylä kulkevaksi keskukseen, jota ei todellisuudessa ollut koskaan asennettu. Lisäksi samaan kuvaan on merkitty väylän lähtö väärin, jonka vuoksi kyseisen kuvan perusteella ei voi päätellä miten väylä liittyy Valmet DNA järjestelmään (kuvio 7). Tutkimuksen yhteydessä tämä väylä löydettiin ja voitiin mitata muiden mittausten yhteydessä.



Kuvio 7. AP1102 kaavio, virheet osoitettu nuolella.

Edellä mainitut havainnot aiheuttivat suuren lisätyön pelkästään väylien tunnistamisen suhteen ja jätti toimeksiantajalle suuren määrän päivitettäviä dokumentteja. Dokumenttien päivittäminen ei kuulu tutkimuksen sisältöön ja virheet huomioimalla tutkimusta pystyttiin jatkamaan normaalisti.

## 6.2 Visuaalinen tarkastelu

Väylämittaukset aloitettiin tekemällä visuaalinen tarkastelu, josta tutkimusta jatkettiin analysointorilla tehtäviin mittauksiin. Visuaalisen tarkastelun tuloksia verrataan Profibus Assembling Guidelines -asennusohjeeseen, joka määrittelee parhaat tavat asennuksen suorittamiseen. Visuaalisen tarkastelun tarkoitus on havaita selkeitä virheitä, jotka voivat aiheuttaa ongelmia väyläsignaalin laatuun, mutta tarkastelun tulokset eivät suoraan kerro itse signaalin laadusta tai ongelmien määrästä, vaan asennusohjeita noudattamalla voidaan varmistaa väylän toiminta mahdollisimman luotettavasti kaikissa ympäristöissä. Kaapeloinnin etäisyys häiriölähteisiin on suositus, josta voidaan poiketa esimerkiksi laitteiden sisällä, mutta näissäkin kohteissa tulee käyttää suojattuja voimakapeleita (Profibus Assembling guidelines 2020, 20–21, 24). Suuriosa visuaalisista havainnoista on tehty väyliin, jotka ovat toimineet moitteettomasti jo vuodesta 2003, joka kertoo sen, että väylien kunto on asennusvirheistä huolimatta hyvä.

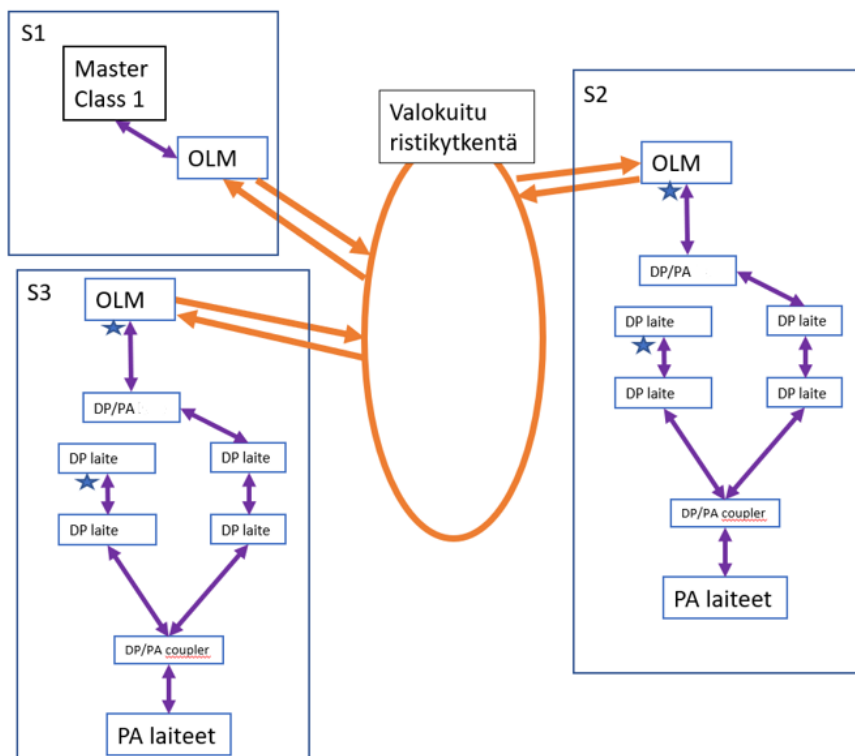
### 6.3 Mittaukset

Mittaukseen käytettiin Indu-Sol PB-Qone profibus analysointia, joka mittaa jännitetasot ja poikkeaman sekä tallentaa viestiliikenteen heksalukuna. Heksaluvulla voidaan ilmaista yksi tavu eli kahdeksan bittiä, kahdella merkillä. Indu-Sol -ohjelma tuottaa viestistä yksinkertaisen taulukon, jossa näytetään viestin tyyppi, kulkusuunta, lähettäjä ja kohde sekä viesti (kuvio 8). Ohjelma kertoo myös väreillä ja selväsanaisilla viestillä tunnistetut tapahtumat, joita ovat esimerkiksi viestien toistaminen, viestien puuttuminen ja uuden väyläkierron aloittaminen. Analysointiohjelman ominaisuuksiin lukeutuu myös korkealla näytteenottotaajuudella toimiva oskilloskoopi, jonka mittausominaisuuksilla voidaan tutkia väylän vikapaikkojen suurpiirteistä sijaintia sekä jännitetasoja. Analysointiohjelmassa on lisäksi viestin tallennusominaisuus, joka voidaan määrittellä tallentamaan viestit tietyistä pisteistä. Tällaisia pisteitä voi olla esimerkiksi diagnostiikkasignaali tai muu standardiviestin sisältöä määritteltävä piste. Tällä ominaisuudella voidaan havaita yksittäinen bitti yhdestä laitteesta tilanteessa, jossa esimerkiksi väylän jännitetaso on hyvä, mutta ongelmia silti esiintyy tai halutaan muuten seurata väylän viestiliikennettä tietyissä tapauksissa.

| No. | Time             | Note          | Addresses | Telegram type | DpService    | Data                                   |
|-----|------------------|---------------|-----------|---------------|--------------|--|
| 30  | 13:59:02.3594023 |               | 1 -> 79   | ReqFdl        |              |  |
| 31  | 13:59:02.3596516 |               | 1 -> 1    | Token         |              |  |
| 32  | 13:59:02.3596983 | New bus cycle | 1 -> 2    | ReqSrdHigh    | DataExchange | 30 88 88 77 FF F0 4A 6E 0F 00 00 00 00 |
| 33  | 13:59:02.3615320 |               | 1 <- 2    | ResDI         | DataExchange | 00 00 00 0A 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 34  | 13:59:02.3633830 |               | 1 -> 11   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 35  | 13:59:02.3636043 |               | 1 <- 11   | ResDI         | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 08 FF 9F 0F |
| 36  | 13:59:02.3643104 |               | 1 -> 12   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 37  | 13:59:02.3645318 |               | 1 <- 12   | ResDI         | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 04 FF 9B F1 |
| 38  | 13:59:02.3652384 |               | 1 -> 14   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 39  | 13:59:02.3654595 |               | 1 <- 14   | ResDI         | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 FF A1 00 |
| 40  | 13:59:02.3661658 |               | 1 -> 21   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 41  | 13:59:02.3663868 |               | 1 <- 21   | ResDI         | DataExchange | 24 40 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 42  | 13:59:02.3666238 |               | 1 -> 22   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 43  | 13:59:02.3668448 |               | 1 <- 22   | ResDI         | DataExchange | 35 40 2F 1E 0E 60 08 8E 00 EE 01 23 00 |
| 44  | 13:59:02.3670818 |               | 1 -> 23   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 45  | 13:59:02.3673029 |               | 1 <- 23   | ResDI         | DataExchange | 24 40 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 46  | 13:59:02.3675398 |               | 1 -> 24   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 47  | 13:59:02.3677609 |               | 1 <- 24   | ResDI         | DataExchange | 35 40 40 00 14 B4 06 1E 01 C9 02 3C 00 |
| 48  | 13:59:02.3679978 |               | 1 -> 25   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 49  | 13:59:02.3682188 |               | 1 <- 25   | ResDI         | DataExchange | 35 40 40 00 14 B4 06 15 01 D6 02 5F 00 |
| 50  | 13:59:02.3684558 |               | 1 -> 26   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 51  | 13:59:02.3686768 |               | 1 <- 26   | ResDI         | DataExchange | 35 40 40 00 13 88 05 CC 02 27 03 08 00 |
| 52  | 13:59:02.3689145 |               | 1 -> 27   | ReqSrdHigh    | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 53  | 13:59:02.3691355 |               | 1 <- 27   | ResDI         | DataExchange | 35 40 40 00 11 94 05 39 01 B8 02 44 00 |
| 54  | 13:59:02.3693732 |               | 1 -> 80   | ReqFdl        |              |  |
| 55  | 13:59:02.3696225 |               | 1 -> 1    | Token         |              |  |
| 56  | 13:59:02.3696692 | New bus cycle | 1 -> 2    | ReqSrdHigh    | DataExchange | 30 88 88 77 FF F0 4A 6E 0F 00 00 00 00 |

Kuvio 8. PB-Q one viestiliikenne näkymä.

Profibus väylän mittaamisen tulee tapahtua systemaattisesti segmentti kerrallaan, jolla vältetään mittaustulosten sekoittumista. Fyysinen väylä katkeaa, jokaisen valokuitumuuntimen ja toistimen kohdalta ja ne luovat oman segmentin väylärakenteeseen (kuvio 9). Jokaisen segmentin alku- ja loppupiste pitää saada mitattua, jotta väylärakenne saadaan kuvattua luotettavasti ja analysaattori pystyy sijoittamaan laitteet oikein suhteessa toisiinsa. Näiden lisäksi mitattava väylä tulee tuntea riittävän hyvin, jotta mittaus on luotettava. Erityisesti vian paikantaminen edellyttää, että osoitteet voidaan sijoittaa oikein fyysiseen rakenteeseen. (Profitrace 2.9 user manual 2018, 5.)

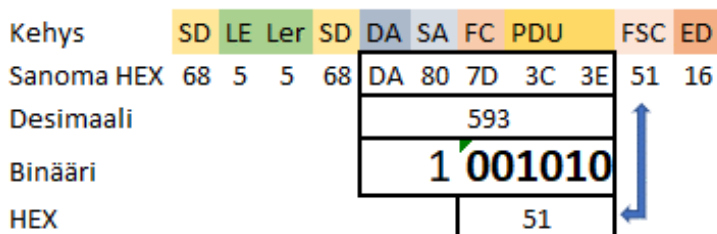


Kuvio 9. Profibus-väylän segmentointi kuvaaja.

## 6.4 Mittausten analysointi

Mittaustuloksia analysoitaessa havaittiin, että puutteita varsinkin asennuksen suhteen on runsaasti, mutta nämä eivät analysaattorin tulosten perusteella aiheuta havaittavaa häiriötekijää viestiliikenteeseen. Tyypillisiä asennuksesta aiheutuvia häiriöitä ovat magneettisista lähteistä aiheutuvat häiriöt, jotka vääristävät signaalia aiheuttaen signaaliin virheellisiä bittejä. Profibus-viestikehyksen lopussa on kehyksen tarkastusta varten summatavu, joka muodostetaan viestin si-

sällön perusteella. Summa muodostetaan laskemalla kehyksen sisältö DA-PDU yhteen, jonka jälkeen summasta muodostuneesta binääriluvusta viimeiset kahdeksan merkkiä muodostaa summatavun hexalukuna. Hexa-luvuista on kerrottu luvussa 8 ja tarkastussumma tavun muodostaminen on kuvattu kuviossa kymmenen. Kun viesti saapuu vastaanottajalle, tavujen arvo lasketaan uudelleen ja verrataan lähetettyyn tietoon. Jos eroa havaitaan, niin sanomaa ei käsitellä vaan laitteelle lähetetään uusi sanoma. Tyypillisiä magneettisia lähteitä ovat EMC-suojamattomat kaapeloinnit taajuusmuuttajakäytöissä sekä suuret kytkentävirrät esimerkiksi kontaktoreissa. Edellä mainittuja EMC-häiriöitä voidaan tehokkaasti välttää käyttämällä hyvälaatuisia väyläkaapeleita sekä ohjeiden mukaisella EMC-suojauksella väyläkaapeleissa. Tutkimuskohteen asennuksissa on käytetty väriään violetta Profibus-DP -kaapelia, joka soveltuu hyvin ympäröiviin olosuhteisiin.

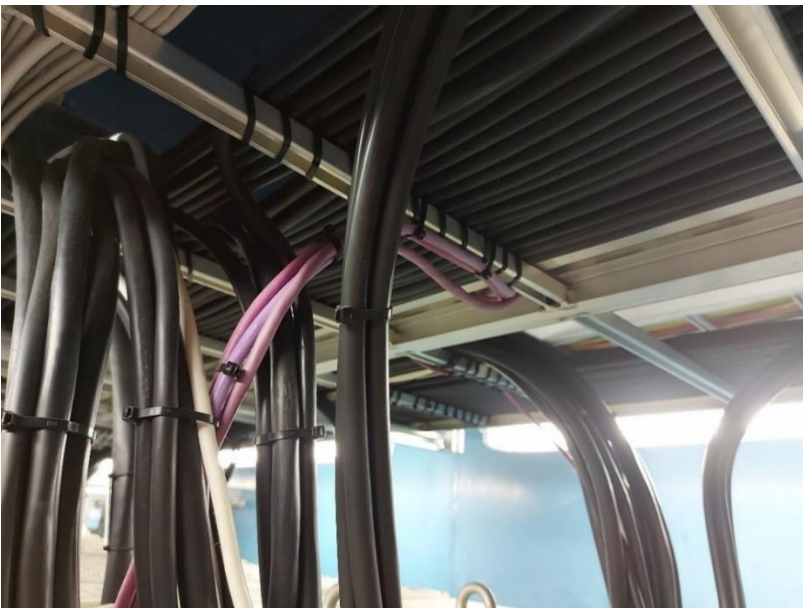


Kuvio 10. Tarkastussummatavun muodostaminen.

Valiolla havaitut väyläkaapeloinnin asennuspoikkeamat ovat selkeästi havaittavissa ja todennettavissa ja yleisin poikkeama koskee väyläkaapelin etäisyyttä voimakaapeliin. Kaapelointi on toteutettu tyypillisesti asentamalla voima- ja väyläkaapelit kaapelihyllyn erireunoihin tai kokonaan eri hyllyille. Profibus assembling guidelinesin (2020) mukaan väylä- ja voimakaapelin etäisyys tulisi säilyttää mahdollisimman suurena tai etäisyydelle on määritetty minimi riippuen siitä, kuinka kaapeli on suojattu. Ohjeesta löytyy taulukko, josta käy ilmi, että ilman magneettista estettä asennetun kaapeli tulee sijaita vähintään kymmenen millimetrin päässä voimakaapeloinneista. Kaapeliläpivienneissä ja sähkötilojen kaapeloinneissa kaapelietäisyydet alittuu, kuten kuvioista 11 ja 12 näkyy.



Kuvio 11. Väyläkaapeli liian lähellä voimakaapelia.



Kuvio 12. Väyläkaapeli liian lähellä voimakaapelia.

Profibus-kenttäväyläkaapeloinnin lisäksi laitevalmistajat usein määrittelevät itse väyläliitoksen suositukset heidän valmistamiin kenttälaitteisiin. Kenttälaitteen liitos väylään voidaan yleensä toteuttaa kolmella eri tavalla, jotka ovat ruuviliitos, D-9 sarjaporttiliitin sekä M-12 pistoke. Näistä D-9 liitin on yleisin toimeksiantajan järjestelmässä ja niiden sisäisissä liitoksissa on pääasiassa ruuvili-

toksia. M-12 pistokeliitääntä ei havaittu mistään kohtaa Profibus-väylää. Kaikki liitokset ovat sellaisia, joiden tekemistä varten suositellaan tutustumaan liitinvalmistajan ohjeisiin (Profibus assembling guidelines 2020, 57–64). Kappaleessa 8.1 on kerrottu, kuinka Vacon-taajuusmuuttajiin ohjeistetaan liitoksen tekeminen OPTE-3 liityntäkorttiin.

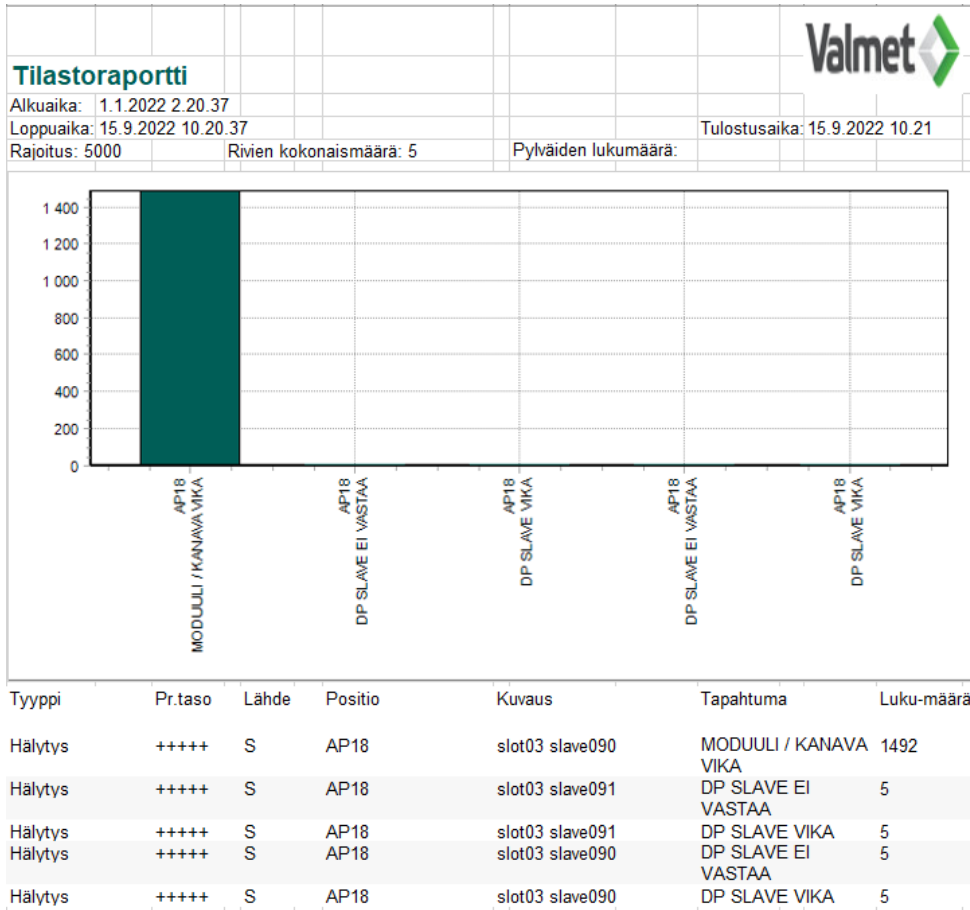
## 7 Ensimmäisten mittausten suorittaminen

Ensimmäisten mittausten toteuttamiseksi tarvittavien dokumenttien ja esitietojen tulkinnan jälkeen, mittaukset aloitettiin Valmet DNA prosessiasemien luota, jossa kaikkiin väyliin pääsi suorittamaan mittauksia. Tässä vaiheessa luotiin Indu-Sol -ohjelmistoon jokaiselle mittaukselle oma tiedosto, jonne tallennettiin kaikki kyseiseen väylään kohdistuvat mittaukset. Tutkimuksen alkuvaiheessa havaittiin kappaleessa 6.1 mainitut virheet dokumentaatioissa ja kenttämerkinöissä. Virheet tulivat ilmi mittausten yhteydessä, kun analysoitsi selkeästi erimäärän laitteita riippuen mittauspisteestä. Ero tuli näkyviin, kun mittaustietoja liitettiin väriin tiedostoihin, jolloin eri mittausten välillä oli erimäärä laitteita nähtävillä eikä laitteita puuttunut. Eron havaitsemisen jälkeen mittapisteet tarkistettiin vertaamalla osoitevaruutta fyysiseen väylään, jolloin mittapiste voitiin osoittaa oikeaan väylään.

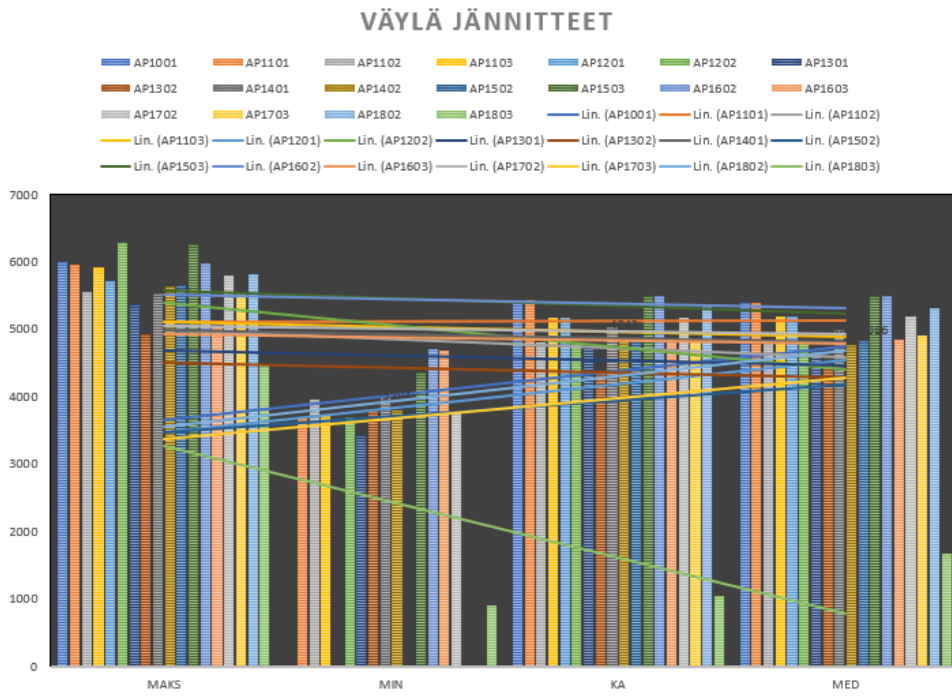
Kaikkiin väyliin voitiin suorittaa mittauksia, mutta luotettavia ja ohjeiden mukaisia mittauksia ei voitu suorittaa yhteenkään mitatuista väylistä, koska mittapisteitä puuttui kaikista segmenteistä. Useassa segmentissä mittausta varten oli asennettu yksi mittauspiste, jolloin segmentin kokonaiskuva saatiin tallennettua, mutta rakennetta ei voitu kuvata ohjelman avulla eikä laitteiden sijaintia toisiinsa nähden voida tunnistaa. Tästä syystä esimerkiksi väylän todellista pituutta ei voida todentaa. Mittausten tekemisen kannalta heikoin tilanne havaittiin väylässä AP14\_m2, jossa mittauksia ilman väyläkatkoksia voitiin tehdä ainoastaan yhdestä paikasta. Yhden mittauksen perusteella väylän toiminnasta ei saa luotettavaa kokonaiskuvaa, jonka perustella voisi suorittaa toimenpiteitä tai valvontaa koko väylään.

Suoritettujen mittausten perusteella tehtiin mittausdatan analysointi määrällisellä menetelmällä suodattamalla lukuja ylä- ja ala-arvon, keskiarvon sekä yleisimmänarvon mukaan. Vertailua tehtiin väylien välillä, jolla pyrittiin erottamaan laitoksen teknisesti heikoin väylä. Määrällisen tutkimuksen tulosta verrattiin Valmet DNA-historiadataan, jolla voitiin vahvistaa suodatuksen tuloksen oikeellisuus (kuvio 13). Kuvioon 14 on kerätty kaikki väylien määrälliseen vertailuun kerätyt lukujoukot,

joiden lisäksi kuvaajassa näkyy trendiviiva kustakin väylästä. Kuvaajan mukaan väylä AP1803 on selkeästi muita heikommalla tasolla kaikilla vertailuasteilla. Tämän analyysin perusteella kyseinen väylä valikoitui tutkimuskohteeksi, josta kerrotaan tarkemmin seuraavassa luvussa.



Kuvio 13. Valmet DNA vikamäärät AP1803 väylästä.



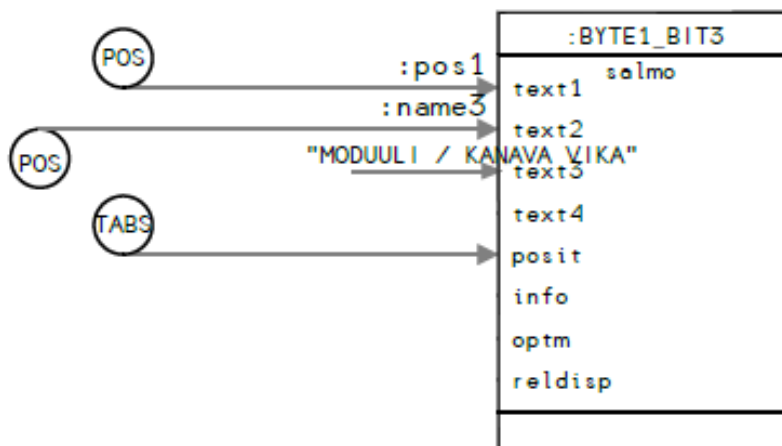
Kuvio 14. Väylien jännitetaso vertailu.

## 8 Kehittämistutkimus AP1803

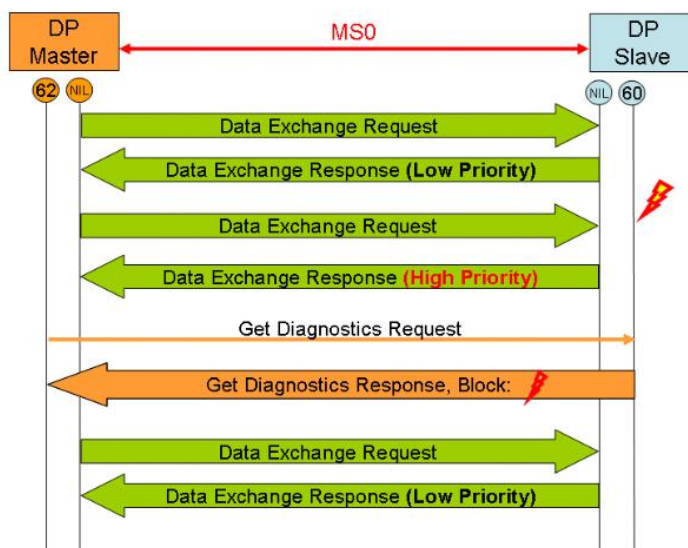
Tutkimuksen kohteeksi valikoituneen AP1803 väylän arvot olivat heikoimmat, jonka selvittämiseksi kohteeseen tehtiin tarkempia tutkimuksia syyn löytämiseksi. Tutkimukset aloitettiin tarkastelemalla laitemäärää sekä ilmenevien vikojen määrää Valmet datan perusteella. Tämän pystyi helposti selvittämään Valmet EAS-yhteyden avulla, josta pääsee näkemään mastereiden slave konfiguraation SST-konfiguraation kautta. SST-konfiguraatiossa näkyi, että laitteita oli väylässä 2 kappaletta, kun standardin mukaan väylään mahtuu 125 laitetta. Molemmat laitteet olivat DP/DP-koplereita, joilla kaksi erillistä Profibus-DP -väylää voidaan liittää toisiinsa. Kun AP1803 väylän laitemäärää vertaa muihin Valiolla toimiviin väyliin, voidaan todeta, että määrä jää todella pieneksi. Tyypillinen laitemäärä väylässä on noin 70 laitetta, mutta parhaimmillaan laitteita on yli sata kappaletta. Laitteet ovat tyypillisesti mittauksia sekä erilaisia säätölaitteita.

Tutkittavan kohteen kahdesta väylälaitteesta toinen tuotti kaikki häiriömerkinnät väylään. Häiriöt näkyivät osoitteen 90 kommunikaatiossa Valmetin suuntaan muun muassa ”moduuli/kanavavika” tietona. Selvityksen mukaan kyseinen häiriö on slavelaitteen asettama diagnostiikka sanoman en-

simmäisen tavun, kolmas bitti (kuvio 15). Tämä kyseinen sanoma on osa Profibusstandardin mukaista viestikehystä, jolla slave-asema ilmaisee, että lähettäjältä on saatavilla laajennettu diagnostiikkatieto (kuvio 16). Kuviossa 17 näkyy, kuinka viestiliikenne havaitaan Indu-Sol-ohjelmistossa. Laajennettuun diagnostiikkaan voidaan sisällyttää tietoa laitteen tilasta tai laitteeseen ohjelmoitujen raja-arvojen ylityksiä. Voidaan siis todeta, että ”moduuli/kanavika” tekstinä ei suoraan kerro, että laitteessa olisi vika, koska liipaisuun käytettävä bitti kertoo ainoastaan laajennetun diagnostiikan saatavilla olon. Joissain tapauksissa laitteessa voi olla vika, mutta aina näin ei ole.



Kuvio 15. Profibus-häiriödiagnostiikka Valmet DNA piiri.

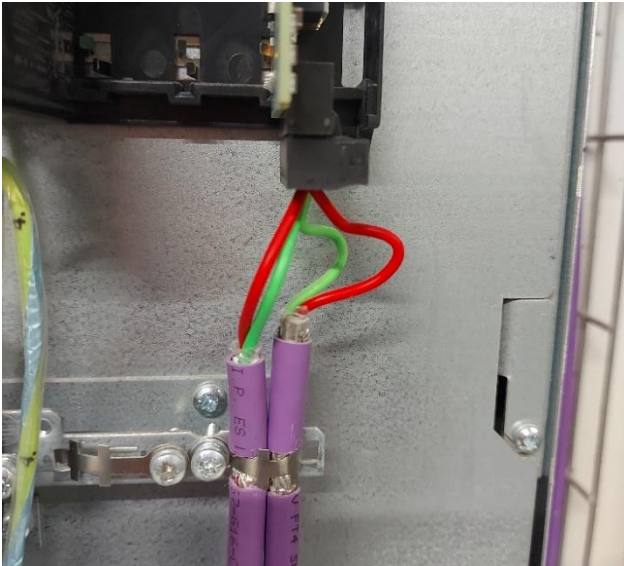


Kuvio 16. Diagnostiikka viestin kulku Profibus-väylässä (Profibus manual by Max Felser).

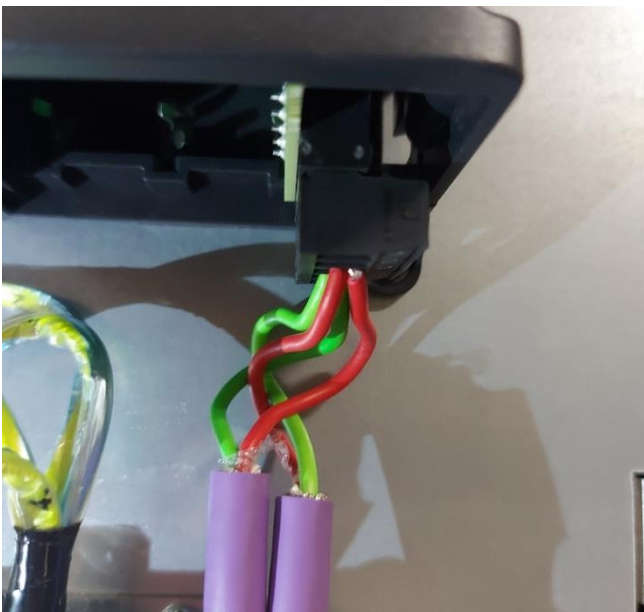


Vikahälytys muodostetaan, kun slave-laite ilmaisee vastauksessaan masterille funktiokoodilla (FC), että laitteesta on saatavilla diagnostiikkaa. Viestin vastaanottamisen jälkeen master lähettää diagnostiikkakyselyn laitteelle seuraavan väyläkierron aikana, johonka slave vastaa lähettämällä diagnostiikan sisällön masterille (BusWorks 900PB Series 2002, 18, 27, 28). Vastauskehys sisältää kuusitavua standardi diagnostiikkaa sekä lisäksi yhdellä tavulla ilmaistaan laajennetun diagnostiikan tyyppi, jos sellaista on saatavilla. Tyypillisesti laajennettu diagnostiikka sisältää slave-laitteen havaitsemia vikoja kuten yli- tai alijännite, yllämpö-, ylikuormahälytys, mutta laajennusosa voi sisältää myös tietoa laitteen tilasta. Valiolla Valmet DNAassa luetaan vain diagnostiikan standardiosa, josta tuotetaan suomennettuja hälytyksiä operaattorin nähtäville.

Tutkimuskohteen AP1803 ongelmalaitteen ollessa DP/DP kopleri, tutkimus kohdistettiin molempiin laitteeseen liitettyihin väyliin. AP1803 väylän lisäksi laitteessa oli kytkettynä Valio Jyväskylän kylmäkeskuksen väylä ja DP/DP kopleria käytettiin kättelypisteenä kahden automaatiojärjestelmän välillä. Tutkimuksen laajentaminen tehtiin, koska mahdollisen vianaiheuttajan löytyminen oli yhtä todennäköistä kummasta tahansa väylästä sekä haluttiin tutkia, näkykö häiriö kummassakin väylässä. Kun kylmäkeskuksen Profibus-väylää tarkasteltiin visuaalisesti, havaittiin, että siellä on samoja asennusvirheitä kuin Valmet DNAan kenttäväylissä. Lisäksi kylmäkeskuksen taajuusmaattien Profibus liitoksissa oli poikettu laitevalmistajan suosituksista jättämällä kaapeliin liikaa EMC-suojaamatonta signaalikaapelia (kuvio 19 & 20). Kylmäkeskuksen väylästä uupuivat myös mittauspisteet, mutta mittauksia voitiin tehdä, koska mittauksen vaatimat katkot olivat mahdollisia.



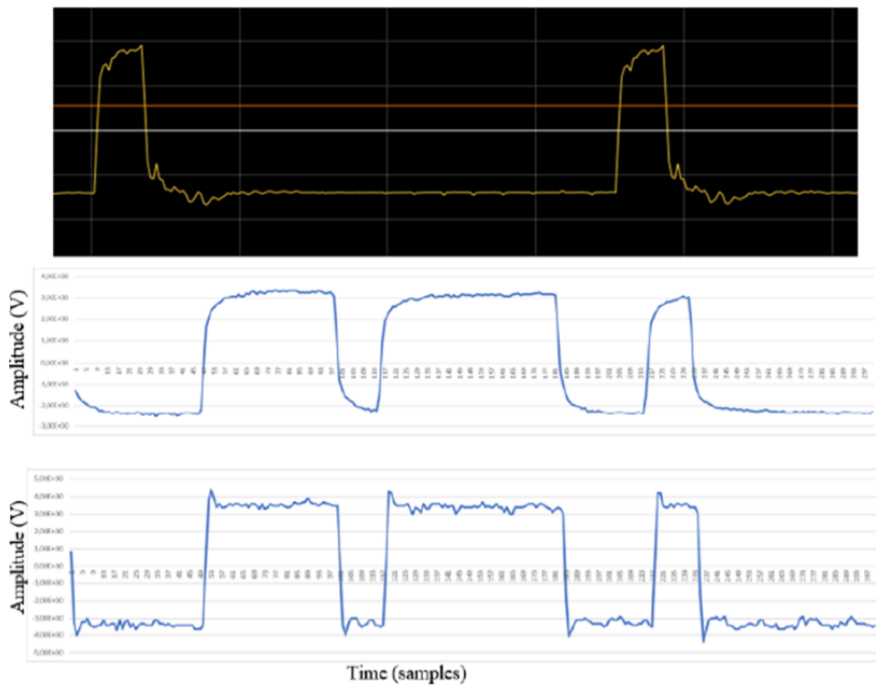
Kuvio 19. Kylmäkeskuksen taajuusmuuttajan liitos Profibus-väylään.



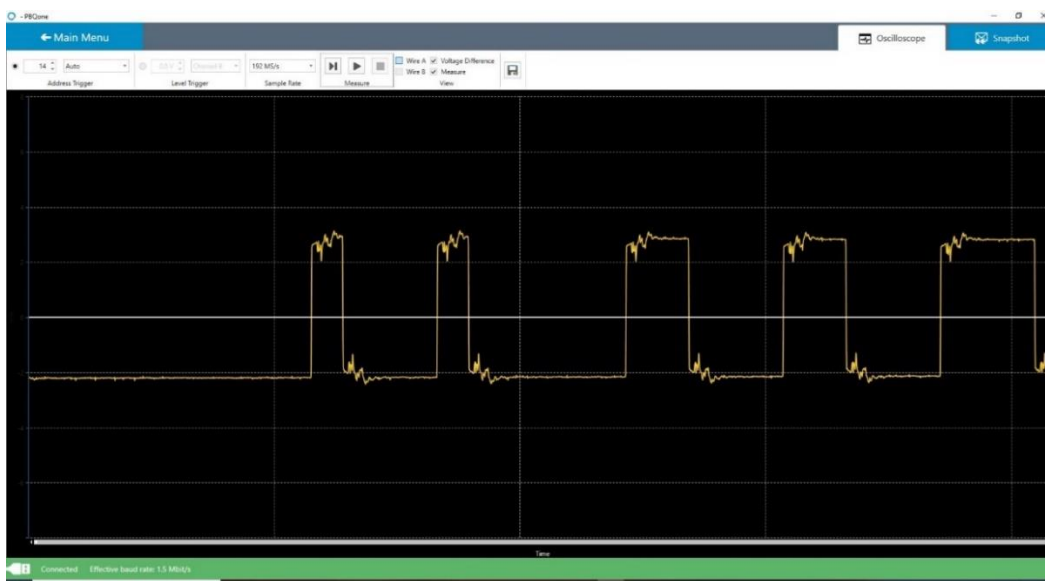
Kuvio 20. Kylmäkeskuksen NJ1SC1 taajuusmuuttajan liitos Profibus-väylään.

Kylmäkeskuksen väylää mitattaessa havaittiin, että osassa väylälaitteista väylän jännite vaihtelee todella voimakkaasti ja vertaillen signaalin muotoa esimerkkimuotoihin voitiin havaita, että vääristymä on samanlainen kuin pitkässä kaapeloinnissa (kuvio 21). Osoitteesta neljätoista otettu signaalimuoto muistuttaa vahvasti normaalimuotoa (kuvio 22). Väylän toimintaan näillä poikkeamilla

ei ollut vaikutusta, koska jännite-ero pysyi koko ajan hyväksyttävällä tasolla eikä virhebittejä muodostunut.

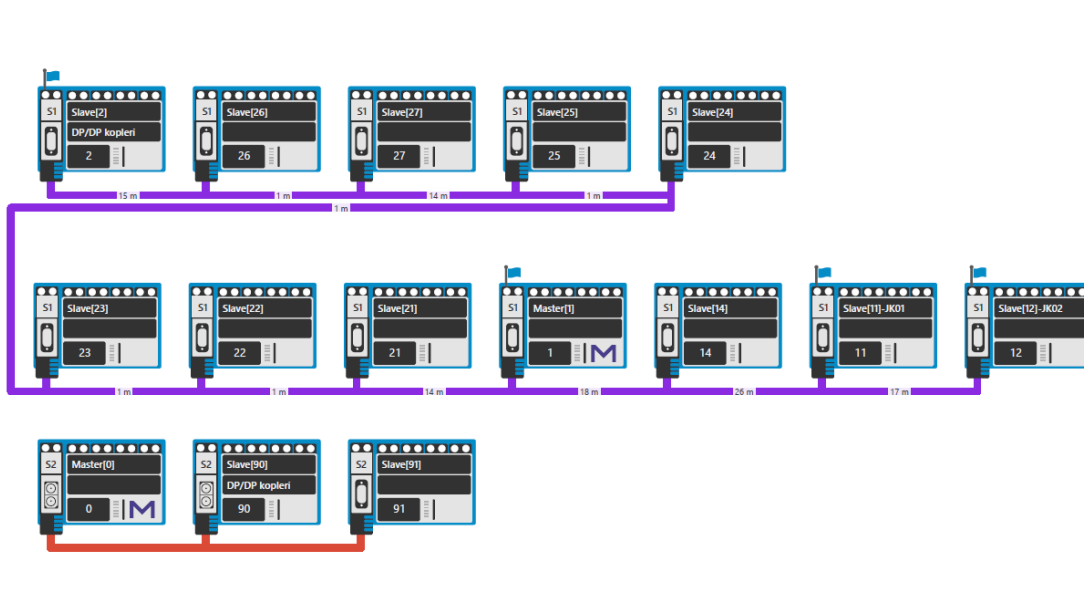


Kuvio 21. Jännite-ero osoitteesta 2 ylhäällä, vertailukäyrä, normaalimuoto. Muokattu. (Cordova, P., de Dios Espinoza, J. Muso, P., Robayo, A., & Robayo, C. 2021).



Kuvio 22. Jännite-ero laitteesta 14.

Mittausten helpottamiseksi kylmäkeskuksen väylään asennettiin mittauspisteet alku- ja loppupäähän ja näiden avulla mittaaminen helpottui ja samalla voitiin käyttää Indu-Sol ohjelmistoa väylärakenteen automaattiseen muodostamiseen (kuvio 23). Ohjelmisto pystyi mittauksen perusteella laskemaan väylän kokonaispituudeksi 109 metriä sekä laitteiden etäisyyden toisiinsa nähden. Laitteiden välinen minimi etäisyys on ohjelman mukaan 1 metri, vaikka todellisuudessa laitteiden välissä kaapelin todellinen pituus vaihtelee kymmenistä senteistä ylöspäin. Yhden metrin minimi pituus tulee asennusohjeista ja tuolla vähimmäispituudella kaapelin impedanssi vaimentaa mahdollisia heijastuksia viestiliikenteessä (Profibusassemblin guidelines 2020, 54). Tällä tiedolla alle metrin pituinen kaapeli laitteiden välillä heikentää väylän fyysistä kuntoa.



Kuvio 23. Kylmäkeskuksen väylän rakenne Indu-Sol ohjelmalla.

Valmet DNA järjestelmän väylään AP1803 suoritettiin pitkäaikainen mittaus, jolla pyrittiin löytämään Profibusstandardin diagnostiikka viestejä. Analysoitiin jätettiin mittaamaan väylään 24 tunnin ajaksi ja tuolta ajalta kerättiin vain tapahtumat, joissa on laajennettua diagnostiikkaa sekä kymmenen tapahtumaa ennen ja jälkeen kyseisestä sanomasta. Tuon mittauksen perusteella havaittiin, että DP/DP kopleri lähettää vikasanomia, joiden sisällä on tieto "Process\_alarm" tai "Diagnostic\_alarm" (Kuvio 24). Process\_alarm hälytyksellä viitataan laitteen havaitseman prosessisuureen ylittämiseen ja Diagnostic\_alarmilla viitataan laitteessa havaittuun vikaan, joka voi olla esimerkiksi yllämpötila tai oikosulku (Profibus Manual by Max Felser 2017.)

|     |                  |                    |               |            |              |                                     |
|-----|------------------|--------------------|---------------|------------|--------------|-------------------------------------|
| 220 | 10:30:45.1039310 | External diagnosis | 0 <- 90       | ResDh      | DataExchange | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |
| 223 | 10:30:45.1095393 |                    | 0.62 -> 90.60 | ReqSrdHigh | Diagnosis    |                                     |
| 224 | 10:30:45.1096440 |                    | 0.62 <- 90.60 | ResDI      | Diagnosis    | 08 0C 00 00 80 70 43 00 00 08 82    |

- Time: 03/11/2022 10:30:45
  - Telegram type
    - Type: Sd2
    - Source address: 90
    - Destination address: 0
  - FDL Services
    - Service: ResDI
    - Primitive: Response
  - DP Service
    - Diagnosis
  - Plaintext Diagnosis
    - Watchdog is active
    - Module: 0 Sequenznumber: 0 Alarm Specifier: No further differentiation Error Text: False - Process alarm
    - Module: 0 Sequenznumber: 0 Alarm Specifier: No further differentiation Error Text: False - Diagnostic alarm

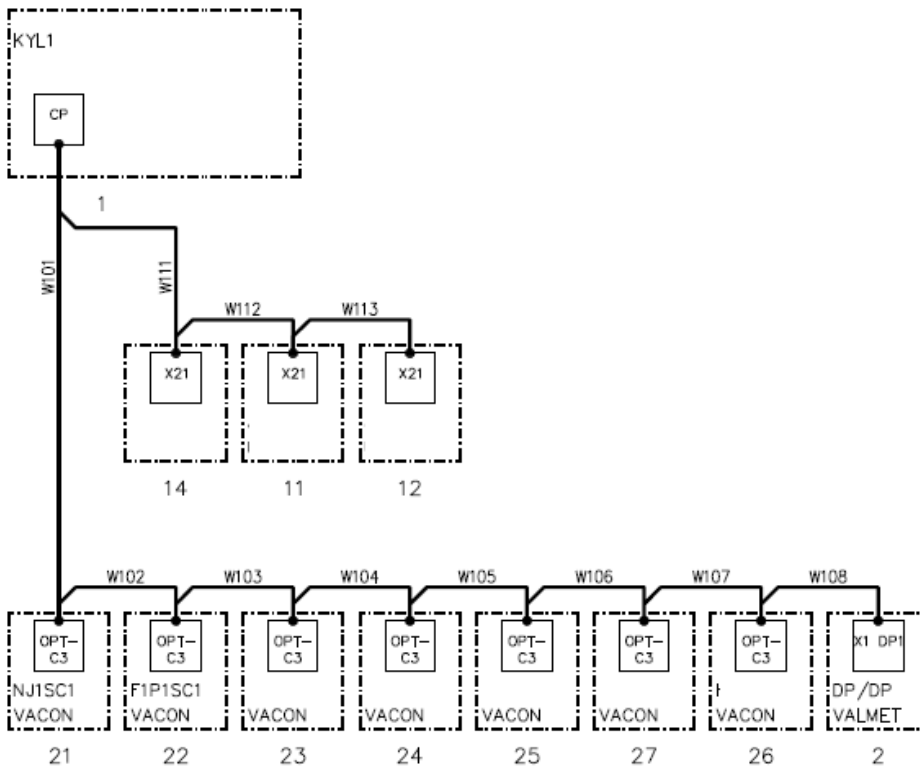
Kuvio 24. Valmet AP1803 väylästä havaitut viat.

## 8.1 Muutostoimenpiteiden määrittäminen

Toimenpiteiden määrittämiseksi oli suoritettu mittauksia sekä tutustuttu Profibus-viestiliikenteeseen tarkemmin mahdollisen lisätiedon löytämiseksi. Mittauksien perusteella voitiin havaita, että AP1803 väylän pituudessa tai muussa fyysisessä ominaisuudessa ei ole mitään, joka suoraan selittäisi häiriön aiheuttajan. Lisäksi Valmet DNA -raportissa näkyvä häiriöteksti ei suoraan kerro väylässä ilmenevistä vioista. Väylässä olevasta kahdesta laitteesta vain toiseen kohdistuu häiriöitä ja samat häiriöt toistuvat molemmissa väylissä, jotka ovat liitettyinä DP/DP kopleriin. Analyysointia tehdyn pitkäaikaisen mittauksen perusteella väylästä voidaan lukea laajennettu diagnostiikkaviesti ja sen avulla voidaan tehdä päättelyä mahdollisesta vian aiheuttajasta.

Kuten kuvioissa 21 ja 22 näkyy, että osassa väylää signaalissa on suurempi vääristymä verrattuna toiseen osaan. Masteri on asetettu osoitteelle yksi kyseiseen väylään ja sijainti siten, että se ei sijaitse kummassakaan päässä väylää (kuvio 25). Tämä masterin sijainti on piste, jonka toiselle puolelle vääristymä rajoittuu. Kaikki laitteet ovat samassa segmentissä, mutta sijaitsee masteriin verrattuna eripuolilla. Teknisesti tämä ei ole mikään poikkeava tapa tehdä Profibus-väyliä, mutta tutkimuksen näkökulmasta on mielenkiintoinen havainto, että masterin eripuolilla signaali eroavat voimakkaasti toisistaan. Vääristymä osoitteen kaksi suunnassa viittaa siihen, että kaapelin pituus

on liian suuri, joka näkyy nousevan reunan pyöristykseenä. Pyöristyminen aiheuttaa signaalin pidentymistä, joka voi johtaa virheisiin tiedonsiirron keston suhteen. Lisäksi samassa osoitteessa näkyy merkkejä puutteellisesta signaalin terminoinnista, joka havaitaan laskevan reunan jälkeisenä värähtelynä.



Kuvio 25. Kylmäkeskuksen väylän rakenne.

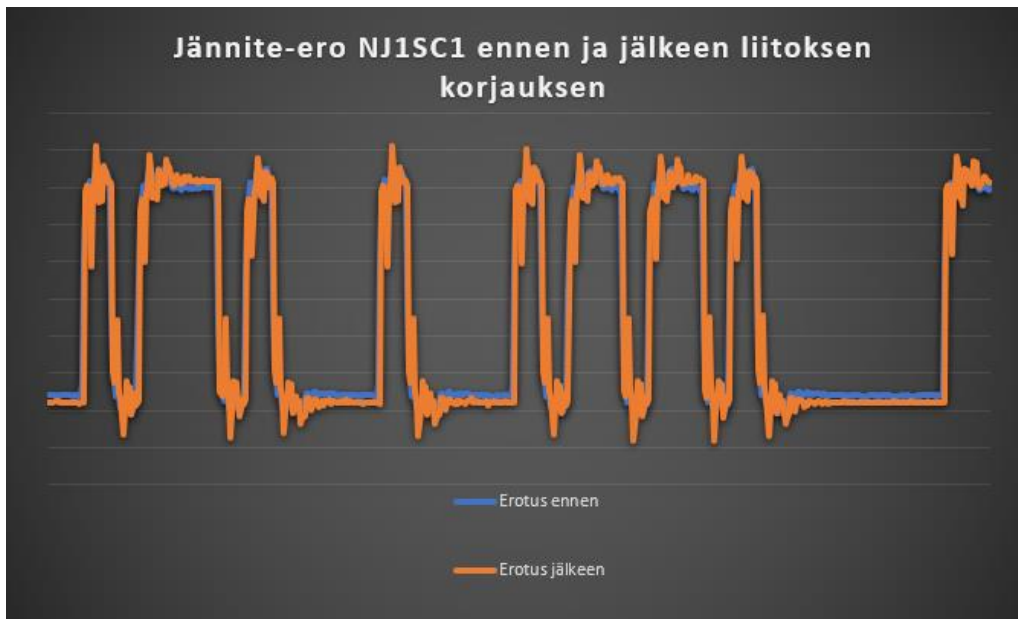
Edellä mainittujen havaintojen lisäksi kylmäkeskuksen väylää tarkasteltiin visuaalisesti pyrkien löytämään mahdollisia häiriön aiheuttajia. Tarkastuksissa havaittiin, että väylään kytkettyjen taajuusmuuttajien kytkentään oli käytetty ruuviliitostekniikkaa ja lähes kaikissa tarkistetuista taajuusmuuttajista oli laitevalmistajan ohjeiden vastaisia kytkentöjä Profibus liitoksissa. Laitevalmistajan mukaan Profibus-wäylän liitoksen suojaamaton kaapelin pituus tulee olla korkeintaan 10 mm pitkä, kun kaikissa oli noin 50 mm pitkä kuorittu osuus (Vacon RS485 and CAN Bus option boards Installation guide 2020, 4). Lisäksi osassa liitoksissa oli paljaita kuparijohtimia liittimien ulkopuolella ja näiden pituus vaihteli 2–5 mm välillä.

Aikaisemmin kappaleessa mainittujen havaintojen perusteella korjauksia toiminnan parantamiseksi lähdettiin suorittamaan kytkentöihin sekä kaapelointiin. Toimenpiteiksi määriteltiin kahden taajuusmuuttajan Profibus-DP kytkennän korjaaminen valmistajan ohjeiden mukaiseksi sekä fyysisen kenttäväylän kaapeloinnin lyhentäminen. Näillä toimenpiteillä pyrittiin parantamaan osoitteen kaksi suuntaan olevan väylän jännitetasoa sekä poistamaan ulkoistenhäiriölähteiden vaikutusmahdollisuuksia signaalin laatuun. Lisäksi osoitteiden yksi ja neljätoista välinen kaapeli korvattiin väliaikaisesti lyhyemmällä kaapelilla. Kaapelin pituus on analysaattorin mukaan 18 m pitkä ja tilalle kokeiltiin noin 8 m pitkä kaapelia.

Viimeisen toimenpiteen määrittelyyn käytettiin pelkästään Profibus-diagnostiikan laajennusosan tietoja, jotka oli luettu Valmet väylästä AP1803. Näiden häiriöiden aiheuttajaksi laitevalmistajan mukaan voivat olla komponenttivika tai vika fyysisessä kenttäväylässä ja niiden poistamiseksi komponentin ohjelmisto tuli päivittää tai komponentti vaihtaa uuteen. Tämän toimenpiteen suorittamista haluttiin välttää, jotta välttyttäisiin tarpeettomilta varaosa kustannuksilta. Parannukset tehtiin ensin kytkentöihin sekä kaapelointiin, joilla pyrittiin saamaan riittävä parannus. Mikäli näiden toimenpiteiden jälkeen tilanne ei parane riittävästi, niin silloin tehdään komponentin vaihto.

## **8.2 Parannusten jälkeinen mittaus ja analysointi**

Parannustoimenpiteiksi määriteltyjen toimien suorittaminen aloitettiin liitosten korjaamisesta positioista NJ1SC1 sekä F1P1SC1. Kyseiset laitteet ovat Vacon-100 -taajuusmuuttajia, jotka ovat varustettu OPTE-3 laajennuskortilla. Korttiin tehty liitos voitiin korjata helposti samaan aikaan, kun Valiolla oli hallittu sähkökatko kylmäkeskuksen sähköpääkeskuksessa. Kun korjauksen jälkeen tehtiä mittauksia verrattiin tuloksiin ennen korjausta, voitiin todeta, että korjauksen vaikutus oli hyvin pieni (kuviot 26). Korjauksella ei saavutettu vaikutusta, joka olisi parantanut väylän toimintaa millään tavalla. Lisäksi näin pienellä muutoksella ei myöskään ollut vaikutusta väylän päässä vaikuttavan jännite-eroon, joka näkyy kuviossa 27. Jos vastaavia korjauksia tehtäisiin useita, niin tällä voisi olla näkyvä positiivinen vaikutus väylän jännitteeseen, mutta Valion tapauksessa korjattavien liitosten määrä olisi jäänyt pieneksi, jolloin tähän toimenpiteeseen ei ryhdytty, koska siitä ei havaittu olevan hyötyä ensimmäisten korjausten perusteella.



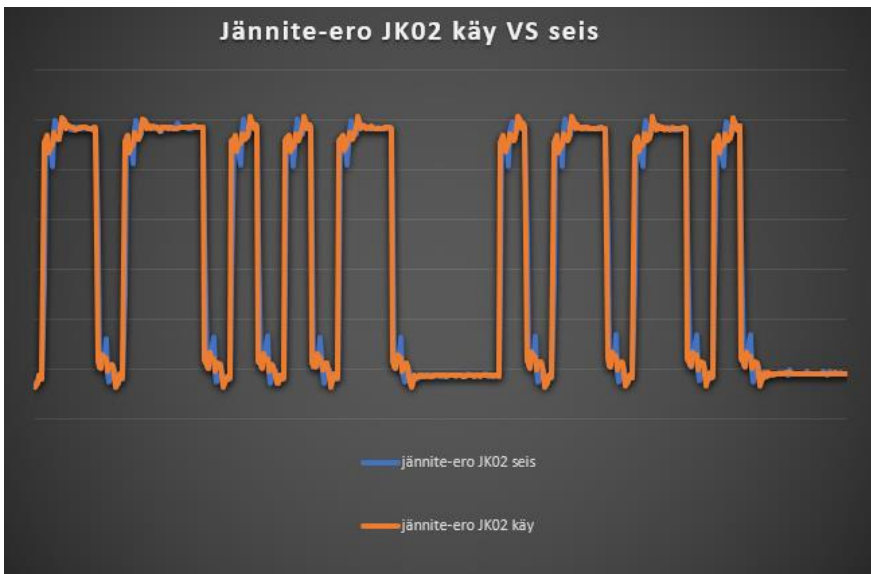
Kuvio 26. Jännite-ero taajuusmuuttajassa NJ1SC1.



Kuvio 27. Jännite-ero väylän päässä.

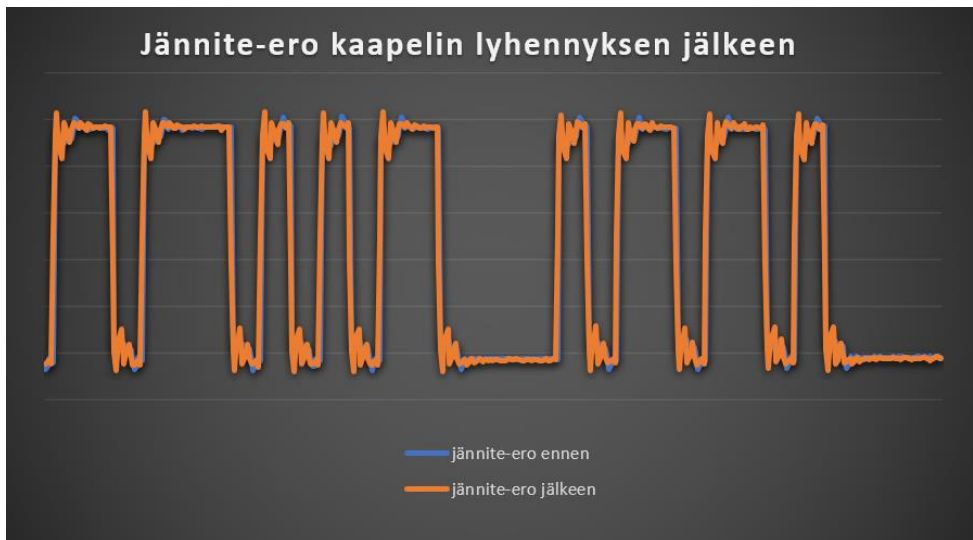
Katkoa hyödynnettiin myös mittaamalla väylän tilaa alasajon aikana, laitteiden sammussa yksi kerrallaan. Alasajon aikana tarkkailtiin analysaattorilla väylässä tapahtuvia muutoksia, mahdollisten ulkoistenhäiriönaiheuttajien varalta. Alasajossa laitteen pysäytyksen jälkeen tutkittiin, onko signaalin laatu parantunut vertaamalla tilannetta hetkeen, jolloin laite oli käynnissä. Mittaustuloksia vertaamalla nähdään laitteessa JK02, että signaalin nousevan reunan muoto paranee hiukan, joka

näky kuviossa 28 nousevan reunan vieressä olevan piikin häviämisenä. Tämäkin piikki on kuitenkin niin pieni, että se ei aiheuta signaalin virhe bittiä, jolla olisi vaikutusta signaaliin.



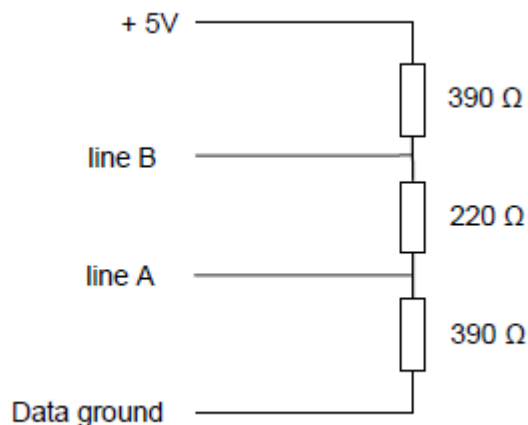
Kuvio 28. Jännite-ero JK02 ollessa seis.

Toinen parannustoimenpide oli fyysisen väyläkaapeloinnin lyhentäminen ja sen vaikutusten arviointi. Lyhentäminen tehtiin väliaikaisella kaapeloinnilla, jolloin kokeiluun voitiin käyttää mahdollisimman lyhyttä kaapelia. Kaapeli vedettiin lyhyintä reittiä suoraan kahden laitteen väillä. Kaapelin asennuksen jälkeen suoritetussa mittauksessa kaapelin pituuden lyhentäminen kymmenellä metrillä ei aiheuttanut muutosta jännite-erossa (kuvio 29). Mittausten jälkeen kaapelointi palautettiin entiselleen.



Kuvio 29. Jännite-ero kaapelin vaihdon jälkeen.

Viimeisenä toimenpiteenä toteutettiin Valmet AP1803 ja kylmäkeskusväylän välissä olevan DP/DP-koplerin vaihtaminen uuteen. Vaihtamiseen tarvittavan ajankohdan löytäminen tapahtui helposti, koska komponentti on ainoastaan kättelypiste, eikä sen kautta ohjata kriittisiä prosesseja. Komponenttia vaihdettaessa tulee olla tarkkana Profibus-väylän pätevästuksen toiminnan kanssa. Pätevästuksen rakenteeseen ja toimintaan kannattaa tutustua ennen vaihtoa, varsinkin järjestelmissä, joissa on kyse laajemmista tai kriittisimmistä prosesseista. Mikäli pätevästus on rakenteeltaan passiivinen, joka saa käyttöjännitteensä liitetystä laitteesta, sen toiminta lakkaa, jos pistoke irrotetaan (Profibus assembling guidelines. 2020, 51.) Profibus-DP väylän pätevästuksen rakenne on kuvattu kuviossa 30. Jos väylä on päätetty aktiiviseen pätevästukseen, niin siinä tapauksessa jännite on tuotu muuta kautta vastukselle eikä liittimien pätevästukset ole käytössä.



Kuvio 30. Profibus-DP päättevästuksen rakenne (Profibus assembling guidelines. 2020).

## 9 Tulokset

### 9.1 Työn tulokset

Kuten johdannossa mainittiin, niin työn tarkoitus oli parantaa heikoimman väylän kuntoa ja samalla osoittaa toimeksiantajalle, miten mittalaitteen avulla väylää voidaan mitata ja mittauksen perusteella määritellä toimenpiteitä. Työn aikana havaittiin, että väylien rakennetta ei lähtökohtaisesti ollut suunniteltu mitattavaksi eikä ylläpidosta ollut mitään alkuperäistä suunnitelmaa. Valiolla oli tehty mittauksia väyliin liittyen kunnonvalvonta tarkoituksessa, mutta näistä mittauksista luovuttiin noin kahdeksan vuotta sitten. Työhön kuuluneiden mittausten aikana havaittiin, että vaikka mittauksia olisi suoritettu tähän saakka, niiden hyöty olisi jäänyt pieneksi niiden puutteellisuuden takia. Puutteellisia mittaukset olivat, koska tutkimusten perusteella mittapisteitä ei ollut väylissä tarpeeksi.

Työtä tehdessä tutustuttiin suureen määrään aineistoa sekä laitevalmistajien ohjekirjoja, joiden perusteella parannettiin tietoa väylän rakenteesta ja kuinka viestit välitetään väylässä. Tämän lisäntyneen tiedon avulla pystyttiin ratkaisemaan kaksi opinnäytetyön ulkopuolella ollutta väylävikaa, jotka vaikuttivat Valio Jyväskylän tuotantoon voimakkaasti. Tällä perusteella voisi todeta, että tutkimuksen myötä Valio Jyväskylän tilanne väyliin liittyvän osaamisen suhteen on parantunut. Työn varsinaisiin tavoitteisiin kuulunut väylän toiminnan parantaminen onnistui valikoituneen väylän osalta komponenttia vaihtamalla ja väylän toiminta parani, kun verrataan Valmet DNA historia

dataa sekä kylmäkeskuksen väylän analysointimittauksia ennen ja jälkeen vaihdon. Kuviossa 31 näkyy tapahtumat, jolloin komponentin vaihto on suoritettu. Vaihto alkaa 14.11.2022 10.22.57, jolloin tapahtuma "DP SLAVE VIKKA" tulee listalle näkyviin. Vaihto on valmis 14.11.2022 10.26.27, jolloin edellä mainittu vika poistuu. Kuviossa 32 on näytetty tapahtumat seuraavalta vuorokaudelta ja siinä on havaittavissa, että laitteelle ei kohdistu yhtään tapahtumaa tuolta ajalta. Kylmäkeskuksen logiikan häiriölokien mukaan laitteessa on edelleen havaittavaa vikaa, mutta kommunikointipisteen yli toimii moitteetta.

| Alkuaika: 14.11.2022 0.00.59   |                     |                          |       |        |         |                 |                        |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------|-------|--------|---------|-----------------|------------------------|
| Loppuaika: 14.11.2022 23.59.59 |                     |                          |       |        |         |                 |                        |
| Rajoitus: 5000                 |                     | Rivien kokonaismäärä: 12 |       |        |         |                 |                        |
| Tyyppi                         | Aika                | Pr.taso                  | Lähde | Alue   | Positio | Kuvaus          | Tapahtuma              |
| Hälytys                        | 14.11.2022 10.29.21 | ack                      | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | DP SLAVE EI VASTAA     |
| Hälytys                        | 14.11.2022 10.29.21 | ack                      | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | DP SLAVE VIKKA         |
| Hälytys                        | 14.11.2022 10.26.27 | --                       | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | DP SLAVE EI VASTAA     |
| Hälytys                        | 14.11.2022 10.26.27 | --                       | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | DP SLAVE VIKKA         |
| Hälytys                        | 14.11.2022 10.22.57 | ++++                     | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | DP SLAVE EI VASTAA     |
| Hälytys                        | 14.11.2022 10.22.57 | ++++                     | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | DP SLAVE VIKKA         |
| Hälytys                        | 14.11.2022 9.08.37  | --                       | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | MODUULI / KANAVA VIKKA |
| Hälytys                        | 14.11.2022 8.37.32  | ack                      | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | MODUULI / KANAVA VIKKA |
| Hälytys                        | 14.11.2022 8.22.07  | ++++                     | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | MODUULI / KANAVA VIKKA |
| Hälytys                        | 14.11.2022 7.40.16  | --                       | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | MODUULI / KANAVA VIKKA |
| Hälytys                        | 14.11.2022 7.25.51  | ack                      | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | MODUULI / KANAVA VIKKA |
| Hälytys                        | 14.11.2022 7.25.46  | ++++                     | S     | PROFIB | AP18    | slot03 slave090 | MODUULI / KANAVA VIKKA |

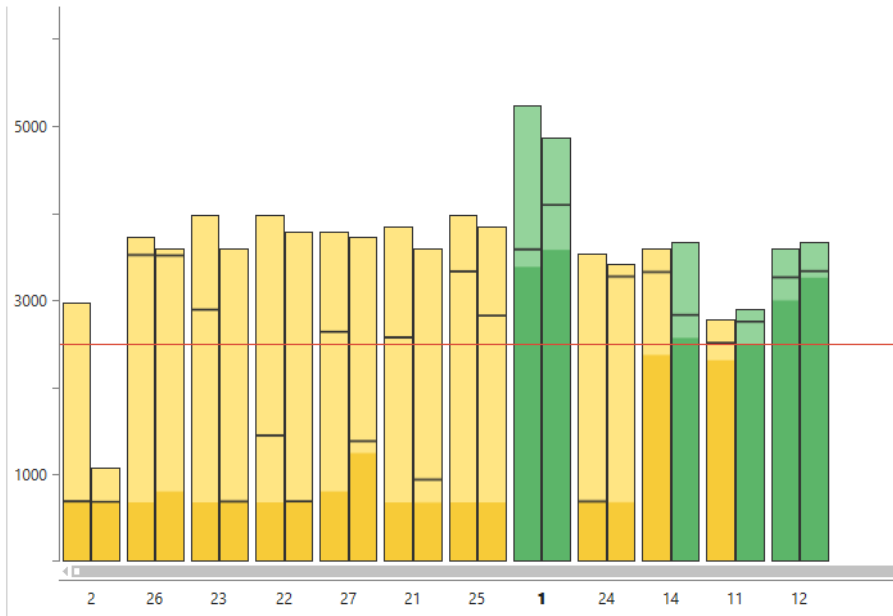
Kuvio 31. Valmet DNA historia data ennen DP/DP koplerin vaihtoa.

| Alkuaika: 15.11.2022 0.00.59  |      |                         |       |      |         |        |           |
|---|------|-------------------------|-------|------|---------|--------|-----------|
| Loppuaika: 15.11.2022 23.59.59  |      |                         |       |      |         |        |           |
| Rajoitus: 5000  |      | Rivien kokonaismäärä: 0 |       |      |         |        |           |
| Tyyppi  | Aika | Pr.taso                 | Lähde | Alue | Positio | Kuvaus | Tapahtuma |
| Hakuehdot:  |      |                         |       |      |         |        |           |
| Tapahtuman tyyppi: Hälytys  |      |                         |       |      |         |        |           |
| Prioriteetti: 801-1000,601-800,401-600,201-400,1-200                            |      |                         |       |      |         |        |           |
| Positio- ja tapahtumasuodatus:  |      |                         |       |      |         |        |           |
| - Lue mukaan  |      |                         |       |      |         |        |           |
| - Position nimi: AP18   |      |                         |       |      |         |        |           |
| - Position kuvaus: slot03*  |      |                         |       |      |         |        |           |
| Sisällyttä tilamuutokset: Aktivointi, Passivointi, Kuitaus, Uudelleenaktivointi |      |                         |       |      |         |        |           |

Kuvio 32. Valmet DNA historia data DP/DP koplerin vaihdon jälkeen.

Kylmäkeskuksen väylässä ollut signaalin vääristymä ei poistunut eikä signaalin muodossa tapahtunut raportoitavia muutoksia. Sen sijaan osoitteella kaksi olevan DP/DP koplerin vaihdon jälkeen

tehtyjä mittauksia tarkasteltaessa havaittiin, että maksimi jännitetasossa oli tapahtunut positiivinen muutos (kuvio 33). Muutoksen vaikutusta tai syytä muutokselle ei voida selittää kerätyn tiedon perusteella ja tarkemman selvityksen tekeminen todettiin tulosten perusteella tarpeettomiksi.



Kuvio 33. Kylmäkeskuksen DP väyläjännite vertailu.

## 9.2 Parannuskohteet ja väylän ylläpito

Valiolle tehdyssä opinnäytetyössä havaittiin määrällisesti paljon erilaisia asennuspoikkeamia, kun vertailua tehtiin Profibus assembling guidelines-ohjeeseen. Kuitenkaan mikään näistä poikkeamista ei yksin ole vaikuttanut väylän toimintaan ja väylien suuren lukumäärän vuoksi yksittäisen väylän asennusvirheet ovat vähäisiä. Asennusvirheiden korjaamisen osalta voidaan todeta, että korjausten ja uudisasennusten yhteydessä parannuksia kannattaa tehdä, mutta tulosten ja mittausten perusteella välittömiin korjauksiin ei ole tarvetta.

Valiolla väylien kunnonvalvontaan ja seurantaan liittyvissä toimenpiteissä on tutkimuksen mukaan eniten parannettavaa. Vuosia sitten tehty päätös lopettaa mittaukset, on tutkimuksessa tulleiden puutteiden havaitsemisen myötä ollut hyvä päätös, jolla on säästetty kustannuksia. Mittauspisteiden puuttumisen vuoksi suoritetuilla mittauksilla ei ole ollut riittävää mahdollisuutta havaita vikoja tai vikaantumista. Jos ennakoivan mittauksen tarkoitus on tunnistaa mahdollisia vikaantumisia, on erityisen tärkeää suorittaa mittauksen riittävän laajasti ja luotettavasti. Luotettavien mittausten

lisäksi mittaustulosten analysointi vaatii myös paljon aikaa ja osaamista. Tulosten analysoinnin tukena on hyvä olla myös jokin ohjelma, jolla analyysin voi suorittaa. Paperisten raporttien sisältöön ei yleensä tuoda tietoa, kuin muutamia sivuja ja jos mittaushetkellä ei ole mitään poikkeavaa, niin raportissa ei myöskään havaita mahdollisia vikoja. Vertailua on mahdollista, jos mittauksia on saatavilla pitkältä ajalta. Mittapisteiden lisääminen hallitusti ja mittausten suorittaminen ennakkohuoltona vuosittain sekä aina muutosten yhteydessä voisi taata riittävän ylläpidon mahdollisten vikojen havaitsemiseksi. Opinnäytetyötä varten hankittu väyläanalyysointilaite mahdollistaa mittausten tekemisen sekä analysoinnin Valion sisäisesti ja piilevien vikojen löytämiseen mittauksia voidaan suorittaa pitkältä ajalta, jolloin saadaan suurempi määrä dataa ja mahdollisuus vikojen havaitsemiseen kasvaa.

## 10 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Valio Jyväskylän toimilaitoksen Profibus-väylien kuntoa ja havaita sekä korjata valikoituneen kohteen toimintaa. Määrällisen analyysin perusteella kehityskohteeksi valikoitunut väylä oli työn tekemisen kannalta hyvä kohde, koska siihen oli helppo kohdistaa määritellyjä korjaustoimenpiteitä sekä niiden vaatimia lisämittauksia. Lisäksi väylässä olleet viat olivat helposti todennettavissa, mutta niiden aiheuttajaa ei ollut tiedossa, jolloin myös halutun lopputuloksen määrittely oli helppoa. Työn tekemisen aikana mittauksia suoritettiin suureen määrään väyliä ja mittauksia tehtiin eripituisia aikoja ja näillä mittauksilla saatiin hyvää tietoa siitä, miten mittaus tulee suorittaa riippuen siitä mitä etsitään. Opinnäytetyön teoriaosuudessa painotus tapahtui lähinnä mittauspisteiden sijaintiin ja määrään, mutta todellisuudessa tarvitaan myös erilaisia mittauksia erilaisten häiriöiden selvittämiseksi.

Opinnäytetyön tuloksiin kuuluneen toiminnan parantamisessa saavutettiin haluttu lopputulos, jonka onnistuminen on todennettavissa Valmet DNA -historiadatan perusteella. Tästä huolimatta, tutkimuskohteen logiikan keräämän tiedon mukaan laitteistossa on vikaa, mutta tämä vika ei ole tutkimuksen mukaan enää Profibus-väylässä vaan jossain muualla. Varsinaista syytä sille, miksi tutkimuskohteena olleessa väylässä oli vikoja, ei löytynyt. Komponentin vaihdolla toiminta parani, mutta komponentin vikaa ei selvitetty, eikä tuloksia vahvistettu vaihtamalla viallista komponenttia takaisin. Tällä tavalla olisi saatu varmistus sille, että toimenpide oli varmasti oikea. Myös korjaustöiden jälkeinen tarkastelu-aika jäi lyhyeksi, jonka vuoksi tulosten vaikutus pitkällä aikavälillä jäi toteuttamatta. Väylän toiminnanparantumiseen johtaneista toimenpiteistä voidaan todeta ainoastaan,

että komponentin vaihdolla tilanne parani ja tämä toimenpide olisi voitu määritellä myös ilman tutkimusta. Ilman tutkimusta olisi jäänyt kuitenkin mahdollisuus, että väylään olisi kohdistettu lisää toimia logiikan häiriölokin perusteella, mutta tutkimuksen myötä näiltä toimenpiteiltä vältyttiin.

Kehittämistyön aikana suurin huomio kiinnittyi siihen, kuinka luotettava tekniikka Profibus-kenttäväylä on. Fyysisen kenttäväylän rakentamiseen käytetty RS-485 -standardi kompensoi ulkoisia häiriöitä luotettavasti ja tämän lisäksi automaatiojärjestelmä sallii verrattain pitkiä tietokatkoksia, jonka aikana Profibus-viestikehys yleensä saapuu perille. Näiden yhdistelmällä on saatu aikaan systeemi, jonka toiminta on erittäin luotettavaa. Toisaalta tämä sama ominaisuus on ajanut Valion tilanteeseen, jossa vikojen etsintä väylistä koetaan todella haastavaksi. Sama vian etsinnän haaste on havaittavissa kaikissa väyläteknologioissa, ei pelkästään Profibus-väylissä.

Profibus-standardiin kuuluu laajasti diagnostiikkaa, joka kertoo luotettavasti vian aiheuttajan tai vähintään sillä voidaan rajata etsintää sen sijaan, että vikaa haetaan koko järjestelmästä. Yleensä käytetään kuitenkin vai diagnostiikan standardiosaa ja laajennettu diagnostiikka jää pois automaatiojärjestelmästä. Opinnäytetyössä kiinnittyi huomiota myös siihen, kuinka Valmet DNA:assa käsitellään näitä vikoja ja mistä vikoja liipaistaan. Havaintojen mukaan hälytykset, jotka järjestelmään tulevat, ovat usein aiheellisia, mutta joissain tapauksissa harhaan johtavia.

Profibus-väylien mittaamisen haasteet tulivat työaikana hyvin esille ja niiden perusteella voi todeta, että mittaukseen tarvitaan aikaa ja osaamista. Vaikka mittalaite kertoo visuaalisesti väreillä ja merkeillä erilaisia indikaatioita, niin pelkästään niiden avulla ei voi tehdä kovinkaan tarkkoja johtopäätöksiä väylän tilasta. Erityisesti tilanteet, jossa väylää ei tunneta ja mittaaminen on tapa, jolla vikaa etsitään, vaatii Profibusstandardin tuntemusta ja viestiliikenteen tuntemusta. Tämän tuntemuksen avulla on mahdollista suodattaa viestien joukosta niitä, joilla on selvityksen kannalta merkitystä. Työssä käytetty Indu-Sol analysaattori, kertoo suoraan viestikehysten standardiosan sisällön, mutta viestit on itse osattava yhdistää keskenään protokollan mukaisesti. Väylien kuntoon ja sen valvontaan on hyvä kiinnittää huomiota ja näiden mittausten merkittävin hyöty havaitaan vertailua tehtäessä. Määrävälein tehtävien mittausten suorittamiseen ei tarvita erityisosaamista ja siitä syytä niiden tekeminen olisi kustannustehokasta. Toisaalta mittausten jälkeen tulokset pitää analysoida, jotta ennakoitua voidaan tehdä, muutoin mittauksien hyödyt jäävät saavuttamatta.

Opinnäytetyön luvussa 6.1 mainitut dokumentaatiovirheet käytiin läpi kuvista vastaavan henkilön kanssa ja päädyttiin toteuttamaan korjauksia kuviin projektien ja korjausten yhteydessä. Tämä tapa on tässä tapauksessa hyvin perusteltu, koska havaittu virhe ei ole toiminnan kannalta niin kriittinen, että sitä aloitettaisiin korjaamaan kiireellisesti. Työn aikana havaittuja mittapisteiden puutetta pyritään korjaamaan tilanteissa, joissa se on mahdollista. Tällaisia tilanteita ovat, korjaukset ja muut hallitut toimenpiteet, joissa keskuksiin tehdään muutoksia. Työstä saatu mittaamiseen liittyvä osaaminen pyritään kertomaan mahdollisimman perusteellisesti toimeksiantajan henkilökunnalle sekä muille Valion toimipisteille, joilla on käytössä Profibus-väyliä. Tällä tavalla pyritään lisäämään osaamista vian hakemiseen liittyen sekä yleistä tekniikan tuntemusta. Väylien kunnonvalvontaan liittyen työn tulosten perusteella tehdään tarkastelu, jossa tutkitaan, onko väylien kunnonvalvonnalle tarvetta olemassa oleva tiedon valossa. Näiden jatkotoimenpiteiden lisäksi tutkimuskohteena olleen kylmäkeskuksen automaation tilanne pyritään saattamaan tilaan, jossa häiriöitä ei synny normaalikäytössä. Tämän työn tuloksiin lukeutuu tieto siitä, että Profibus-väylä toimii moitteetta ja sen tiedon valossa häiriön aiheuttaja rajautuu melko pienelle osa-alueelle. Jatkoselvitystä tehdään yhdessä asiantuntijoiden ja laitevalmistajan teknisentuen kanssa.

## Lähteet

Basic Process Control Systems. N.d. STI Automationin kotisivuolla oleva artikkeli prosessinohjausjärjestelmistä. Viitattu 9.9.2022. <http://stiautomation.net/basic-process-control-systems/>

Busworks 900PB series 2002. Acromag nimisen yrityksen tekninen dokumetaatio profibus-väylän toimintaan liittyen. Viitattu 2.11.2022. [https://www.automation.com/getmedia/037c6ec2-766d-4fba-9282-69f58400b347/Profibus\\_Introduction\\_698A.doc](https://www.automation.com/getmedia/037c6ec2-766d-4fba-9282-69f58400b347/Profibus_Introduction_698A.doc)

Cordova, P., de Dios Espinoza, J. Muso, P., Robayo, A., & Robayo, C. 2021. Diagnosis of Physical Faults in Profibus-DP networks through artificial neuronal networks. Viitattu 13.10.2022. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG52154.2021.9530978>

Hallituksen toimintakertomus ja tilinpäätös 2021. 2022. Valion toimintakertomus ja tilinpäätös vuodelta 2021. Viitattu 2.9.2022. [Yritysraportit ja julkaisut | Valio](#)

IEC 61158-3-3:2014. 2014. Industrial communication networks – Fieldbus specifications Part 3-3: Data-link layer service definition – Type 3 elements. Viim. muutos. 01.08.2014. Viitattu 16.09.2022. [SFS Online](#)

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas: Kuinka kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kugelstadt, T. 2021. The RS-485 Design guide. Texas Instrumentin RS-485 mukaisen kenttäväylän toimintaa käsittelevä opas. Viitattu 2.9.2022. [The RS-485 Design Guide \(Rev. D\) \(ti.com\)](#)

Mittaaminen: Tilastoyksikkö, muuttujat ja havaintomatriisi. N.d. Tietoarkiston artikkeli joka käsittelee mittaamista. Viitattu 22.9.2022. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/mittaaminen/mittaaminen/>

OSI- ja TCP/IP mallit. 2022. OSI ja TCP/IP malleista kertova artikkeli kimraka.net sivustolla. Viitattu 29.11.2022. [osi-ja-tcp-ip-mallit | krimaka.net](#)

PB-Qone User manual 2017. Indu-Solin valmistaman väyläanalyysointilaiteen manuaali. Viitattu 9.11.2022.

Profitrace 2.9 user manual. N.d. Procentec Profitrace väyläanalyysointilaiteen käyttöohje. Viitattu 14.09.2022. <https://procentec.com/media/3331/profitrace-v29-manual-en-v503-sec.pdf>

Profibus. 2022. Profibus.com sivustolla oleva järjestelmän esittely. Viitattu 13.10.2022. [PROFIBUS](#)

Profibus assembling guidelines. 2020. Profibus.com sivustolla oleva järjestelmän kaapeloinnin asennusohje. Viitattu 4.10.2022. [PROFIBUS Installation Guidelines](#)

PROFIBUS Decodierungstabelle. N.d. Indu-Sol PBQone laitteen mukana toimitettu Profibus-signaalien koodiavain. Viitattu 9.11.2022.

Profibus Manual by Max Felsler. 2017. Profibus väylästä kertova manuaali. Viitattu 8.11.2022. [PROFIBUS Manual \(felser.ch\)](https://www.felser.ch/PROFIBUS-Manual/)

Profibus System Description. 2016. Profibus järjestelmästä kertova artikkeli. Viitattu 16.09.2022. <https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=52380&to-ken=4868812e468cd5e71d2a07c7b3da955b47a8e10d>

Reynders, D., Mackay, S. & Wright, E. 2004. Practical Industrial Data Communications: Best Practice Techniques. Amsterdam: Elsevier.

Valmet DNA Automation System. 2022. Valmet kotisivulla oleva esittely Valmet DNA järjestelmästä. Viitattu 16.9.2022. <https://www.valmet.com/automation/distributed-control-system/>

Vacon RS485 and CAN Bus option boards Installation guide. 2020. Vacon taajuusmuuttajan Profibus kortin asennus opas. Viitattu 8.11.2022. [Vacon OPTE3 E5 Profib.Opt. Board Manual \(danfoss.com\)](https://www.danfoss.com/~/media/Products/Industrial%20Automation/RS485%20and%20CAN%20Bus%20option%20boards%20Installation%20guide.pdf)

Vilka, H. 2007. Tutki ja Mittaa: Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Tammi.

Vilpas, P. Kvantitatiivinen tutkimus. Metropolian kvantitatiivista tutkimusta käsittelevä aineisto. Viitattu 14.9.2022. [Moniste.pdf \(metropolia.fi\)](https://www.metropolia.fi/fi/files/moniste.pdf)

What is Process Control? n.d. Sätölaitteita valmistavan Harold Beck & Sons -yrityksen kotisivuilla oleva artikkeli. Viitattu 9.9.2022, <https://www.haroldbeck.com/process-control/>