

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka / Koneautomaatio

MINSIK18

2019

Akseli Karlsson

TIEDONSIIRTO HITSAUSYMPÄRISTÖSSÄ

– Langaton tiedonsiirto

Akseli Karlsson

TIEDONSIIRTO HITSAUSYMPÄRISTÖSSÄ

- Langaton tiedonsiirto

Opinnäytetyö tehtiin Pemamek Oy:n toimeksiantona. Työssä tarkoituksena oli tutustua tiedonsiirtoon ja kartoittaa mahdollisia laitteistoja hitsauslaitteen ohjaus- ja turvasignaalin siirtämiseen langattomasti. Kriteereinä valittavalle laitteistolle oli helppo konfiguroitavuus, asennus ja tiedonsiirron varmuus haasteellisissa olosuhteissa.

Työ aloitettiin tiedonsiirtoon tutustumalla ja teollisuuden tarkoitettujen langattomien siltalaitteiden kartoituksella. Vaihtoehtoja oli jonkin verran, joista testiin valittiin HMS:n Anybus tuoteperheen Bridge ja Bolt. Nämä laitteet täyttivät vaatimukset konfiguraation helppoudesta ja testaamalla selvitettiin ovatko ne toimintavarmuudeltaan sopivia korvaamaan käytössä olevan kaapeloinnin. Toisena tuotteena testattiin Phoenix Contactin WLAN 5100- ja -1100 -laitteet, joissa konfiguroitavuus oli haastavampaa.

Lopputulos laitteistojen testauksen jälkeen osoitti, että HMS:n laitteistot eivät ole toimintavarmuudeltaan käyttökelpoisia haluttuun kohteeseen. Tämä johtui suurelta osin laitteistojen puutteellisesta tuesta yrityksen laitteistoihin, joten turvasignaalit eivät suostuneet toimimaan. Tuotteet eivät myöskään kyenneet toimimaan EtherCAT- kenttäväylän kanssa yhteen. Phoenix Contactin laitteet puolestaan eivät olleet sopivia ongelmallisemman konfigurointinsa vuoksi.

ASIASANAT:

Tiedonsiirto, WLAN, Bluetooth, tiedonsiirron protokollat

Akseli Karlsson

DATA TRANSMISSION IN WELDING ENVIRONMENT

- Wireless data transmission

This bachelor's thesis was commissioned by Pemamek Oy. The purpose of the thesis was to study data transfer in general and to map out possible equipment for wireless transmission of the control and security signals of a welding device. The main criteria for the equipment were easy configuration and installation, and it was required to be able to transfer data reliably in challenging conditions.

The first thing to do was to get better understanding of how data transfer works and to find industrial wireless bridge devices that might be usable for this specific case. There was some possible equipment available, and in the end HMS Anybus products Bridge and Bolt were selected. These products were easy to configure, and testing was conducted to determine if they would have the operational reliability to replace existing cabling. Another product tested was WLAN 5100 and 1100 by Phoenix Contact. These devices seemed reliable, but configuration was harder than configuring anybus products

The results from testing the equipment revealed that HMS equipment did not have an operational reliability to work with the intended welding equipment. This was largely due to Anybus products just not being compatible with Pemamek's equipment, which lead to safety signals dropping without warning. Bridge and Bolt were not compatible with EtherCAT environment, which would have been essential. Phoenix Contact's WLAN 5100 and 1100 were not chosen due to their more problematic configuration.

KEYWORDS:

Data transmission, WLAN, Bluetooth, Data transmission protocols

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TIEDONSIIRRON PERUSTEET	8
2.1 Viestinnän malli	8
2.2 Tiedonsiirtoverkko	9
2.2.1 Laajaverkko WAN	9
2.2.2 Lähiverkko LAN	9
2.3 Langaton verkko WLAN	10
2.3.1 Radio-aaltoihin perustuva siirto	10
2.3.2 Infrapunasiirto	10
3 TIEDONSIIRRON PROTOKOLLAT	12
3.1 OSI-malli	12
3.2 Protokollaperheet ja TCP/IP	14
3.3 Langattoman tiedonsiirron protokolla ja standardit	14
3.3.1 802.11a	15
3.3.2 802.11b	15
3.3.3 802.11g	15
3.3.4 802.11n	15
3.3.5 Bluetooth	16
4 LANGATON TIEDONSIIRTO	17
4.1 Langattoman tiedonsiirron häiriöitä ja ongelmia	17
4.2 Radioaaltojen toiminta	17
5 LAITTEET JA TESTAUS	19
5.1 WLAN/Bluetooth-tukiasemat Anybus Bridge ja Bolt	19
5.1.1 Bridge ja Bolt WLAN	21
5.1.2 Bridge ja Bolt Bluetooth	22
5.2 Tukiasema Phoenix WLAN 5100	22
5.3 Tukiasema Phoenix WLAN 1100	23
5.4 Testaus-logiikka Beckhoff CX8090	24
5.5 Testaus	25

5.5.1 Langaton yhteys lähietäisyydellä	25
5.5.2 Yhteyden toiminta häiriöolosuhteissa	26
5.5.3 Testataan Anybus-tukiasemien toiminta EtherCAT-sovellukseen	29
6 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT	30
LÄHTEET	31

KUVAT

Kuva 1 OSI-malli [10].	13
Kuva 2 Radiosignaalin häiriöitä [14].	18
Kuva 3 Anybus Wireless Bridge.	20
Kuva 4 Anybus Wireless Bolt.	20
Kuva 5 Phoenix WLAN 5100 ja WLAN 1100 (oikealla).	23
Kuva 6 Beckhoff RX8090, mukana virtalähde	25
Kuva 7 Anybus Bridget testissä lähietäisyydellä	26
Kuva 8 Anybus Bridge kohdennettuna hallin suuntaan, missä toinen logiikka on sijoitettuna.	28

TAULUKOT

Taulukko 1. Anybus Bridgen ja Boltin WLAN tiedot [15] [16].	21
Taulukko 2. Anybus Bridgen ja Boltin Bluetooth tiedot [15] [16].	22
Taulukko 3. WLAN 5100 tiedot [17].	23
Taulukko 4. WLAN 1100 tukiaseman tiedot [18].	24

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

dBi	Desibelit Isotrooppisella antennilla [21].
dBm	Desibelit milliwattiin [22].
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power, Käytettävä isotrooppinen säteilyteho, huomioitu tehon häviöt signaalissa [23].
ISO	International Organization for Standardization, Kansainvälinen standardisoinnin organisaatio, joka julkaisee eri aloille liittyviä standardisointeja.
LAN	Local Area Network, lähiverkko [3].
MIMO	Multiple Input Multiple Output, Useita tuloja useita lähtöjä, MIMO metodilla antennien signaalit lähetetään useana kopiona vastaanottaja antennille, joka tehostaa tiedonsiirtoa häiriöiden aiheuttamaa datahäviötä vastaan [25].
OSI	Open Systems Interconnection, Avointen järjestelmien yhteenlittäminen. ISO:n kehittämä malli tiedonsiirron standardoimiseksi [10].
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol, Lähetyksen kontrollointi protokolla/internet protokolla, TCP/IP on kokonaisuus erilaisia protokollia, joilla on jokaisella oma tehtävä ja käyttötarkoitus [7].
WAN	Wide Area Network, laajaverkko [3].
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko [6].

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Pemamek Oy:n toimeksiantona ja tarkoituksena oli kartoittaa mahdollisia langattomia ratkaisuja hitsausrobotin käyttöön. Kriteereinä langattoman tiedonsiirron onnistumiselle on häiriötön ja varma tiedonkulku sekä helppokäyttöisyys.

Häiriötön tiedonkulku varmistetaan testeillä, joita tehtiin Pemamekin tiloissa Loimaalla. Mahdolliset valittavat komponentit pääsevät täten jo koekäyttöön niihin olosuhteisiin, missä niiden olisi lopulta tarkoitus myös toimia.

Työ alkoi eri yrityksiä kartoittamalla, jotka tarjoavat teollisuuteen langattomia tiedonsiirto ratkaisuja. Yrityksiä löytyi muutama, joista testaukseen valittiin HMS:n Anybus-tuotteet Bridge ja Bolt. Tähän vaikutti tuotteiden helppo käytettävyys ja asennettavuus samoin, kuin huokeampi hinta verrattuna kilpailijaan. Tietoa kerättiin myös tiedonsiirrosta, tiedonsiirron protokollista ja ympäristön vaatimista standardeista.

Valittuja laitteita testattiin Beckhoffin logiikalla ja siihen asennetulla yksinkertaisella ohjelmalla, jonka tarkoituksena oli pitää turvasignaali päällä ja siirtää jatkuvasti logiikassa olevien valojen vilkutus signaalia. Ensin tarkoituksena oli saada laitteille toimiva yhteys lähietäisyydellä, sitten siirtää niitä kauemmas toisistaan tasaisin välimatkoin, sekä viedä nämä hitsausympäristöön ja todeta vaikutukset käytännössä. Toinen testaus suoritettiin hitsaustornissa, jossa ethernet-kaapeli korvattiin langattomilla laitteistoilla ja katsottiin kykenevätkö laitteet toimintaan EtherCAT-ohjelmiston kanssa.

2 TIEDONSIIRRON PERUSTEET

Kulttuurin asettamat normit ja säännöt säätelevät ihmisten välillä tapahtuvaa kommunikointia. Se asettaa tietyt rajat ja säännöt mikä on hyväksyttävää ja mikä luokitellaan epäsovivaksi. Koneiden välinen tiedonsiirto vaatii myös rajat, joita kutsutaan protokolliksi. Niiden avulla koneet kykenevät ymmärtämään toisiaan ilman konflikteja ja tarvittava tieto voi siirtyä laitteelta toiselle. Mitä suurempi kokonaisuus koneita halutaan liittää toisiinsa, sitä suurempi on tarve tarkoille säännöille tiedonsiirron suhteen. Laitteverkot ja kokonaisuudet tarvitsevat siis poikkeuksetta oman sääntömallinsa, jossa on poikkeuksetta pysyttävä, jotta tiedonsiirto onnistuu. [1.]

Yhteisten protokollien lisäksi koneiden välinen tiedonsiirto vaatii tarkoitukseen sopivat laitteistot. Jotta tietoa pystytään siirtämään koneelta koneelle, on niissä oltava valmiudet lähettää ja vastaanottaa informaatiota. Laitteiden tulee olla luonnollisesti keskenään yhteensopivia. Ihmisten välillä kommunikaatio ei toimi, mikäli henkilöt eivät puhu samaa kieltä. Tämä pätee myös koneiden välisessä viestinnässä ja vaikuttaa suoraan mahdollisiin laitevalintoihin. [1.]

2.1 Viestinnän malli

Koneiden välinen viestintä vaatii onnistuakseen oikeanlaisen laitteiston. Tiedon kerääjää/syöttäjää kutsutaan tässä mallissa agentiksi. Agentti voi olla siis sensori tai tietoa järjestelmään syöttävä käyttäjä. Agentin informaatio kuitenkin halutaan siirtää laitteelta toiselle. Kun tarvittava informaatio saadaan agentilta päätelaitteelle, siirretään se datana tiedonhallinta laitteelle. Tässä mallissa data tarkoittaa siis tiettyä merkki jonoa tai koodia, joka sisältää siirrettävän informaation.

Tiedonhallintalaitte käsittelee tämän datan yhtenä pakettina, jota kutsutaan datapaketiksi. Datapaketti muutetaan tiedonhallintalaitteella sarjamuotoiseksi merkki jonoksi, josta se ohjataan lähettimeen.

Lähettimen tehtävänä on muuttaa tiedonhallintalaitteelta tuleva data tiedonsiirtomenetelyn ja -välineen tarvitsemaan signaalimuotoon. Muutettu signaali siirretään valitun siirtovälineen kautta vastaanottimeen, joka puolestaan toimii käänteisesti lähettimeen nähden, muuttaen signaalin alkuperäiseen muotoonsa. [2.]

2.2 Tiedonsiirtoverkko

Tiedonsiirtoverkolla tarkoitetaan kahden tai useamman laitteen toisiinsa yhdistävää verkkoa, jossa informaation siirtäminen laitteelta toiselle on mahdollista. Jokainen verkkoon kytketty laite saa oman osoitteensa, jotta tiedon siirtäminen oikeaan kohteeseen on mahdollista, esimerkiksi internetissä olevat tietokoneet tunnistetaan niiden IP-osoitteiden perusteella. [3.] [4.]

Tiedonsiirtoverkot jaetaan yleensä peruseriaatteeltaan kahteen tyyppiin:

- Laajaverkko (Wide Area Network, WAN)
- Lähiverkko (Local Area Network, LAN)

[3.]

2.2.1 Laajaverkko WAN

Laajaverkko kattaa nimensä mukaisesti suuria alueita. Siinä yhdistetään pienempiä paikallisverkkoja ja peittoalue on vähintään useiden kaupunkien suuruinen. Suurimmillaan WAN-verkko kattaa peräti mantereita. Parhaana esimerkkinä WAN-verkolle toimii internet. WAN-verkko ei olisi toiminnallisesti mahdollinen, jos se yrittäisi yhdistää laitteet suoraan toisiinsa. Toiminta perustuu pienempien LAN-verkkojen yhdistämiseen, jotka sitten voivat vaihtaa tietoa toisten LAN-verkkojen kanssa osana suurempaa kokonaisuutta. [3.]

2.2.2 Lähiverkko LAN

Lähiverkko on tavallisesti yhden organisaation hallinnoima, maantieteellisesti rajattu ja toteuttaa kyseisen alueen sisäistä tiedonsiirtoa suurella siirtokapasiteetilla. Lähiverkko koostuu verkkolaitteista (kytkimet, reitittimet), palvelimista, työasemista sekä kaapeleista. Verkko voi olla kokonaan tai osittain toteutettu langattomasti (Wireless LAN, WLAN). Hyvä esimerkki LAN-verkosta on kotona toteutettu verkko, missä useat laitteet yhdistetään samaan kotiverkkoon oman reitittimen kautta joko kaapelein tai WLAN-yhteydellä. [5.]

2.3 Langaton verkko WLAN

Langattomalla verkolla tarkoitetaan tiedonsiirtoverkkoa, jossa datan siirto on toteutettu ilman fyysistä yhteyttä laitteelta laitteelle. Verkko vaatii toimiakseen lähettimen ja vastaanottimen, jotka on yhdistettävä laiteparin molempiin päihin. Langattoman yhteyden toteutukseen on kaksi perustekniikkaa:

- Radio-aaltoihin perustuva siirto
- Infrapunasiirto

[6.]

2.3.1 Radio-aaltoihin perustuva siirto

Mikro-aaltoihin perustuva siirtoverkko tarkoittaa tiedon siirtoa radioaalloilla. Sähkömagneettisia aaltoja hyväksikäyttäen lähetetään signaali vastaanottajalle moduloituna, ja vastaanottaja sitten purkaa modulaation ja saa näin halutun tiedon. Mitä suurempi taajuus ja lähetysnopeus on käytössä, pienenee lähettäjän ja vastaanottajien välinen suurin sallittu etäisyys. Siirtoetäisyyteen vaikuttaa myös siirtotiellä olevat materiaaliesteet ja esimerkiksi koneet, jotka saattavat aiheuttaa häiriötä sähkömagneettisilla kentillään.

Mikro-aalto teknologia kattaa kaikki sovellukset radiolähettimistä Bluetoothiin ja gsm teknologiaan. [6.]

2.3.2 Infrapunasiirto

Infrapuna-valolla voidaan siirtää tietoa langattomasti, mikäli lähettäjän ja vastaanottajan välillä ei ole näkymäesteitä. Infrapunatiedonsiirto perustuu optisiin solmuihin, joita hyväksikäyttäen voidaan lähettää ja vastaanottaa signaaleja lyhyillä etäisyyksillä, maksimissaan noin 1500 metrin matkalta.

Infrapunatekniikan etuina radiotekniikkaan nähden on:

- Taajuusalue ei ole radiotaajuusalueella, joten infrapunan käyttö ei tarvitse erillistä lupaa viranomaisilta.
- Tuotteet ovat helppoja asentaa ja kohtuu hintaisia

- Infrapunalla saadaan aikaan suuri kaistanleveys, joten tiedonsiirron nopeuskin on suuri

Ehdoton haittapuoli infrapuna-siirrossa on vaatimus esteettömästä näköyhteydestä kahden pisteen välillä. Tästä johtuen infrapuna-toteutukset ovat alttiita luonnollisille häiriöille, kuten sumulle, savulle ja pölylle. Ne eivät siis sovellu alkuunkaan tiedon siirtämiseen ulkokäytössä eivätkä myöskään teollisuuskäytössä, sillä vaatimuksena on liian kliiniset olosuhteet. [6.]

3 TIEDONSIIRRON PROTOKOLLAT

Protokollat ovat laitteiden välisen kommunikoinnin kannalta välttämättömiä sääntö kokonaisuuksia. Protokollien ansiosta eri laitteilla on mahdollisuus kommunikoida keskenään, sillä niiden välille on luotu yhteiset pelisäännöt, joiden mukaan toimia. [7.] Protokollia käytetään kaikessa tiedonsiirtoliikenteessä koneiden välillä ja varmistetaan tietoliikenteen yhteensopivuus [8]. Verkossa tapahtuva kommunikointi käyttää TCP/IP-nimisiä protokollia. TCP/IP on kokoelma erilaisia protokollia, joilla on jokaisella oma tehtävä ja käyttötarkoitus. Protokollat on luotu kansainvälisten standardien mukaan ja niillä pyritään takaamaan laitteiden mahdollisuus kommunikoida keskenään verkossa maailmanlaajuisesti. [7.]

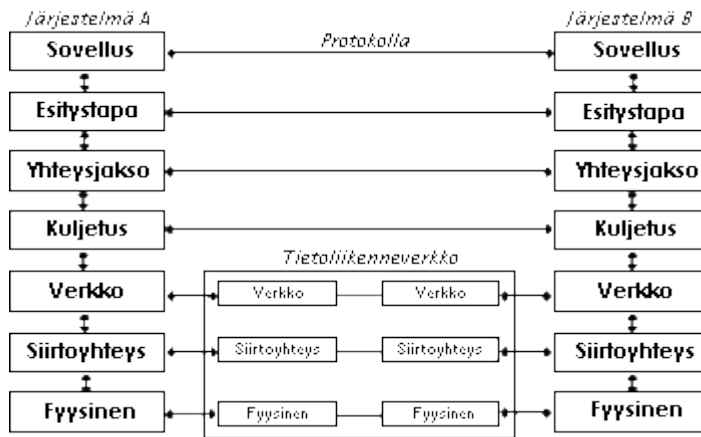
Protokollat ovat yhteyden luotettavuuden kannalta avain asemassa. Yhteys toimii hyvin, kun käytettävä protokolla havaitsee siirtovirheet, kykenee toipumaan virheistä ja kykenee hallitsemaan tietovuota.

Protokollat koostuvat kolmesta pääosasta [8.] [9.]:

1. Syntaksi: Osa sisältää dataformaatin ja signaali tasojen tiedot.
2. Semantiikka: Osassa on kuvattu tiedonsiirron ohjauksen ohjausinformaatio. Tässä osassa suoritetaan myös virheiden käsittely
3. Ajoitus: Osa määrittelee tietoliikenteen nopeuden jaksotuksen ja sovituksen.

3.1 OSI-malli

OSI (Open Systems Interconnection) -malli on ISO:n (International Standardization Organization) kehittämä malli tiedonsiirron standardiksi. Suunnitellun mallin tarkoituksena on antaa raamit tietoliikennejärjestelmän suunnittelulle. Malli on luotu kerroksista, joissa ylempänä olevat tasot ovat järjestäen toiminnaltaan haastavampia ja käyttävät hyväksi alemmilta tasoilta saatavaa tietoa.



Kuva 1 OSI-malli [10].

Kuvasta 1 nähdään, että OSI-malli koostuu seitsemästä tasosta, joista jokaisella on tärkeä osa kokonaisuuden muodostumisen kannalta.

- Fyysinen kerros aloittaa mallin ja sinne kuuluu tiedonsiirron loogiset, sähköiset ja mekaaniset toiminnot. Tässä kerroksessa tietoa voidaan siirtää sarjamuotoisesti tai rinnakkaismuotoisesti. Sarjassa bitit siirtyvät koneelta toiselle yksitellen peräkkäin, kun taas rinnakkaisesti yhden merkin kaikki bitit siirtyvät samanaikaisesti omia johtimiaan pitkin. Sarjamuotoinen tiedonsiirto on parempi ratkaisu pitkillä matkoilla ja langattomassa tiedonsiirrossa. Rinnakkaismuotoinen tiedonsiirto toimii puolestaan parhaiten koneen sisäiseen tiedonsiirtoon usean johtimen tarpeensa vuoksi.
- Siirtoyhteyskerros suorittaa yhteyden luomisen, purkamisen ja mahdollisen virheiden korjauksen. Kerroksessa suoritetaan myös vuonohjaus, eli se rajoittaa tiedon lähetyksenopeutta vastaanottajan kapasiteetin mukaan. Mikäli virheitä havaitaan tiedossa, kyseinen data lähetetään uudelleen.
- Verkkokerroksessa suoritetaan verkon rakenteesta riippumaton tiedonsiirto. Tehtävänä kerroksella on reitittää sanomat oikein monihaarisessa tietokoneverkossa. Tärkein tehtävä verkkokerroksella on mahdollistaa tietokoneverkkojen rakennus fyysisesti erilaisiksi, sillä tiedonsiirto onnistuu, kun verkkokerrokset ovat laitteissa fyysisistä eroista huolimatta samankaltaisia.
- Kuljetuskerros takaa luotettavan tietoliikenneyhteyden. Mikäli katkos tiedonkulussa syntyy, yrittää kuljetuskerros löytää mahdollisen vaihtoehdoisen reitin tiedon kululle, jotta siirtoliikenne ei katkeaisi.

- Yhteysjaksokerros huolehtii tiedonsiirron toiminnasta yhteyden katketessa. Tiedonsiirto ei siis saa mennä sekaisin katkon yhteydessä. Mikäli lähetettävä tieto on salattua, hoidetaan salaus yhteysjaksokerroksessa.
- Esitystapakerros päättää miten tieto esitetään siirron yhteydessä. Lähetetyn tiedon tulee olla sellaisessa muodossa, jonka myös vastaanottaja voi ymmärtää.
- Sovelluskerroksen tehtävänä on ohjata tiedonsiirto ohjelmaan, joka kyseistä siirrettyä tietoa tarvitsee. [10.]

3.2 Protokollaperheet ja TCP/IP

Protokollaperheitä on useita ja niiden avulla muodostuu tietoliikennearkkitehtuuri. Protokollaperheiden tarkoituksena on antaa kuvaus protokollatyypin toiminnoista loogisena kokonaisuutena. Näitä perheitä on useita ja tärkeimpänä langattoman tiedonsiirron kannalta on TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) protokolla. TCP/IP protokollaperhettä käytetään LAN ja WAN -ympäristöissä, jotta tietokoneet pystyvät siirtämään tietoa toisilleen, ja myös vastaanottamaan tämän informaation.

TCP/IP on protokollaperhe ja sisältää useita protokollia, jotka ovat jakautuneet kahteen päähaaraan: TCP ja UDP. Se siis koostuu protokollista, jotka voivat olla mallia TCP/IP tai UDP/IP. [9.] [11.]

TCP on yleisin käytössä oleva protokolla, kun tietoa siirretään verkossa. TCP protokollan yleinen käyttö selittyy sen toimintavarmuudella. Lähetetyt tietopaketit kulkeutuvat vastaanottajalle numeroituina ja vastaanottaja lähettää kiittauksen lähettäjälle saatuaan tiedon. Lähetettävä tieto myös tarkastetaan virheiden varalta. UDP (User Datagram Protocol) eroaa TCP:stä siten, että virheitä ei tarkasteta ja vastaanottaja ei kiittää saatuja paketteja. UDP:ssä lähettäjä siis jatkaa pakettien lähettämistä, vaikka vastaanottaja ei niitä saisikaan. Tarkastuksien puuttuminen antaa kuitenkin UDP protokollalle etua nopeudessa TCP:hen nähden. [12.]

3.3 Langattoman tiedonsiirron protokolla ja standardit

Langaton tiedonsiirto käyttää yleisesti TCP/IP tyyppin protokollia tiedonsiirrossa. Yleisimmät standardit ovat 802.11 tyyppisiä, ja ne erotellaan toisistaan pienellä kirjaimella lopussa. Myös Bluetooth on itsessään langattomaan tiedonsiirtoon liittyvä standardi. [7.]

3.3.1 802.11a

802.11a standardi tarjoaa mahdollisuuden kommunikoida 5GHz taajuudella, joten muiden laitteiden häiriötä on tämän standardin käytössä vähemmän. Standardin nopeus on samaa luokkaa 802.11g standardin kanssa. Tämän käyttö vaatii kuitenkin hintavampia laitteita. [7.]

3.3.2 802.11b

802.11b on yleisin langattomassa tiedonsiirrossa käytetty standardi. Yleiseen käyttöön syy löytyy siitä, että se on käytössä melko edullisissa laitteissa. Tämän standardin käyttäjälaitteet toimivat 2.4 GHz taajuudella. Taajuuden huonona puolena voidaan pitää sen yleisyyttä. Samalla taajuudella on käytössä muitakin laitteita, joten ne saattavat aiheuttaa ongelmia kommunikoinnissa. Suurin nopeus tämän standardin kommunikoinnissa on 11Mbps. [7.]

3.3.3 802.11g

Tämä on uudempi standardi. Erona 802.11b prot on, että uuden standardin avulla päästään jo 54Mbps nopeuksiin. Se kykenee myös kommunikoimaan vanhemman b standardin laitteiden kanssa. [7.]

3.3.4 802.11n

Standardi 802.11n eroaa aiemmista standardeista taajuusalueidensa suhteen. Siihen sopivat laitteistot voivat toimia taajuudella 2.4GHz ja 5GHz. 5GHz:n taajuudella toimittaessa laite ei kykene toimimaan korkeamman taajuutensa vuoksi yhtä laajalla alueella, kuin 2.4GHz:n taajuudella. Hyötynä suuremmassa taajuudessa on kuitenkin vapaampi toiminta-alue, sillä enemmistö laitteista käyttää 2.4GHz:n taajuutta. Tämä standardi on tässä käydyistä mahdollisuuksista nopein. [20.]

3.3.5 Bluetooth

Bluetooth standardi langattomassa tiedonsiirrossa toimii sääntelemättömällä 2.4GHz taajuusalueella. Rajoituksena Bluetoothin käytössä on laitemäärä. Yhteen laitteeseen voidaan yhdistää vain 8 laitetta ja yleensä Bluetoothin toimintaetäisyydet eivät ole kovin-kaan pitkiä. Yleisesti Bluetoothin siirtonopeus ylittää 1MBps. [7.]

4 LANGATON TIEDONSIIRTO

Perinteinen tiedonsiirto on luotettavaa, sillä fyysisten liitännöiden ollessa kunnossa, tiedonsiirto toimii moitteetta. Kaapeleilla yhdistettyjen kohteiden paikantaminen on helppoa, sillä ne ovat fyysisiin yhteyksiin sidottuja. Langattoman tiedonsiirron etuna perinteiseen fyysisiin elementein toteutettuun siirtoon on liikkumavapaus. Johdotusten hajoaminen ja liikkuvien kohteiden yhdistäminen kaapelein on yleensä erittäin haastavaa, joten tällaisissa oloissa langaton ratkaisu on yleensä parempi. Langattoman tiedonsiirron perustekniikat on esitelty kappaleessa 2.3. [13.]

4.1 Langattoman tiedonsiirron häiriöitä ja ongelmia

Radioaallot liikkuvat lähettimien välillä vapaasti, joten ne ovat alttiita ympäristön häiriöille. Heijastumat, aaltojen taittuminen esteistä ja vaimentumiset ovat ympäristöön liittyviä tekijöitä, jotka haittaavat radioliikenteen luotettavuutta. Vapaassa tilassa liikkuminen myös mahdollistaa signaalien vakoilun, mikäli lähetettävää signaalia ei ole suojattu. [13.]

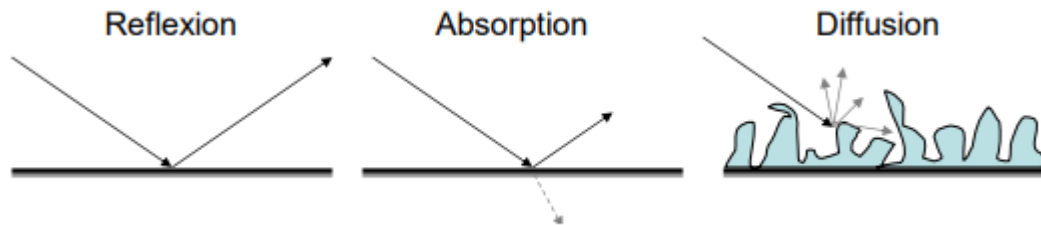
Radiosignaaleille häiriöitä aiheuttavat kaikki esineet, jotka ovat signaalin alueella ja lähettävät samalla taajuudella signaalia, kuin käytetty radiotaajuus. Tämä ei ole langallisilla linjoilla yhtä suuri ongelma, sillä kaapeleihin voidaan itseensä sisällyttää materiaaleja, jotka torjuvat häiriöitä. Esimerkkeinä mahdollisista häiriöitä aiheuttavista laitteista ovat matkapuhelimet, Bluetooth laitteet ja hitsaus koneet. Hitsauskoneet siis itsessään aiheuttavat häiriöitä radioliikenteelle. Tämä vaatisi tarkkaa suunnittelua radiosignaalien toteuttamiseen, jotta häiriöt jäivät mahdollisimman pieniksi. [14.]

4.2 Radioaaltojen toiminta

Radioaallot liikkuvat kolmiulotteisesti lähettimien välisessä tilassa sähkömagneettisena säteilynä. Esteet ja esineet vaikuttavat radioaaltojen leviämiseen. Ne saattavat aiheuttaa heijastumia, diffuusiota tai radioaaltojen imeytymistä, joka puolestaan vaimentaa signaalia.

Kuvassa 2 esitelty heijastuminen (reflexion), imeytyminen (absorption) ja hajautuminen (diffusion, scattering). Kun radioaalto osuu sähköä johtavaan pintaan, se heijastuu

takaisin kokonaan. Mikäli kappale ei johda sähköä, osa heijastuu, mutta osa aallosta imeytyy kohteeseen. Kun radioaalto osuu taas kohteen kulmaan, syntyy hajautumista ja radioaallot lähtevät hajautumaan kaikkiin suuntiin. [14.]



Kuva 2 Radiosignaalin häiriöitä [14].

Radioaallot saattavat myös häipyä ja diffraktioitua. Häipymisellä (fade) tarkoitetaan radioaaltojen tapauksessa tilannetta, jossa vastaanottaja saa signaalin suoraan lähettäjältä ja kyseisen signaalin heijastuman, se ei välttämättä pysty tunnistamaan signaalin olemassaoloa lainkaan. Aallon leviämismahdollisuudet riippuvat puolestaan aallonpituudesta. Diffraktio vaikuttaa pitkän aallonpituuden, eli matalan taajuuden radioaallon, leviämiseen siten, että se kykenee taittumaan esteiden ohi, mahdollistaen signaalin matkaamisen esteen ohi vastaanottajalle. Tästä syystä matalataajuisemmat aallot ovat käytännöllisempiä langattomassa tiedonsiirrossa, sillä ne ovat huomattavasti vähemmän alttiita virheille, kuin korkeataajuiset aallot. [14.]

5 LAITTEET JA TESTAUS

Laitteistoina kokeiltiin kahta yhteensopivaa HMS:n Anybus tuoteperheen langatonta sarjaa Bolt ja Bridge. Kyseiset laitteet ovat keskenään yhdistettäviä. Ne voivat toimia valinnan mukaan Access Pointtina tai Clienttina ja valmistajan mukaan toimivat peräti 400 metrin etäisyydellä toisistaan. Näitä laitteita päädyttiin kokeilemaan helpon konfiguraation vuoksi. Ne voidaan asettaa toimintavalmiuteen hyvin yksinkertaisella konfigurointi sivustolla, tai Bridgen tapauksessa käyttämällä laitteen päällä olevia nappeja. Toisena kokeiltiin Phoenix Contactin laitteistoja WLAN 5100 ja WLAN 1100 Näiden laitteiden konfigurointi ei ole helppoa ja sen suoritti Phoenixin esittelijä itse.

Testauksessa logiikkana käytettiin Beckhoffin CX8090 logiikkaa, jonka tiedonsiirto perustuu RT-Ethernetiin.

Laitteistot valittiin hinta, konfiguroinnin yksinkertaisuus ja teollisuudessa käytettävyyden perusteella. HMS:n Anybus tuotteet ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia ja pääasiallisena erona näissä on ulkonäkö ja konfigurointi. Phoenixin laitteista Access pointiksi valittu WLAN 5100 eroaa WLAN 1100 antennien osalta, sillä 5100:ssa on kolme ulkoista antennia suuntauksen helpottamiseksi, kun taas 1100:ssa antenni on sisäänrakennettuna kaksi.

5.1 WLAN/Bluetooth-tukiasemat Anybus Bridge ja Bolt

Teknisiltä tiedoiltaan ja toiminnoiltaan Bridge ja Bolt ovat identtisiä. Suurin ero tulee tuotteen ulkonäöstä ja konfiguroitavuudesta. Bridgessä on helppokäyttöisyyttä korostavat painikkeet, joiden avulla voidaan muodostaa yhteys nopeasti. Bolt taas voidaan asentaa helposti muotonsa vuoksi koneisiin ja tarvittavat kaapeloinnit voidaan näin saada koneen sisälle turvaan.



Kuva 3 Anybus Wireless Bridge.

Wireless Bridgellä ja Boltilla pystyy siirtämään langattomasti tietoa TCP/IP mallisissa teollisuuden verkoissa. Esimerkkeinä on annettu BACnet/IP, Profinet, EtherNet/IP ja Modbus TCP. Tarkoituksena työssä oli siirtää tietoa Beckhoffin laitteistosta toiseen ja kriittisenä asiana saada yhteys toimimaan EtherCAT kenttäväylällä. Tätä ei valmistaja kyennyt takaamaan, mutta se ei myöskään ollut pois suljettua, joten kokeilimme tätä. Molempia laitteita voidaan käyttää pisteestä pisteeseen kommunikoinnissa perinteisen kaapelin sijaan, joka oli työn tavoite. [15.] [16.]



Kuva 4 Anybus Wireless Bolt.

Bridge ja Bolt voivat toimia langattomana tukiasemana (Wireless Access Point) seitsemälle laitteelle. Tarkoittaen, että yhteen laitteeseen voidaan yhdistää seitsemän muuta laitetta. Laitteet käyttävät verkkoprotokollia IEEE 802.11r ja IEEE 802.11n. Niissä on myös kolme sisäänrakennettua antennia, jotka toimivat MIMO periaatteella. Valmistajan mukaan maksimi kantama pisteiden välillä on 400m ja Bridge sopii yhteen toisen Anybus perheen tuotteen Boltin kanssa. Laitteet siirtävät dataa langattomasti käyttämällä joko WLAN:ia tai Bluetoothia. Bluetooth voi toimia matalalla virralla, mutta tämä aiheuttaa datan määrän vähenemistä. [15.] [16.]

5.1.1 Bridge ja Bolt WLAN

Huomioitavaa WLAN tiedonsiirrossa on Bluetoothia korkeampi tiedonsiirtonopeus, joten suurempi datan siirtäminen on kannattavaa suorittaa WLAN:ia käyttäen. Bridgen ja Boltin WLAN tiedot esiteltynä taulukossa 1.

Taulukko 1. Anybus Bridgen ja Boltin WLAN tiedot [15] [16].

Käytettävät standardit	802.11a, b, g, n, d
Toimintatila	Access Point, Client
Toiminta taajuudet	2.4GHz, 5GHz
Radiotaajuuden lähtöteho	18 dBm EIRP
Maksimi antennin vahvistus	3 dBi
Maksimi määrä Access Pointtiin yhdistettäviä laitteita	7
Tehon kulutus	54mA@24VDC
Netto tiedonsiirtonopeus	20MB/s
Linkin maksimi nopeus	130MB/s
Suojaus	WEP 64/128, WPA, WPA-PSK, WPA2, TKIP, AES/CCMP, LEAP, PEAP

5.1.2 Bridge ja Bolt Bluetooth

Bluetoothissa tärkein huomioitava asia on mahdollisuus tiedonsiirtoon pienemmällä tehon kulutuksella WLAN:iin verrattuna. Bluetooth ei myöskään toimi yleisellä 2.4GHz taajuudella, joten se on häiriöttömämpi tiedonsiirtoa ajatellen. Bridgen ja Boltin Bluetooth tiedot esitelty taulukossa 2

Taulukko 2. Anybus Bridgen ja Boltin Bluetooth tiedot [15] [16].

Käytettävät standardit	PAN (PANU, NAP)
Toimintatila	Access Point, Client
Radiotaajuuden lähtöteho	14 dBm EIRP
Maksimi antennin vahvistus	3 dBi
Maksimi määrä Access Pointtiin yhdistettäviä laitteita	7
Tehon kulutus	36mA@24VDC
Netto tiedonsiirtonopeus	1MB/s
Bluetooth version tuki	Classic Bluetooth v2.1
Suojaus	Todennus ja valtuutus, salaus ja tietosuoja, tietosuoja ja luottamuksellisuus, NIST-yhteensopiva, FIPS hyväksytty

5.2 Tukiasema Phoenix WLAN 5100

Phoenixin WLAN 5100 kykenee tuottamaan Anybus tuotteisiin verrattuna suuremman radiotaajuuden lähtötehon, joka siten johtaa parempaan tiedonsiirtovarmuuteen. Suurempi lähtöteho kuitenkin johtaa suurempaan tehon kulutukseen, joka saattaa olla ongelma joissakin laitteissa, joissa tehon kulutuksen täytyy olla rajatumpi. Suurimpana hyötynä laitteessa on erilliset ulkoiset antennit, joiden suuntauksen pystyy hoitamaan tästä syystä hallitummin, verrattuna muihin laitteistoihin, joissa antennit ovat sisäisiä. WLAN 5100 tiedot taulukossa 3.

Taulukko 3. WLAN 5100 tiedot [17].

Käytettävät standardit	802.11a, b, g, n
Toimintatila	Access Point, Client, repeater, WDS Bridge
Toiminta taajuudet	2.4GHz, 5GHz
Radiotaajuuden lähtöteho	23 dBm
Tehon kulutus	200mA@24VDC
Netto tiedonsiirtonopeus	10/100MB/s
Antennit	3 ulkoista antennia
Suojaus	WPA PSK, WPA2, AES, TKIP, 802.1X/RADIUS support, MAC filter



Kuva 5 Phoenix WLAN 5100 ja WLAN 1100 (oikealla).

5.3 Tukiasema Phoenix WLAN 1100

Yhdistettäessä WLAN 1100 ja WLAN 5100 on huomioitava antennien eroavaisuus. WLAN 1100 käyttää vain kahta antennia, joita ei voi erikseen suunnata, sillä ne ovat sisään rakennettu. [18] Tämä myös heikentää tiedonsiirron mahdollisuutta WLAN 5100 laitteen kanssa, sillä MIMO (Multiple Input Multiple Output) siirrosta ei saada kaikkea hyötyä käyttöön. MIMO metodilla toimiva laite lähettää viestejä useana osana antennilta toiselle, joka sitten vastaanottaa nämä osat. Kun käytössä on 2 antennia, on WLAN 5100

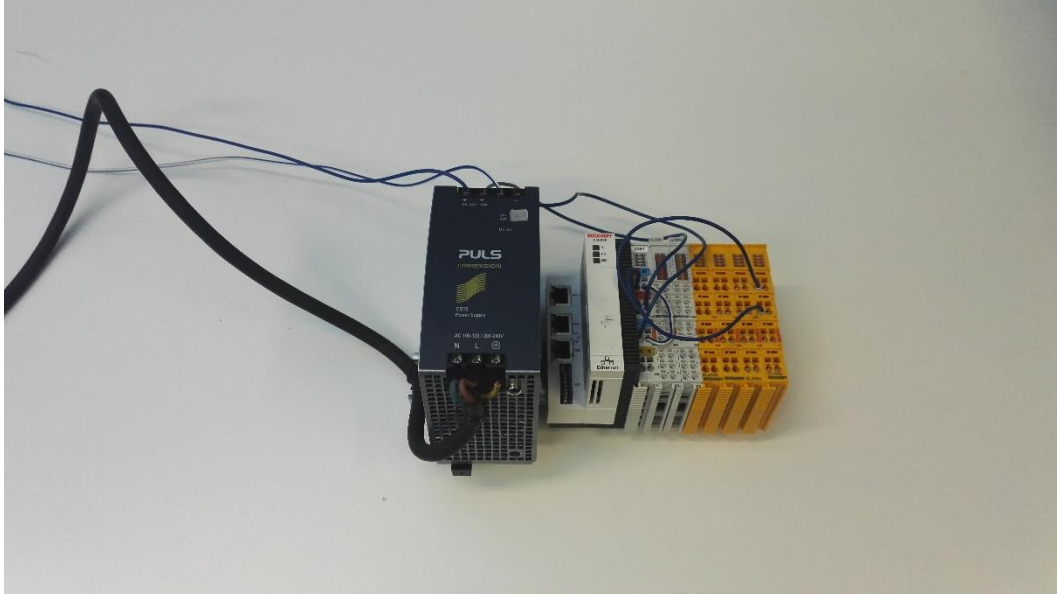
laitteen kolmas antenni käytännössä turha ja pienentää näin ollen tiedonsiirron kapasiteettia, kun se ei voi lähettää signaalin osia vastaanottavalle WLAN 1100 laitteelle. [25.]

Taulukko 4. WLAN 1100 tukiaseman tiedot [18].

Käytettävät standardit	802.11a, b, g, n
Toimintatila	Access Point, Client
Toiminta taajuudet	2.4GHz, 5GHz
Radiotaajuuden lähtöteho	20 dBm
Tehon kulutus	120mA@24VDC
Netto tiedonsiirtonopeus	10/100MB/s
Antennit	2 sisäistä antennia
Suojaus	WPA PSK, WPA2, AES, TKIP, MAC filter

5.4 Testaus-logiikka Beckhoff CX8090

Beckhoffin CX8090 on logiikan ohjausjärjestelmä. Siihen kuuluu ethernet-portit ja laitteisto tukee real-time Ethernet-, ADS UDP/TCP-, Modbus TCP client/server - protokollia ja avointa TCP/IP-UDP/IP-kommunikaatiota. Ohjausjärjestelmä kykenee tunnistamaan siihen kytketyn I/O-laitteiston käynnistyksensä aikana. Järjestelmän ohjelmointiin käytetään TwinCAT-ohjelmistoa, ja ohjelmointi suoritetaan joko kenttäväylän tai Ethernet-liitännän kautta. [19.]



Kuva 6 Beckhoff RX8090, mukana virtalähde

5.5 Testaus

Testaus suoritettiin Beckhoffin CX8090 logiikalla. Logiikan ohjelmana testauksissa oli yksinkertainen valojenvilkutus signaali, joka tässä tapauksessa simuloi toimilaitteiden ohjaussignaalin siirtymistä. Logiikassa oli myös valojen lisäksi kiinni hätäseis kytkentä, jonka tarkoituksena oli pysyä ylhäällä häiriöttä. Hätäseis signaalin poistuessa, koko hitauselementin toiminta lakkaisi, joten tämän signaalin toiminta testauksissa oli prioriteetti numero 1.

Laitteiden kokeiluissa kokeiltiin kaikkia Anybus tuotteiden kombinaatioita, Bridge-Bolt, Bridge-Bridge ja Bolt-Bolt. Bridge-Boltissa Access Point kokeiltiin kummaltakin laitteelta. Käytettiin myös mahdollisia WLAN ja Bluetooth yhteyksiä, jotta nähtäisiin mahdollista eroa toiminnassa tai toimintavarmuudessa. Kokeiltiin myös Phoenixin WLAN 5100 Access Pointtina, johon yhdistetään Clientiksi WLAN 1100 boksi.

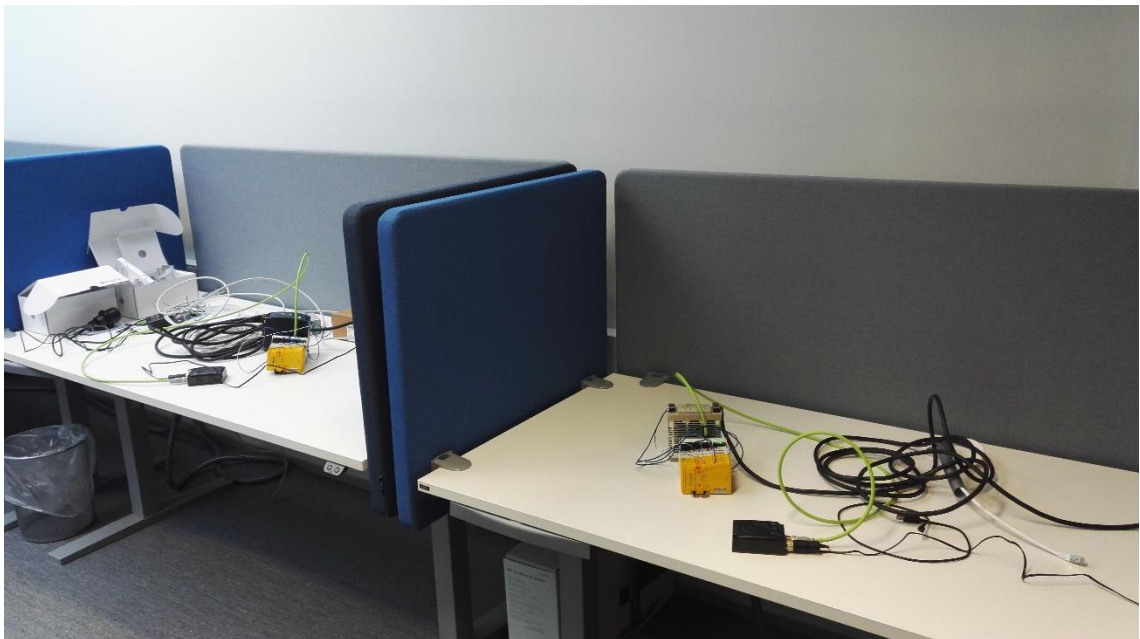
5.5.1 Langaton yhteys lähietäisyydellä

Tässä testattiin yhteyden toimivuutta yleisesti toimistotilassa, jossa antennit ovat 1.5m etäisyydellä toisistaan ja häiriöitä ei pitäisi juurikaan syntyä. Anybus tuotteet eivät tässä osoittautuneet kovinkaan luotettaviksi, sillä hätäseis signaali putosi pois satunnaisesti

ilman mitään näkyvää syytä. Logiikka alkoi samalla antamaan kommunikaation häiriö (communication error) signaalia ja hätäseis ei välttämättä palautunut ilman koko logiikan bootaamista. Pisin toiminta-aika hätäseis puolella oli 15 minuuttia. Valojen vilkutus signaalin nämä kombinaatiot siirsivät kuitenkin ihan hyvin ja siinä ei ongelmia ilmennyt. Testaukseen käytetty aika oli 20 minuuttia.

Phoenixin laitteet toimivat tässä testissä moitteettomasti. Yhteys löytyi logiikoiden välille heti ja toimi koko testauksen ajan.

Anybus tuotteiden toimimattomuuden takia tehtiin logiikkaohjelmaan tarkistus, ja muutettiin hätäseis funktion watchdog aikaa viidestäkymmenestä millisekuntista neljänsataan millisekuntiin. Tämä toimenpide ei valitettavasti ratkaissut ongelmaa. Yritettiin valita myös eri konfiguraatioista toimivia ja käytettiin Bluetoothia yhteyden saamiseksi, mutta hätäseis ongelma ei poistunut.



Kuva 7 Anybus Bridget testissä lähietäisyydellä

5.5.2 Yhteyden toiminta häiriöolosuhteissa

Logiikkojen etäisyys oli tässä testissä 10m. Toinen logiikka vietiin tehdashalliin, jossa käytössä hitsausautomaatiota ja tuotannollista toimintaa. Toinen logiikka jäi

panssarilasin taakse toimistoon, josta antennia pyrittiin suuntaamaan hallinpuolelle vietyyn antenniin. Olosuhteet olivat siis huomattavasti haastavammat, kuin ensimmäisessä testissä. Tämänkin testin aika oli 20min.

Anybus Bolt ja Bridge saivat yhteyden toisiinsa tästä huolimatta ja valojen tiedonsiirto toimi edelleen. Kuitenkin hätäseis ei toiminut hetkeäkään ja signaalia ei tältä osin voitu pitää hyvänä.

Phoenixin laitteilla logiikat saivat yhteyden ja tällä etäisyydellä testissä ei havaittu mitään ongelmia.

Testausta jatkettiin tasaisesti välimatkaa lisäämällä. Tämä myös hankaloitti antennien suuntaamista toisiinsa. Logiikoiden väliin tehdashallissa tuli myös useampia hitsausso-luja ja muuta metallista tavaraa.

Näissä olosuhteissa Anybus ei saanut millään kombinaatiolla yhteyttä, kun päästiin 30 metrin etäisyydelle. Tällä etäisyydellä suora suuntaaminen oli jo esteiden vuoksi mahdotonta ja epävarma toiminta jo aiemmissa kokeiluissa vain korostui. Phoenixin laitteistot kuitenkin saivat yhteyden hyvinkin vielä yli 60 metrin matkalta ja toimivat hyvin. Kuitenkin kun etäisyyttä oli 70-80 metriä ja esteenä logiikoiden välillä panssarilasi, kolme erilaista hitsauslaitetta, tavarahylly ja muuta tavaraa, saatiin yhteys, joka kuitenkin katkesi 5 minuutin kuluttua testin aloittamisesta, eikä tästä enää palautunut.



Kuva 8 Anybus Bridge kohdennettuna hallin suuntaan, missä toinen logiikka on sijoitettu.

5.5.3 Testataan Anybus-tukiasemien toiminta EtherCAT-sovellukseen

Anybus-sarjan bridget yhdistettiin hitsausautomaation ohjaussignaalia viemään EtherCAT-ympäristössä. Tuloksena yksinkertaisesti ei voitu siirtää tietoa. Tuotteet eivät tue EtherCATia ja tätä ei voitu korjata asetuksista. Testi suoritettiin vain Anybus-tuotteiden kanssa, sillä konfiguroinnin hankaluuden vuoksi Phoenix Contactin WLAN 5100 ja 1100 eivät olleet sitä, mitä käyttöön haluttiin ottaa.

6 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

Laitteiden testauksen tulokset olivat odotusten vastaisia. Konfiguraatiolta ja asennukselta yksinkertaiset Anybus laitteistot eivät kyenneet varmaan toimintaan. Phoenixin tuotteet puolestaan toimivat paremmin, mutta hankala konfiguraatio tekstipohjaisesti ei ollut sitä, mitä työssä lopulta haettiin. Kokeiltuja laitteistoja ei näistä syistä ollut syytä testata muilla tavoilla, vaan kokonaisuutena ratkaisua ei tällä erää löytynyt kaapeloinnin korvaamiseksi hitsauslaitteistossa.

Anybus-tuotteiden heikkoa toimintaa voidaan selittää puutteellisella yhteensopivuudella Beckhoffin logiikan kanssa. Mahdollisesti niiden tiedonsiirto kapasiteetti ei myöskään riittänyt olosuhteiden muuttuessa haasteellisemmiksi, sillä sen aikaa, kun laitteet toimivat, saattoi silmämääräisesti nähdä valojen välähdyksissä hitaampia jaksoja. Ne eivät myöskään testin puolesta tukeneet EtherCAT-ympäristöä, joka olisi ollut käyttöönoton kannalta kriittistä. Konfiguraation ja selkeyden puolesta Anybus-laitteet olisivat olleet hyvä valinta.

Testeissä havaittiin myös ympäristön vaikutuksia signaalin laatuun ja toimintaan. Laitteistojen signaalit olivat selkeitä ja hyviä aina kun antennit saatiin jollakin tasolla kohdennettua toisiinsa. Signaalin taso taas heikkeni heti, kun kohdennusta ei saatu toteutettua väliin tulevien hitsauslaitteiden tai muiden laitteiden ja hyllykköjen vuoksi. Tuloksissa tämä kävi ilmi lähinnä WLAN 5100- ja -1100 -laitteistoilla, sillä muut testattavat laitteistot olivat toimintavarmuudeltaan liian huonoja.

Lopputuloksena laitteistojen yhdistelmä olisi täyttänyt asetetut kriteerit ja ollut mahdollinen ottaa käyttöön kaapeloinnin sijaan. Mikäli HMS aloittaa tukemaan EtherCAT-ympäristöä, laitteet on syytä ottaa uudelleen kokeiltavaksi. Tällä hetkellä kuitenkin tuloksena saatiin, että laitteet eivät ole varmuudeltaan ja käytettävyydeltään sopivia toimimaan Pemamek Oy:n hitsauslaitteiden kanssa.

LÄHTEET

- [1] Pyyskänen, S. 2007. Suomen Automaatioseura ry. Teollisuuden laiteverkot s.9.
- [2] Pyyskänen, S. 2007. Suomen Automaatioseura ry. Teollisuuden laiteverkot s.9-11.
- [3] Traore I. 2019. Basic Networking Concepts. s.6. Viitattu 20.5.2019. <https://www.ece.uvic.ca/~itraore/elec567-13/notes/dist-03-4.pdf>
- [4] Pyyskänen, S. 2007. Suomen Automaatioseura ry. Teollisuuden laiteverkot s.13-14.
- [5] Jaakkohuhta, H. 2005. Lähiverkot – Ethernet. 4. uudistettu painos. Helsinki: IT Press
- [6] Pyyskänen, S. 2007. Suomen Automaatioseura ry. Teollisuuden laiteverkot s.36-37.
- [7] Bradley T. 2019. Wireless Networking Protocols Explained. Viitattu 20.5.2019. <https://www.lifewire.com/wireless-networking-protocols-explained-2486947>
- [8] Kannisto L. 2003. Internet protokollat. s.7. Viitattu 20.5.2019 <http://users.jyu.fi/~kolli/verkko-tekniikka/luennot/Protokollat.pdf>
- [9] Kannisto L. 2003. Internet protokollat. s.8. Viitattu 20.5.2019 <http://users.jyu.fi/~kolli/verkko-tekniikka/luennot/Protokollat.pdf>
- [10] Tampereen yliopisto. 2002. OSI-malli. Viitattu 20.5.2019 <http://www.cs.tut.fi/etaopetus/titepk/luku19/OSI.html#fyysinen>
- [11] Kannisto L. 2003. Internet protokollat. s.9 Viitattu 20.5.2019 <http://users.jyu.fi/~kolli/verkko-tekniikka/luennot/Protokollat.pdf>
- [12] Åkesson O. 2019. What is the difference between TCP and UDP. Viitattu 20.5.2019 <https://support.holmsecurty.com/hc/en-us/articles/212963869-What-is-the-difference-between-TCP-and-UDP->
- [13] Siemens. 2018. Basic information on configuring an industrial wireless LAN. s.7. Viitattu 20.5.2019 https://cache.industry.siemens.com/dl/files/063/90880063/att_950081/v1/90880063_Aufbau_IWLAN_DOKU_V50_en.pdf
- [14] Siemens. 2018. Basic information on configuring an industrial wireless LAN. s.9-10. Viitattu 20.5.2019 https://cache.industry.siemens.com/dl/files/063/90880063/att_950081/v1/90880063_Aufbau_IWLAN_DOKU_V50_en.pdf
- [15] HMS. 2019. Anybus Wireless Bridge II – Ethernet. Viitattu 20.5.2019 <https://www.anybus.com/products/wireless-index/anybus-wireless-bridge/detail/anybus-wireless-bridge-ii---ethernet>
- [16] HMS. 2019. Anybus Wireless Bolt – Ethernet 18-pin. Viitattu 20.5.2019 <https://www.anybus.com/products/wireless-index/anybus-wireless-bolt/detail/anybus-wireless-bolt---ethernet>
- [17] Phoenix Contact. 2012. FL WLAN 5100. Viitattu 20.5.2019. <https://docs-apac.rs-online.com/webdocs/112c/0900766b8112c129.pdf>
- [18] Phoenix Contact. 2019. WLAN 1100 – WLAN-ratkaisu koneenrakennukseen. Viitattu 20.5.2019 https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm:path:/fifi/web/main/products/subcategory_pages/Industrial_WLAN_P-08-11-02-02/ffa657a0-3f9b-4c1c-a669-6f1af53296ab/ffa657a0-3f9b-4c1c-a669-6f1af53296ab

- [19] Beckhoff. 2019. CX8090 Embedded PC for Ethernet. Viitattu 20.5.2019 <https://www.beckhoff.com/CX8090/>
- [20] Telia. 2019. Langattoman verkon standardit ja taajuudet. Viitattu 20.5.2019 <https://www.telia.fi/asiakastuki/nettilyhteydet/wifi/langattoman-verkkoyhteyden-nopeus>
- [21] EverythingRF. 2016. What is dBi. Viitattu 20.5.2019 <https://www.everythingrf.com/community/what-is-dbi>
- [22] Wikipedia.2019. dBm. Viitattu 20.5.2019 <https://en.wikipedia.org/wiki/DBm>
- [23] EverythingRF. 2019. EIRP Calculator. Viitattu 20.5.2019 <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/eirp-effective-isotropic-radiated-power>
- [24] ISO. 2019. Homepage. Viitattu 20.5.2019 <https://www.iso.org/home.html>
- [25] ElectronicsNotes. 2019. What is MIMO Wireless Technology. Viitattu 20.5.2019 <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/what-is-mimo-multiple-input-multiple-output-wireless-technology.php>