



Nuutti Hannula

Väylätekniikan murros milliampeeriviestistä Ethernetiin prosessiautomaatiossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

27.04.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Nuutti Hannula
Otsikko:	Väylätekniikan murros milliampeeriviestistä Ethernetiin prosessiautomaatiossa
Sivumäärä:	25 sivua
Aika:	27.04.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneautomaatio
Ohjaajat:	Field Automation Advisor Juha Taipale Lehtori Maria Sjöholm

Tämä tutkielma käsittelee teollisuuden kenttäväyläkommunikaation kehittymistä ja sen murrosta Ethernet-pohjaiseen kommunikointiin. Tutkielmassa pohditaan, tuleeko Ethernet APL edesauttamaan seuraavaa isoa läpimurtoa prosessiautomaatiossa ja kuinka nopeasti tämä muutos tapahtuisi.

Nykyään kenttäväylätekniikka on useissa tuotantolaitoksissa ja tehtaissa hyvinkin vanhanaikaista. Kömpelö tekniikka tuo paljon haasteita yrityksille prosessien ja kustannusten osalta. Digitalisaation myötä monet ovat kuitenkin jo siirtyneet Ethernet-pohjaiseen kommunikointiin prosessiautomaatiossa, vaikka Ethernet-tekniikka onkin hieman keskeneräinen. Ethernet tulee syrjäyttämään perinteisen kenttäväylätekniikan, mutta kuinka nopea muutos se on?

Työn tavoitteena oli selvittää kenttäväyläkommunikaation historiaa ja sen kehitystä nykyaikaan. Lisäksi pohtia Ethernet APL:n roolia väylätekniikan kehityksessä nykyään ja tulevaisuudessa. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja siinä käytettiin lähteinä laitetoimittajien omia raportteja, artikkeleita, kirjoja aiheesta ja myös asiantuntijaesitelmiä.

Ennen tutkielman kirjoitusta tutkittiin aikaisempia insinööritöitä samaan aihepiiriin liittyen ja kerättiin lähdeaineistoa useasta eri lähteestä. Tutkielman kirjoittamisen aikana täytyi koko ajan jatkaa lähteiden etsimistä ja tarkastaa samalla muista lähteistä onko tieto luotettava. Valmiista tutkielmasta syntyi yhteenveto väylätekniikasta, sen historiasta, nykyajasta ja uusista innovaatioista, jotka vievät kehitystä eteenpäin. Tutkielmasta hyötyy henkilöt, jotka haluavat tietää väylätekniikan perusajatuksen ja mistä väylät ovat tulleet ja mihin ne ovat menossa. Lisäksi tutkielmassa käsiteltiin Ethernet APL:n roolia väylätekniikan edistyksessä.

Avainsanat: Ethernet APL, kenttäväylätekniikka, prosessiautomaatio

Abstract

Author: Nuutti Hannula
Title: Transition of Fieldbus Technology Measurement Signals from Milliamperes to Ethernet in Process Automation
Number of Pages: 25 pages
Date: 27 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine automation
Supervisors: Juha Taipale, Field Automation Advisor
Maria Sjöholm, Senior Lecturer

The objective of this Bachelor's thesis was to study the progress and breakthrough of fieldbus communication to Ethernet based communication in the industry. The purpose was to ponder on whether or not the Ethernet APL will contribute to the next big breakthrough in process automation and how quickly this change would happen.

Nowadays, the fieldbus technology is still very old-fashioned in many process factories. The old technology causes several problems starting from costs and efficiency. Although with digitization, many companies have migrated to using Ethernet based communication in their process factories. Ethernet will surpass the standard fieldbus technology but how soon will it happen?

The objective of the Bachelor's thesis was to investigate the history of the fieldbus technology and its development to the present. In addition, analyze Ethernet APL's role in the development of the fieldbus technology in the present and in the future. The thesis was carried out as a study and sources were from manufactures, articles and books about the topic and expert seminars.

The study was carried out as follows. First, previous theses related to the study were examined and other material from different sources were collected. After studying and collecting sources of the topic, writing of the thesis could be started. During the writing, it was important to actively discover more sources, check if the data were correct and compare the data to different sources. The completed study was a collection of fieldbus technology's history, present and the future and, in addition, a study about Ethernet APL. Thesis will be useful to people who want to learn more about fieldbus technology and about a new technology called Ethernet APL.

Keywords: Etherner APL, Fieldbustechnology, processautomation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kenttäväyläteknikka	2
3	Väylätekniiikan kehitys	4
3.1	Historia	4
3.2	Nyky aika	5
4	Yleisemmät kenttäväyläprotokollat	8
4.1	HART	8
4.2	PROFIBUS PA ja DP	9
4.3	Foundation Fieldbus	10
4.4	WirelessHART	10
4.5	Teollinen Ethernet	11
4.5.1	EtherNet/IP	12
4.5.2	PROFINET	13
5	Miksi Ethernet APL?	14
6	Pohdinta	19
7	Yhteenveto	21
	Lähdeluettelo	22

Lyhenteet

- APL: *Advanced Physical Layer*. Ethernet-pohjainen kehittynyt fyysinen kerros.
- CENELEC: *European Committee For Electrotechnical Standardization*. Eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö.
- CIP: *Common Industrial Protocol*. Protokolla teollisuudessa, mikä on tarkoitettu automaatio-sovellutuksia varten.
- EN: *European Standard*. Eurooppalainen standardi, joka kuuluu Euroopan standardijärjestöön.
- FIP: *Factory Instrumentation Protocol*. Standardoitu kenttäväyläprotokolla.
- HART: *Highway Addressable Remote Transducer*.
- IEC: *International Electrotechnical Commission*. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
- IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
- IIoT: *Industrial internet of things*. Teollinen asioiden internet, joka tarkoittaa kenttälaitteita, jotka ovat kytkettynä toisiinsa ja verkkoon.
- IP: *Industrial Protocol*. Teollinen protokolla ja siihen kuuluu reaaliajassa kommunikoivat protokollat.
- ISA: *International Society of Automation*. Kansainvälinen tekninen yhdistys automaatiosta kiinnostuneille henkilöille.

- ISO: *International Organization for Standardisation*. Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
- LAN: *Local Area Network*. Lähiverkko, joka on rajoittunut tiettyyn alueeseen.
- ODVA: *Open DeviceNet Vendors Association*. Kansainvälinen kauppaja standardikehitysorganisaatio.
- OSI: *Open Systems Interconnection*. Viitemalli, joka on tiedonsiirtoprotokollien perustana toimiva seitsemän kerroksen malli.
- PLC: *Programmable Logic Controller*. Ohjelmoitava logiikka, jota käytetään automaatioprosessien ohjauksessa.
- TCP/IP: *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*. Internet-liikennöinnissä käytettävän tietoliikenneprotokollan yhdistelmä.
- UDP: *User Datagram Protocol*. Yhteydetön tietoliikenneprotokolla, joka ei tarvitse yhteyttä laitteiden välille.
- WISE: *Wire Intrinsically Safe Ethernet*. Luonnostaan vaaraton Ethernet-johdin.

1 Johdanto

Teollisuudessa on pitkään käytetty kenttäväyläteknikkaa hyödyksi eri prosessien automatisointiin. Tässä tutkielmassa käydään läpi kenttäväyläteknikan kehitystä sen alkuajoista nykyaikaan ja lisäksi pohditaan kenttäväyläteknikan tulevaisuutta teollisuuden prosessiautomaatiossa. Teollisuudessa muutos on hidasta ja uuden tekniikan tuominen markkinoille on vaivalloista. Ethernet-pohjaisia kommunikointiprotokollia on olemassa jo paljon ja niitä kehitetään edelleen, tavoitteena syrjäyttää vanhentunut kenttäväyläteknologia. Tuleeko Ethernet APL (Advanced Physical Layer) edesauttamaan seuraavaa isoa murrosta prosessiautomaatiossa? Kuinka nopeasti tämä muutos tapahtuisi? Tähän syvennytään tutkielmassa tarkemmin.

Työ tehtiin Endress+Hauser Oy:lle. Endress+Hauser Group on maailmanlaajuisen markkinajohtaja prosessiautomaation mittaus- ja säätöteknologiassa. Tytäryhtiönä toimiva Endress+Hauser Oy on Suomen asiakkaita palveleva myyntiyhtiö, mikä työllistää yli 50 henkilöä neljällä toimipisteellä Vantaalla, Tampereella, Ulvilassa ja Kemissä. Työn tavoitteena oli selvittää kenttäväyläkommunikaation historiaa ja sen kehitystä nykyaikaan. Lisäksi tavoitteena oli pohtia Ethernet APL:n roolia väyläteknikan kehityksessä nykyään ja tulevaisuudessa.

Endress+Hauser on mukana Ethernet APL:n kehityksessä ja myös tarjoavat kyseistä ratkaisua asiakkailleen prosessiautomaatiossa. Aihe valittiin, koska uudesta teknologiasta ei ole vielä laajasti tietämystä ja tällä tutkielmalla tiivistetään kenttäväylät, Teollinen Ethernet ja Ethernet APL samaan pakettiin, josta lukijan on helppo ymmärtää mitä nämä tekniikat ovat ja miten Ethernet APL liittyy kokonaisuuteen. Tutkielma tuo Endress+Hauser Oy:lle markkinointiarvoa ja lukijalle tietoa kenttäväyläteknologiasta ja sen tulevaisuuden näkymästä. [1.]

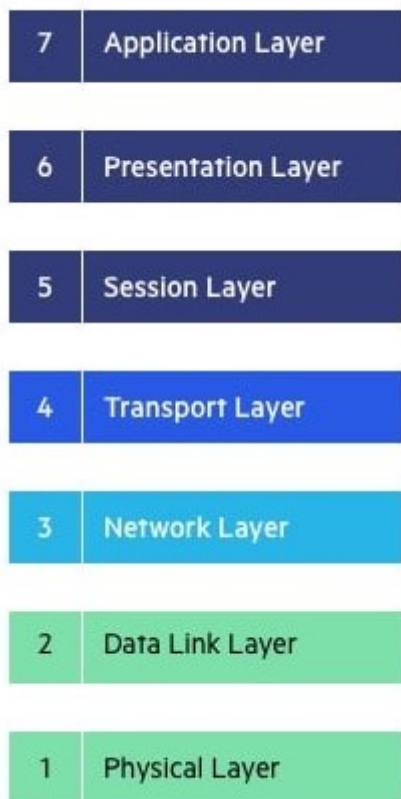
2 Kenttäväylätekniikka

”Kenttäväylä” terminä on hyvinkin laaja ja voi tarkoittaa eri asioita eri tilanteissa. Tässä tutkielmassa kenttäväylä tarkoittaa digitaalista verkkoa, mikä kommunikoi kenttälaitteiden kanssa ja yhdistää ne isompaan järjestelmään. Luomalla näin niin sanotun väylän kenttälaitteen ja järjestelmän kanssa. Prosessiteollisuudessa tiedonsiirron voidaan ajatella kulkevan neljässä eri kuvitteellisessa tasossa, joista ensimmäinen on anturitaso. Anturitasossa toimii kaikki prosessin mittalaitteet ja anturit eli niin sanotut kenttälaitteet, mitkä keräävät tietoa suoraan prosessista. Siitä tieto siirtyy kenttätasoon, jossa kenttäväylän PLC (Programmable Logic Controller) eli ohjelmoitava logiikka ottaa tiedon vastaan mittalaitteilta. Saatua tietoa käsitellään ja välitetään muille toimilaitteille, jotka tekevät prosessissa tarvittavat tehtävät tietojen perusteella. Tämä voi olla esimerkiksi tuotantolinjan nopeuden säätö.

Kenttätason jälkeen tulee ohjaustaso, jossa käydään kenttäväylien sisäistä tiedonsiirtoa. Yhdessä prosessitehtaassa voi olla useita PLC-laitteita kommunikoidessa keskenään. Nämä laitteet hoitavat omaa prosessiaan ja siirtävät tarvittavan tiedon toiseen prosessiin. Näin koko prosessi saadaan toimimaan automaationa. Korkeimmassa tasossa eli niin sanotussa tehdastasossa käsitellään koko tuotantoprosessin informaatiota. Tämä tieto saadaan kaikista aiemmista tasoista ja sitä käytetään yrityksen prosessien hallinnassa. Saatua tietoa analysoi hallinnon henkilöt ja muut yrityksen toimihenkilöt. Näistä tasoista huomataan kuinka tärkeässä roolissa kenttäväylät ovat prosessin tehokkaan toiminnan kannalta, koska ilman niitä ei ole mitään tapaa käsitellä järkevästi suurta määrää tietoa, mitä kenttälaitteilta saadaan prosessissa. [2.]

Toimiakseen kenttäväylät tarvitsevat tiedonsiirtoa varten protokollan, jonka sääntöjen mukaan tieto liikkuu kenttälaitteiden ja väylien välillä. Näitä protokollia ovat esimerkiksi HART (Highway Addressable Remote Transducer) - ja Profibus-kenttäväylät Tätä varten ISO (International Organization for Standardization) loi standardin tietoliikennejärjestelmien suunnitteluun eli OSI-viitemallin (Open Systems Interconnection reference model). Standardin tunnus on

ISO/IEC 7498-1. OSI-viitemalli koostuu seitsemästä niin sanotusta kerroksesta (Kuva 1.) ja jokainen kerros toimii eri tavalla toisiinsa nähden. Kenttävyölyissä näistä kerroksista tärkeimmät ovat ensimmäinen, toinen ja seitsemäs kerros eli fyysinen kerros, siirtoyhteyskerros ja sovelluskerros.



Kuva 1. OSI-viitemalli, jossa näkyy kaikki seitsemän kerrosta [3].

Fyysinen kerros määrittää tiedonsiirron fyysiset ominaisuudet esim. kaapelit ja liittimet. Tämä on ainoa taso, joka sisältää fyysisiä asioita. Toinen kerros määrittelee tiedonsiirron tavan sekä huolehtii tiedonsiirron luotettavuudesta ja yhteyden muodostamisesta. Se vastaanottaa sovelluskerroksen logiikkaohjelmalta tiedot, käsittelee ne ja lähettää edelleen fyysiselle kerrokselle. Sovelluskerros sisältää kaikki sovellusohjelmat esimerkiksi erilaiset ohjelmistot ja verkkopalveluita ylläpitävät sovellukset. Tämä kerros käyttää

tietoa lähettäessä aina fyysisen ja siirtoyhteyskerroksen toimintoja. Esimerkiksi lähettävästä laitteesta tieto voidaan siirtää kohdelaitteeseen, jolloin sovelluskerroksen logiikkaohjelmasta tieto siirtyy kohdelaitteessa sovelluskerroksen ohjausohjelmaan. Molemmat laitteet käyttävät kaikkia kolmea kerrosta siirtääkseen tietoa. [2, s. 17; 3.]

3 Väylätekniikan kehitys

3.1 Historia

1950-luvulla, ennen kenttäväyliä, kehitettiin virtasilmukoita, joista suosituin oli 4-20mA -standardi. Tämä milliampeeriviesti mahdollisti analogisen tiedonsiirron ja ohjauksen, mutta se pystyi vain lähettämään yhden tietyn signaalin rajoittaen sen käyttöä. Jokaiselle anturille täytyi tuoda oma johto, joka vei signaalin suoraan vastaanottimeen. Periaate oli sama kuin kenttäväylissä, mutta tekniikka oli vielä kömpelö. Milliampeeriviesti oli kuitenkin dominoiva tekniikka kymmeniä vuosia ja sitä käytetään edelleenkin teollisuudessa.

Kenttäväylätekniikasta alettiin puhumaan 1970-luvulla, mutta suurempaan suosioon se pääsi vasta 80-luvun alussa ja vuonna 1985 alettiin standardisoimaan kyseistä tekniikkaa IEC:n ja ISA:n (International Society of Automation) johdolla. Siinä vaiheessa oli jo monta erilaista kenttäväyläprotokollaa olemassa kuten saksalainen Profibus ja ranskalainen FIP (Factory Instrumentation Protocol). Näitä kahta tekniikkaa pidettiin pohjana väylätekniikan standardisoinnille, mutta vain toinen voitiin valita. Kuitenkin molemmissa tekniikoissa oli omat hyvät puolensa, joten saksalaiset ja ranskalaiset asiantuntijat pyrkivät yhdistämään kummatkin tekniikat. Tässä kuitenkin kesti erittäin kauan ja vuonna 1995 amerikkalaiset yritykset alkoivat kehittää omaa kenttäväyläratkaisua, jonka nimeksi tuli Foundation Fieldbus. Kyseinen tekniikka oli suunnattu käytettäväksi pääsääntöisesti prosessiteollisuudessa. Kehityksessä oli mukana ISA, mutta IEC (International Electrotechnical Commission) jäi silloin taka-alalle kenttäväyläkehityksessä.

Euroopassa ei päästy eteenpäin yhden maailmanlaajuisen kenttäväylästandardin kanssa ja markkinoille oli jo ilmestynyt lukuisia kansallisia standardeja eri kenttäväylille. Huolimatta kansainvälisestä standardin puuttumisesta, näihin kenttäväyläteknikoihin oli jo laitettu paljon resursseja, ja kukaan ei halunnut luopua omasta jo toimivasta kenttäväylästä. Täten päätettiin CENELEC:n (European Committee For Electrotechnical Standardization) toimesta, että kaikki jo kansainväliseen standardiin harkinnassa olevat kansalliset standardit liitetään EN (European Standard) -standardiin sellaisenaan. Helpotukseksi ne jaettiin omiin kategorioihinsa kenttäväyliä käyttötarkoituksen mukaan. EN-standardiin lisättiin myös joitakin amerikkalaisia kenttäväyläteknikoita kuten esimerkiksi Foundation Fieldbus, DeviceNet ja ControlNet.

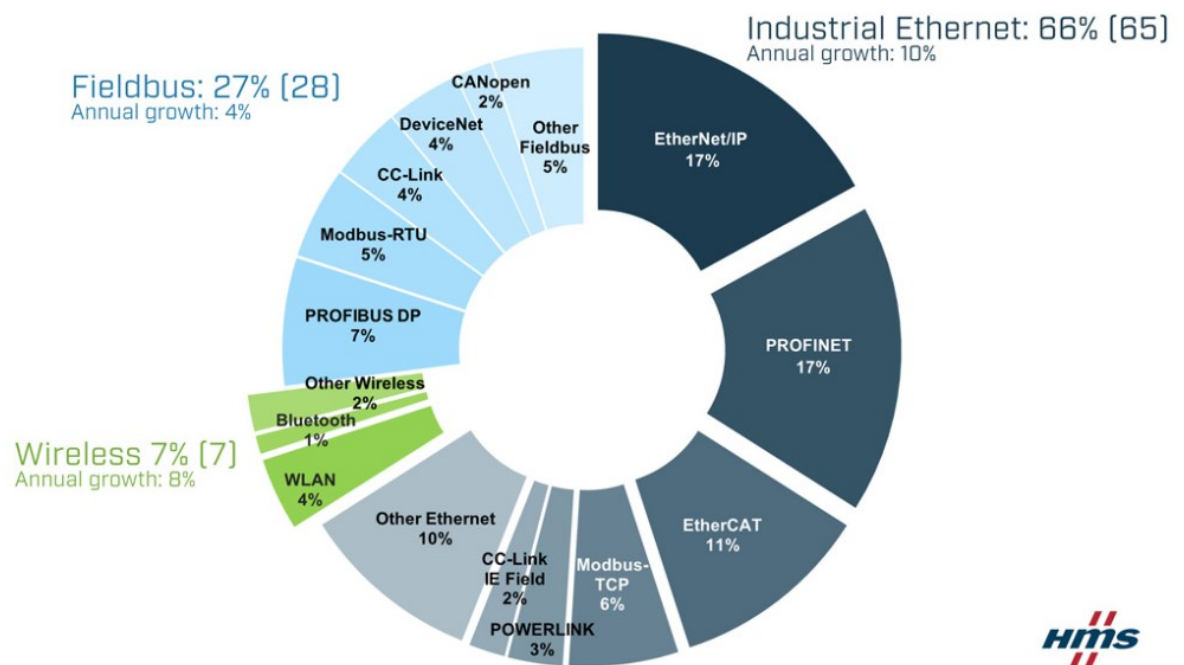
Samalla amerikkalaiset jatkoivat oman standardin kehittämistä Fieldbus Foundation alla ja he yhdistivät Foundation Fieldbus ja WorldFIP -teknologiat yhdeksi kokonaisuudeksi, jonka he esittivät IEC komitealle vuonna 1996. Tästä syntyi poliittinen ja taloudellinen taistelu, koska PROFIBUS oli jätetty kokonaan ulos. Monessa maassa PROFIBUS oli jo käytössä ja nämä maat halusivat kumota Fieldbus Foundation:in ehdotuksen. Kun IEC-standardista äänestettiin, moni äänesti vastaan ja näytti ettei standardia hyväksytty. Fieldbus Foundation kuitenkin taisteli takaisin vaatimalla suurimman osan äänien kumoamista puutteellisten tietojen vuoksi. Kiista jatkui vielä pitkään ja standardisointiprosessi kenttäväylille oli hidastunut.

IEC ratkaisi kiistan vuonna 1999 esittämällä ratkaisun suurimmille yrityksille, joilla oli oma kenttäväyläteknikka mukana kisassa. Näiden yritysten kesken solmittiin sopimus, jonka mukaan kaikista kenttäväyläjärjestelmistä tehdään IEC 61158 -standardi ja vuoden 2000 lopussa standardi hyväksyttiin. [4.]

3.2 Nykyaika

2000-luvusta eteenpäin kenttäväylät kattavat suuren osan prosessiteollisuudessa ja moni yritys tarjoaa asiakkailleen erilaisia kenttäväyläratkaisuja. Lisäksi tekniikan kehittyessä digitalisaatio on löytänyt tiensä myös

prosessiteollisuuteen. Esimerkiksi Teollisen Ethernetin käyttö on kasvanut viime vuosina prosessiautomaatiossa ja vuonna 2022 Teollinen Ethernet kattoi jo 66 prosenttia kenttäväylien markkinaosuudesta [Kuva 2.]. Verrattuna esimerkiksi vuoden 2015 tilastoon, jolloin markkinaosuus oli 34 prosenttia, huomataan Teollisen Ethernetin suosion kasvaneen [Kuva 3]. Vaikka Ethernet on ollut olemassa jo silloin kun kenttäväylistä alettiin puhumaan 1970-luvun lopulla, prosessiautomaatiossa sitä alettiin hyödyntämään kunnolla vasta 2000-luvulla. Syntyi Teollinen Ethernet, joka kattoi kaikki Ethernet-pohjaiset protokollat. Näistä isoimpana EtherNet/IP (Industrial Protocol) ja PROFINET, mitkä kattavat kumpikin 17 prosenttia Teollisen Ethernetin kasvusta [Kuva 2].

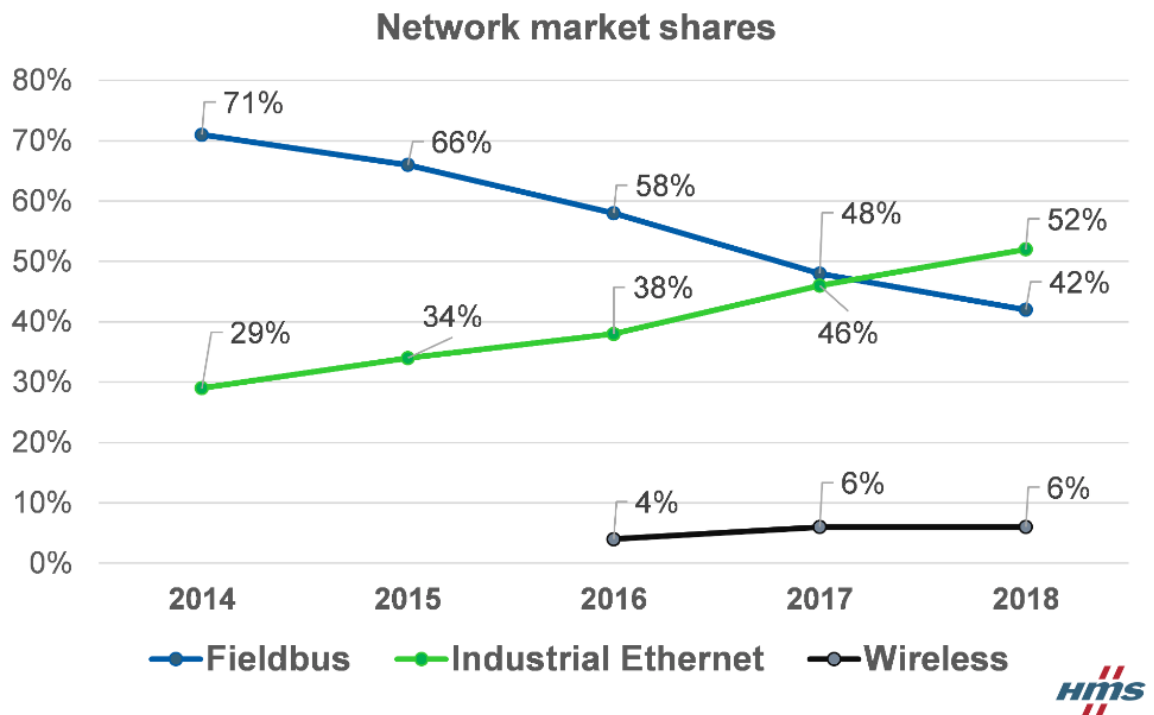


Kuva 2. Markkinaosuudet vuonna 2022 HMS Networks:in mukaan – Kenttäväylät, Teollinen Ethernet ja langaton [5].

Suosiota selittää digitalisaatio ja halu muuttaa kaikki tiedonsiirto digitaaliseksi prosessiteollisuudessa. Digitaalinen tiedonsiirto on paljon nopeampaa kuin tavallinen milliampeeriviesti ja sillä pystytään lähettämään enemmän tietoa kerralla. Lisäksi kaapeloinnin tarvetta pystytään vähentämään, kun tiedonsiirto toteutuisi verkon kautta. Myös kentälaitteiden huollettavuus ja diagnostiikka

kehitty, kun laitteisiin päästään käsiksi suoraan saman verkon kautta eikä tarvitse yhdistää diagnostiikkaa johdoilla vaikeasti saavutettaviin kenttälaitteisiin.

Kenttäväylien käyttö on laskenut samassa tahdissa kuin Teollinen Ethernet on kasvanut ja ne ovat jääneet 27 prosentin osuudelle markkinoista [Kuva 2]. Tästä huomataan kenttäväylien olevan vielä laajasti käytössä, mutta prosessiteollisuudessa näitä aletaan korvaamaan uudella Ethernet-teknologialla. Vuonna 2017 oli käännekohta näiden kahden teknologian välillä, kun Teollinen Ethernet ohitti kenttäväylät markkinaosuudesta. [Kuva 3.] Kenttäväylistä isoin ja suosituin protokolla on PROFIBUS DP 7 prosentin osuudella [Kuva 2].



Kuva 3. Kenttäväylien, Teollisen Ethernetin ja langattomien ratkaisujen kehitys HMS Networks:in mukaan [5].

4 Yleisemmät kenttäväyläprotokollat

4.1 HART

HART on kommunikaatioprotokolla, joka käyttää analogista 4-20mA signaalia digitaaliseen tiedonsiirtoon. HART on kenttäväylien ja virtasilmukoiden välimalli, millä voidaan käsitellä enemmän kuin yhden laitteen analogista tietoa ja muuntaa sitä digitaalseksi, kun taas 1950-luvulla käytetyissä virtasilmukoissa pystyttiin lukemaan vain yhden laitteen tietoja kerrallaan analogisella 4-20mA signaalilla. HART voi vastaanottaa ja lähettää tietoa älykkäiden laitteiden välillä eli esimerkiksi sillä voidaan monitoroida, lähettää laitediagnostiikkaa tai parametreja kenttälaitteita. Prosessiautomaatiossa kuitenkin HART on vain tukitoiminto milliampeeriviestin ollessa edelleenkin ensisijainen tiedonsiirtosignaali ja tällä säädetään prosessia. Tässäkin tapauksessa huomataan prosessiautomaation väylätekniikan olevan nykyäänkin vanhanaikaista milliampeeriviestin ollessa kuitenkin ensimmäisiä tiedonsiirtotekniikoita.

HART-protokollan suunnitteli Rosemount Inc. 1980-luvulla ja tarkoitus oli tehdä siitä kaikille avoin protokolla sen valmistuessa. Tavoitteena oli saada suostuteltua muitakin yritykset käyttämään kyseistä kommunikaatioratkaisua ja seurauksena HART-protokollasta tuli johtava kommunikaatioratkaisu maailmalla. Se on myös laajassa käytössä nykyään, johtuen jatkuvasta työstä protokollan kehittämisessä ja sen yhteensopivuudesta kenttäväylien kanssa.

Toimintaperiaate on yksinkertainen ja protokolla on käyttäjäystävällinen. Analogisessa mittauksessa 4-20mA-signaali kulkee kenttälaitteen virtajohtoa pitkin ja kommunikoi HART-laitteen kanssa kenttälaitteesta saadun mittaustuloksen, mistä saadaan fyysinen arvo. Se voisi olla esimerkiksi mittaussignaalista muutos lämpötila-arvoksi. Tuloksen määrittää HART-ohjelmiston parametrit, jotka voi itse määrittää. Digitaalisessa tiedonsiirrossa HART käyttää analogisen signaalin rinnalla taajuusmoduloitua signaalia, jolla se lukee samaa 4-20mA-

signaalia kuin analogisessa kommunikoinnissa. Siinä käytetään 4-20mA-signaalin taajuutta, jossa 1200 Hz tulkitaan arvona 1 ja 2200Hz arvona 0. Digitaalinen tiedonsiirto ei häiritse analogista kommunikointia, koska siniaaltosignaalin keskiarvo on nolla. HART käyttää muiden kenttäväylien tavoin OSI-viitemallin ensimmäistä, toista ja seitsemättä kerrosta. [2, s. 82; 6, s. 365; 7; 8; 9.]

4.2 PROFIBUS PA ja DP

Profibus PA (Process Automation) -kenttäväylä on tarkoitettu prosessiautomaation sovellutuksiin. Se kuuluu PROFIBUS DP:n (Decentralised Peripherals) kanssa PROFIBUS standardiin ja PROFIBUS PA voidaan käyttää vain PROFIBUS DP:n kanssa. Vaikka molemmat käyttävät eri fyysisiä kerroksia, ne ovat kuitenkin yhteensopivia keskenään ja väylät käyttävät samaa protokollaa. PROFIBUS-standardi kehitettiin vuonna 1989 Saksan hallituksen ja muutamien automaatioyritysten yhteistyönä

PROFIBUS PA:ta käytetään kenttälaitteiden valvontaan prosessiautomaatiossa. Sitä käytetään erityisesti räjähdysvaarallisissa tiloissa ja se perustuu IEC 61158-2 standardiin. Standardin mukaan virtaa voidaan ajaa kenttäväylän läpi kenttälaitteeseen samalla rajoittaen virran määrää. Tämä varmistaa sen, että räjähdysvaarallisen alueen turvarajat eivät ylity edes vian syntyessä. Tämän takia myös väylään liitettävien laitteiden määrä on rajallinen. PROFIBUS DP on enemmän tehdasautomaatiossa käytössä ja se myös kerää tietoa kenttälaitteista ja lähettää sitä eteenpäin järjestelmille muiden kenttäväylien tapaan. Se kuuluu myös IEC 61158 standardiin.

PROFIBUS PA -tiedonsiirtonopeus on vain 31,25 kbit/s. Tämän vuoksi se yhdistetään PROFIBUS DP:n kanssa, jonka tiedonsiirto voi olla korkeimmillaan 12Mbit/s. Molemmat väylät toimivat symbioosissa keskenään ja PROFIBUS PA:n kerätessä tietoa prosessin kenttälaitteista, PROFIBUS DP lähettää saatua tietoa järjestelmään nopeammalla siirtonopeudella. Molemmat PROFIBUS-versiot käyttävät OSI-viitemallin ensimmäistä, toista ja seitsemättä kerrosta. [7; 10; 11 s. 63; 11, s. 69.]

4.3 Foundation Fieldbus

Fieldbus Foundation:in vuonna 1996 suunnittelema kenttäväyläratkaisu Foundation Fieldbus on kommunikaatioprotokolla ja se mahdollistaa digitaalisen kommunikaation ja tiedonsiirron. Nykyään Fieldbus Foundation tunnetaan nimellä FieldComm Group, joka perustettiin vuonna 2015.

Foundation Fieldbus suunniteltiin alun perin korvaamaan 4-20mA-standardi onnistuen siinä muiden kenttäväylien rinnalla. Se on kaksisuuntainen kommunikointiprotokolla, joka antaa reaaliaikaista tietoa kenttälaitteen ja hallintajärjestelmän välillä. Siitä on tehty kaksi versiota, jotka soveltuvat eri tarkoituksiin prosessiteollisuudessa. Ensimmäinen on Foundation Fieldbus H1, joka julkaistiin vuonna 1996. Sen tiedonsiirron nopeus on 31,25 kbit/s ja sitä käytetään kenttälaitteen ja järjestelmän yhdistämisessä tavallisen kenttäväylän tavoin ja sen läpi kulkee tarvittava virta kenttälaitteeseen. Se on myös näistä kahdesta versioista käytetyin.

Toinen versio on Foundation Fieldbus HSE eli High-speed Ethernet. Siinä tiedonsiirron nopeus on 100–1000 mbit/s, mikä on paljon suurempi kuin sen vanhemmassa versiossa. HSE ei kuitenkaan anna virtaa kenttälaitteelle ja sitä käytetään yleensä H1-version tukena tuomassa parempaa tiedonsiirtonopeutta ja järjestelmän hallintaa. [7; 12; 13.]

4.4 WirelessHART

WirelessHART on langaton versio HART-standardista. Se on langaton kommunikointiprotokolla ja sitä käytetään prosessiautomaation sovellutuksissa. WirelessHART on yhteensopiva tavallisten HART-laitteiden kanssa. Langattomalla teknologialla päästään prosessiteollisuudessa hankalissa paikoissa oleviin kenttälaitteisiin kiinni ilman, että täytyisi mennä laitteen vierelle ja yhdistää laitteen johdolla.

WirelessHART-protokolla käyttää aikasykronoitua, itsekorjaavaa ja -organisointuvaa verkkoarkkitehtuuria tiedonsiirrossa ja kommunikoinnissa. Lisäksi se hyödyntää HART-laitteita tiedonsiirrossa tekemällä kaikista signaalilähettäjiä tai toistimia. Eli alkuperäinen lähetin lähettää tiedon sen lähimmälle HART-laitteelle, joka sitten jatkaa tiedonsiirtoa seuraavalle. Näin voidaan kattaa isokin alue prosessiteollisuuslaitoksissa langattomasti. Järjestelmää pitää kuitenkin hallita verkkopäällikön toimesta, joka määrittää verkon, kommunikaatiot laitteiden välillä ja tiedon kulkureitit.

WirelessHART-standardin tekeminen aloitettiin vuonna 2004 useiden eri yritysten toimesta, joista yksi oli myös Endress+Hauser. Standardi hyväksyttiin ja tuotiin markkinoille HART Communications Foundationin toimesta vuonna 2007. [14; 15; 16.]

4.5 Teollinen Ethernet

Teollinen Ethernet on standardi, jolla kuvataan Ethernetin käyttöä teollisuudessa esim. prosessiautomaatiossa tai teollisuustuotannossa. Kaikki Ethernet-pohjaiset protokollat ovat Teollisen Ethernetin alla. Ethernet käsitteenä tarkoittaa lähiverkkotekniikkaa eli LAN-tekniikkaa (Local Area Network). Kun kaikki laitteet samalla alueella yhdistetään samaan verkkoon esim. tietokoneet, tulostimet, muodostuu niistä Ethernet-verkko. Teollinen Ethernet toimii samalla tavalla yksinkertaisesti kuin Ethernet eli kun kaikki kenttälaitteet, kenttäväylät ja järjestelmät ovat samassa verkossa, ne muodostavat lähiverkon keskenään. Kuitenkin Ethernet-laitteisto ei sellaiseen toimi suoraan teollisuudessa vaan siihen pitää tehdä tarvittavia muutoksia riippuen asennussijainnista eli johdotusten ja laitteistojen pitää kestää vallitsevia olosuhteita. Lisäksi sen pitää olla yhteensopiva olemassa olevien kenttäväylien ja järjestelmien kanssa.

Ethernetin kehittäminen alkoi samoihin aikoihin kuin kenttäväylien kehitys 1970-luvulla ja sen kehitti henkilö nimeltä Robert Metcalfe. Hän työskenteli silloin Xerox Corporation -nimisessä yrityksessä ja vuonna 1972 hän yritti yhdistää tietokoneen tulostimeen. Tätä varten hän kehitteli fyysisen tavan yhdistää laitteet

toisiinsa ja siitä syntyi ensimmäinen Ethernet-verkko. Ensimmäinen versio toimi yhdellä kaapelilla, jota jaettiin laitteiden välillä. Yhdistäessä johdon laitteeseen, laite pystyi kommunikoimaan kaikkien muiden laitteiden kanssa, jotka yhdistettiin johdon toiseen päähän.

Ethernetin avulla yritykset pystyvät valvomaan reaaliajassa prosessien automaatiojärjestelmiä ja keräämään tärkeitä analytiikkaa. Ethernetin suuret nopeudet, edulliset kustannukset ja tekniikan sovellettavuus ovat valttikortteja yritykselle, jotka haluavat kehittää heidän prosessejaan kustannustehokkaiksi. Tavalliseen kuluttajille suunnattuun Ethernetiin verrattuna Teollinen Ethernet on paljon monimutkaisempi. Siinä vaatimustasot ovat erilaiset ja hankalammat. Ethernet verkon suunnittelussa teollisuudessa on otettava esimerkiksi huomioon ennalta määrätyt aikarajat, siirrettävän tiedon eheys ja tietoturvan suunnittelu. Teollinen Ethernet ja kaikki sen alla olevat protokollat noudattavat IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.3-standardia. Niistä protokollista isoimmat ovat EtherNet/IP, PROFINET, EtherCat ja ModbusTCP/IP. Tässä tutkielmassa niistä neljästä käsitellään ainoastaan EtherNet/IP ja PROFINET-protokollia. [2, s. 78; 17; 18.]

4.5.1 EtherNet/IP

EtherNet/IP on Teollisen Ethernetin tiedonsiirtoprotokolla, mikä yhdistää CIP:in (Common Industrial Protocol) ja Ethernetin. Sitä käytetään tehdas-, hybridi- ja prosessiteollisuudessa. Protokollassa yhdistyy myös IEEE 802.3 -standardi ja TCP/IP. EtherNet/IP:n avulla voidaan yhdistää kenttälaitteet, väylät ja järjestelmät samaan verkkoon. EtherNet/IP:n suuret tiedonsiirtonopeudet ja erittäin helposti integroituva teknologia ovat osa sen menestystä teollisuuden markkinoilla. Lisäksi sillä voidaan hallita kenttälaitteilta ja muista järjestelmistä saatua tietoa reaaliajassa. EtherNet/IP hyödyntää CIP:in sovelluskerrosta ja yhdistää sen haluttuun verkkoon esim. Ethernet, WIFI, 5G. Kommunikoinnissa ja tiedonsiirrossa se hyödyntää TCP ja UDP (User Datagram Protocol) kommunikointimenetelmää. Näiden avulla EtherNet/IP pystyy yhdistymään IloT:n (Industrial internet of things) kautta muihin verkossa oleviin laitteisiin. Tiedonsiirtonopeudet voivat olla

10Mb/s, 100Mb/s ja 1Gb/s luokkaa, riippuen sovelluskohteen nopeuden tarpeesta. Tulevaisuudessa nopeuksia pystytään todennäköisesti kasvattamaan. Ethernet/IP ei kuitenkaan toimi ilman kenttäväyliä, koska se ei kata OSI-viitemallin fyysistä kerrosta.

EtherNet/IP-tekniikkaa valvoo ja kehittää ODVA (Open DeviceNet Vendors Association), joka perustettiin vuonna 1995. ODVA koostuu teollisuusautomaatiojärjestelmien toimittajista. EtherNet/IP:n kehittäminen alkoi 1990-luvulla ja siinä yhdistettiin DeviceNet-protokollan periaate, CIP:in, TCP:n ja UDP:n kanssa. ODVA jatkaa edelleen EtherNet/IP:n kehitystä ja tällä hetkellä se on käytetyin Teollisen Ethernetin protokolla markkinoilla. [5; 19; 20; 21.]

4.5.2 PROFINET

PROFINET on Teollisen Ethernetin kommunikointistandardi ja se on PROFIBUS:in kehittämä. Sitä käytetään pääsääntöisesti tiedon keräämiseen teollisuusautomaatiossa ja se yhdistää kenttälaitteet ja järjestelmät keskenään samaan verkkoon. PROFINET on helppo integroida PROFIBUS standardia käyttäviin kenttäväyliin. Ja kuten EtherNet/IP, PROFINET:in tiedonsiirtonopeudet ovat suuremmat verrattuna PROFIBUS-protokollaan. Nopeutta pystyy myös säätämään sovelluskohteen ominaisuuksien mukaan. PROFINET-standardi esiteltiin 2000-luvun alussa ja sen kehitystyössä oli mukana Siemens, PROFIBUS ja PROFINET International.

PROFINET varmistaa järjestelmässä liikkuvan tiedon täsmällisyyden ja oikean nopeuden. Teollisuudessa on automaatiojärjestelmille eri tehtäviä mitkä vaativat erilaisia nopeuksia tiedon kulkemiselle esim. PLC-ohjelma ei välttämättä toimi ollenkaan, jos tieto saapuu muutaman millisekunninkin myöhässä. Tästä voi seurata tuotannon hidastuminen tai jopa sen pysähtyminen. PROFINET varmistaa, ettei näin käy, käyttämällä neljää kommunikointi tapaa. Nämä ovat TCP/IP, PROFINET Real-Time (RT), PROFINET Isochronous Real-Time ja Time sensitive networking (TSN). TCP/IP-kommunikointia PROFINET käyttää vähemmän aikakriittisiin tehtäviin, kuten parametointi tai konfigurointi. Real-Time-

menetelmää käytetään taas aikakriittisiin tehtäviin, joissa nopeus ja täsmällisyys ovat tärkeitä. Isochronous Real-Time on enemmän tarkoitettu erikoistarkkuutta vaativiin kohteisiin, missä nopeuden pitää olla suuri ja viivettä ei saa syntyä. Lopuksi Time sensitive networking on uusi standardi, jolla aiotaan yhdenmukaistaa reaaliaika Ethernet-teollisuudessa kuten aiemmin mainittu Isochronous Real-Time. PROFINET-laitteistossa Time sensitive network tuo samoja ominaisuuksia kuten muut kommunikointimenetelmät. [22; 23; 24; 25.]

5 Miksi Ethernet APL?

Ethernet APL on OSI-viitemallin fyysistä eli ensimmäistä kerrosta käyttävä viestintäteknologia. Se on kehitetty erityisesti prosessiteollisuutta varten paikkaamaan niitä ominaisuuksia, mitä nykyisiltä kommunikointimenetelmiltä ei löydy. Ethernet APL:n ollessa kehittynyt fyysinen kerros, se ei ole riippuvainen Ethernet- tai kenttäväyläprotokollista vaan se on täysin yhteensopiva näiden protokollien kanssa. Ethernet APL:n avulla pystytään siirtämään tietoa pitkillä matkoilla nopeasti ja käytettävät kaapelit voivat olla jopa 1000 metriä pitkiä. Sitä voidaan myös käyttää räjähdysvaarallisissa tiloissa ja sen tiedonsiirtonopeus 10Mb/s. Ethernet APL luo yhteyden ja tuo Ethernetin kenttälaitteiden tasolle mahdollistaen digitalisaation viemisen eteenpäin prosessiteollisuudessa ja -automaatiossa. Ethernet APL:n kehittäminen alkoi useiden standardiorganisaatioiden ja prosessiautomaatioimittajien yhteistyönä vuonna 2018 ja myöhemmin vuonna 2021 kyseinen teknologia julkistettiin. Kyseessä on siis erittäin uusi teknologia, joka ei ole vielä saavuttanut läpimurtoaan.

Ethernet APL käyttää 2-johdin kaapelia tiedon välittämiseen. Tämä niin sanottu 2-WISE (2-Wire Intrinsically Safe Ethernet) -konseptin ansiosta voidaan Ethernet APL sijoittaa räjähdysvaarallisiin tiloihin. 2-WISE yksinkertaistaa koko APL-järjestelmän luontaisia turvallisuusparametrejä. Tähän kuuluu APL-portit, kaapelointi ja kenttälaitte. Sillä määritellään APL-turvallisuusparametrien rajat erityisen vaarallisten tilojen vaatimusten mukaisesti. 2-WISE myös luettelee oikeat säännöt APL-segmenteille näiden vaatimusten mukaan. Se on hyväksytty standardissa IEC TS 60079-47 ja Ethernet APL:n saa sijoittaa kaikkiin olemassa

oleviin räjähdysvaarallisiin tiloihin. Lisäksi se perustuu myös standardeihin IEC 61158, IEC TS 60079-47, IEEE 802.3 ja 10BASE-T1L. Näistä jälkimmäinen on uusi standardi, joka on tarkoitettu Ethernetin fyysistä kerrosta varten. Standardi mahdollistaa 2-johdinteknologian käyttämistä korkeintaan 1000 metrin pituisella johtimella siirtonopeuden ollessa 10 Mb/s. Johtimet ovat täysin kaksisuuntaisia eli samalla johtimella voidaan lähettää tietoa molempiin suuntiin.

Ethernet APL tukee erilaisia verkkorakenteita ja käyttäjät voivat asentaa niitä tehtaisiin haluamalla tavallaan. Näitä topologioita on esimerkiksi väylä- ja tähti-topologia. Niissä rakenne käyttää pääsääntöisesti Teollisen Ethernetin valokuitukaapelia yhdistämään Ethernet APL -verkkoon. Siinä APL toimii vain kenttälaitetasolla eikä se yhdistä kenttäkytkimiä järjestelmään, ja virta tulee ulkopuolisesta lähteestä toista kaapelia pitkin. Toisenlaisessa mallissa verkkorakenteissa APL:llä on virtakytkimiä, joihin tulee ulkoisesta lähteestä virtaa ja lisäksi Teollisen Ethernetin valokuitukaapelointi. Nämä virtakytkimet muuttavat Teollisen Ethernetin lähettämän signaalin ja lähettävät eteenpäin APL:n kenttäkytkimille. Virtakytkimet antavat myös virtaa eteenpäin APL-kenttäkytkimille runkokaapelilla, joten vaihtoehtoista virtalähdettä ei tarvita. Siitä virta siirtyy kenttäkytkimien kautta kenttälaitteille. Molempien mallien ominaisuudet saattavat sopia toista paremmin tiettyihin sovellutuksiin ja käyttäjä pystyy näistä valitsemaan itselleen parhaiten sopivan mallin.

Kaapeloinnissa käytetään kierrettyä parikaapelia, jonka impedanssi on 100 +/- 20 Ohmia. Lisäksi sen käyttämä taajuusalue on 100 kHz - 20 MHz. Tällaista parikaapelia käytetään yleensä PROFIBUS ja FOUNDATION Fieldbus -laitteissa eli nykyisiä olemassa olevia kaapeleita voidaan soveltaa Ethernet APL:n kanssa. Kaapeli voi olla runkokaapelina korkeintaan 1000 metriä pitkä ja laitekaapelina 200 metriä. Kaapelit voidaan kytkeä Ethernet APL laitteisiin ruuvi- tai jousiliittimillä. Modulaarista liitintä ja lisäksi A-koodattua M12-liitintä, joka sopii luonnostaan vaarattomille piireille, voidaan myös käyttää. A-koodattu M8-liitintä voi myös käyttää, mutta sitä taas ei voi käyttää luonnostaan vaarattomille piireille.

Comparison of Technologies for the Field of Process Plants	4-20 mA with HART	Fieldbus	Ethernet 100BASE-TX	Ethernet 10BASE-T1L
Single Pair Cable	✓	✓	✗	✓
Communication	1.2 kbit/s half duplex	31.25 kbit/s half duplex	100 Mbit/s full duplex	10 Mbit/s full duplex
Reference Cable	n/a	Type 'A'	CAT 5/6	Type 'A'
Trunk Length	n/a	1900 m (typ. 700 m)	100 m	1000 m
Spur Length	n/a	120 m	n/a	200 m
Screw Type Connector	✓	✓	(✓) ¹	✓
Polarity independence	✗	(✓) ³	n/a	✓
Intrinsic safety option	✓	✓	(✓) ²	✓
One network technology from field to enterprise	✗	✗	✓	✓

1: Available up to 1 GHz, certified for Zone 1

2: Available by 100BASE-TX-IS from Intrinsically Safe Ethernet Working Group

3: Dependent upon vendor

Kuva 4. Teknillisten ominaisuuksien vertailutaulukko Ethernet APL:n datalehdessä [29, s. 11].

Ethernet APL:n käyttöönottoon liittyy useita eri vaiheita, mitä pitää ottaa huomioon asennettaessa Ethernet APL -järjestelmää prosessilaitokseen. Ensimmäisenä täytyy ottaa huomioon kaapeloinnin vaatimukset. Ethernet APL:n kaapelien välit ja reititykset noudattavat standardia EN 50174-2 ja niiden mukaan laitoksen kaapelointi täytyy suunnitella. Vähimmäismitat virtakaapelin ja APL-kaapelien välillä täytyy laskea ottaen huomioon laitoksen ominaisuudet. Reitityksestä löytyy useita suosituksia liittyen muiden kaapelien kohtaamiseen, niiden väleihin toisistaan, erilaisten kaapelikategorioiden erottamiseen, kaapelihyllyjen materiaalivalintoihin, kaapelisuojausten käyttöön ja lämpöominaisuuksien tarkkailuun. Näiden asioiden huomioimisen jälkeen voidaan aloittaa kaapelin asennus ja siihen liittyy myös suosituksia. Ensinnäkin kun kaapelia kuljetetaan kelassa, se pitäisi olla suljettuna molemmista päistä suojatakseen kaapelin avoimia päitä kosteudelta, hapettumiselta ja lialta. Lisäksi itse kaapelikelaa pitäisi säilyttää ja kuljettaa pystysuunnassa, ettei kaapeli sotkeutuisi ja menisi solmuun.

Lämpötilamuutokset ja sen raja-arvot on otettava huomioon. Kun kaapelia alestaan purkamaan kelasta, sitä saa varovasti vetää kädellä ulos. Kaapelin päälle ei saa astua eikä sen päältä saa ajaa. Sitä ei saa myöskään pyörittää vedettäessä sitä ulos ja kaapelia ei saa taivuttaa tietyn rajan yli. Näiden lisäksi APL-kaapelin mekaaninen suojaus on otettava huomioon. Vedettäessä kaapelia paikalleen, täytyy välttää teräviä ja jyrkkiä kulmia. Lisäksi kaapelikanavien käyttö on suositeltavaa. On otettava myös huomioon kaapelin vetojännitys ja asennettava siihen vedonpoisto tarvittaessa. Kun kaapeli on asennettu, alkaa APL:n asennus kenttälaitteisiin. Kiinnitystapoja on kolme aiemmin mainittua ja APL-signaali johtimesta koostuu plus- ja miinussignaalista sekä suojasignaalista. Kenttälaitteeseen asennettaessa täytyy ottaa huomioon APL:n sekä kenttälaitteen johdinportit. M8 ja M12 -liittimiin löytyy myös asennusohjeet APL-kaapelin liittämiseksi, jossa periaate on samanlainen. Tietenkin pitää huomioida, että kenttälaitteiden valmistajilta löytyy omat ohjeet liittämistä varten.

Lopuksi ennen virallista käyttöönottoa tehdään tarkastus, jossa käydään läpi visuaalinen kaapelien ja kiinnitysten tarkastus. Sitten tarkastetaan kaapelien mitat ja lopuksi Ethernet APL-järjestelmän tarkastus ilman ohjausjärjestelmää. Nämä tarkastukset on suunniteltu tehtäväksi yksinkertaisilla tarkastusvälineillä. Tarkastus on myös helppo suorittaa järjestelmällisesti käyttäen apunaan tarkastuslistaa, joka löytyy Ethernet APL -suunnitteluoppaasta [34]. Siinä käydään vaihe vaiheelta läpi kaikki tarkastettavat kohdat. Kun kaikki tarkastukset ovat suoritettu hyväksytysti, Ethernet APL voidaan käyttöönottaa ja konfiguroida. APL:n käyttöönotto ja konfiguraatio taas riippuu käytettävästä protokollasta esim. PROFINET, EtherNet/IP tai ModbusTCP. Käyttöönotto ei eroa esimerkiksi PROFINETin käyttöönotosta mitenkään, koska Ethernet APL tuo uutena laitteiston kannalta vain Ethernet-liikenteen kahdella johtimella. APL-kytkimien konfiguraatiossa voi olla kuitenkin eroja valmistajan mukaan.

Ethernetin valloittaessa kommunikointimenetelmät prosessiautomaatiossa, Ethernet APL on tärkeässä roolissa. Tällä hetkellä tavallinen Ethernet on vielä riippuvainen kenttäväylistä, koska Ethernet toimii vain korkeimmilla OSI-viitemallin kerroksilla jättäen fyysisen kerroksen kokonaan pois. Ethernet APL korjaa

tämän antaen Ethernetille mahdollisuuden kommunikoida kenttälaitteidenkin kanssa APL:n välityksellä. Lisäksi sen helppo asennettavuus, suuri tiedonsiirto-kyky, pitkät johdinvälit ja asennettavuus räjähdysvaarallisiin tiloihin tuovat huomattavan edun tavallisiin kenttäväyliin ja milliampeeriviestiin verrattuna. Ethernet APL:n 10 Mbit/s tiedonsiirtonopeus on erittäin suuri suhteessa prosessiteollisuuden nykyisiin tiedonsiirtonopeuksiin kenttälaitteilta. Esimerkiksi PROFIBUS PA:n tiedonsiirtonopeus on vain 31,25 kbit/s ja Ethernet APL:n on 10000 kbit/s (10 Mbit/s). Ja esimerkiksi ylemmillä OSI-viitemallin tasoilla PROFIBUS DP:n nopeus on korkeintaan 12 Mbit/s ja EtherNet/IP:n tiedonsiirtonopeus voi olla jopa 1000 Mbit/s (1 Gbit/s).

Ethernet APL ja Ethernet pystyvät myös välittämään prosessijärjestelmään analytiikkaa ja diagnostiikkatietoja, joiden avulla prosessia pystytään seuraamaan ja tehostamaan. Ethernetin ja digitalisaation myötä kenttälaitteita pystytään tarkkailemaan ja parametroimaan etänä ilman, että laitteen lähelle tarvitsee mennä. Lisäksi IIoT-pilvipalvelut tuovat uusia mahdollisuuksia Ethernet APL:n kanssa. APL pystyy lähettämään tietoa suoraan pilvipalveluun, josta voidaan seurata kenttälaitteiden analytiikkaa, huoltotarvetta, historiaa ja prosessin mitta-arvoja. Ethernet APL lähettää tiedot pilveen vaihtoehtoisen kanavan kautta, mikä on erillään järjestelmästä. Tämä lisää tietoturvaa prosessin sisällä ja tiedon nopeaa saatavuutta, kun sen ei tarvitse kulkea pääväylää pitkin. Pilvipalvelun kautta omia prosesseja pystyy seuraamaan jopa omasta puhelimesta. [26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35.]

avulla. Vielä ei ole varmaa kuinka suuresta hyödystä on kyse Ethernet APL:n käytöstä sen ollessa teollisuudessa vielä erittäin uusi teknologia. Aika näyttää ja kymmenen vuoden päästä voi olla jo paljonkin dataa ja tilastoja tähän liittyen, mutta ennen sitä se vaatii Ethernet APL:n käyttöönottoja uusissa tai vanhoissa teollisuuslaitoksissa. Harva yritys lähtee riskeeraamaan uuden teknologian kanssa, jos he eivät tiedä mikä se on, miten se toimii ja mitä hyötyä siitä on yritykselle. Ethernet APL:stä pitäisi nostaa enemmän keskustelua tätä ratkaisua tarjoavien yritysten ja heidän asiakkaidensa välillä.

Kokonaisuudessaan uskon Ethernetin ja Ethernet APL:n tuovan uusia mahdollisuuksia ja toivottavasti APL:n myötä kehitys nopeutuisi teollisuudessaakin. Pelkäämään sen ominaisuuksien puolesta kenttäväyliin verrattuna, APL:n suosio saattaa nousta erittäinkin korkealle. Sen myötä saattaa avautua myös uusia mahdollisuuksia ja innovaatioita, mitkä voisivat kenttäväyläteknikkaa eteenpäin. Tulevaisuudessa voisi olla mahdollista myös siirtyä kokonaan langattomaan kommunikaatioon kenttälaitteiden, -väylien ja järjestelmien välillä. Tämä säästäisi paljon aikaa ja rahaa kaapeloinnin osalta. Lisäksi tiedonsiirtonopeudet kasvavat kehityksen kulkiessa eteenpäin.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä käytiin läpi väylätekniikan historiaa nykyaikaan asti ja esiteltiin muutamia erilaisia Ethernet- ja kenttäväyläprotokollia. Lisäksi syvennyttiin Ethernet APL:n tekniikkaan ja ominaisuuksiin. Lopuksi pohdittiin väylätekniikan murrosta alkuperäisestä milliampeeriviestistä Ethernet-pohjaiseen kommunikointiin teollisuudessa ja siihen, miten Ethernet APL tulee vaikuttamaan tähän muutokseen.

Suurimmaksi haasteeksi muodostui tiedon etsiminen ja tiedon luotettavuuden varmistaminen. Etenkin kenttäväylien historian tutkimisesta löytyi niukasti tietoa tai eri lähteistä sai ristiriitaisia faktoja. Eri Ethernet- ja kenttäväyläprotokollista, mitä työssä esiteltiin, löytyi kattavasti tietoa. Kuitenkaan kaikkia protokollia ei tässä työssä käyty läpi, koska tarkoitus oli keskittyä Ethernetiin ja tarkemmin Ethernet APL-tekнологiaan. Tämän työn jälkeen pystytään jatkamaan Ethernet APL:n kehityksen tarkkailua ja sen integraatiota teollisuuteen muiden kommunikointimenetelmien rinnalle. Lisäksi tutkielmasta hyötyvät yritykset, jotka haluavat lisätietoa väylätekniikasta, eri kommunikointimenetelmistä ja Ethernet APL:stä. Työn aikana käsitys väylätekniikan tärkeydestä ja toiminnasta teollisuudessa parantui huomattavasti ja lisäksi tietämys Ethernet APL:stä kasvoi.

Lähdeluettelo

- 1 Endress+Hauser Group. Verkkoaineisto. Endress+Hauser Oy. <<https://www.fi.endress.com/fi/endress-hauser-group>>. Luettu 12.11.2022.
- 2 Pyyskänen, Seppo. 2007. Teollisuuden laiteverkot: Johdatus väylätekniikkaan. Helsinki: Suomen automaatioseura Ry.
- 3 OSI Model. Verkkoaineisto. Imperva. <<https://www.imperva.com/learn/application-security/osi-model/>>. Luettu 19.02.2023.
- 4 Felser, Max. 2002. The Fieldbus Standards: History and Structures. Verkkoaineisto. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/228733981_The_fieldbus_standards_history_and_structures>. Päivitetty 01/2002. Luettu 20.02.2023.
- 5 Carlsson, Thomas. 2022. Industrial networks keep growing despite challenging times. Verkkoaineisto. HMS Network. <<https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2022/05/02/industrial-networks-keep-growing-despite-challenging-times>>. Päivitetty 02.05.2022. Luettu 17.11.2022.
- 6 Love, Jonathan. 2016. Fieldbus. E-kirja. Process automation handbook.
- 7 Smith, Jack. 2008. Fieldbus in focus: Understanding network similarities, differences. Verkkoaineisto. Plant Engineering. <<https://www.plantengineering.com/articles/fieldbus-in-focus-understanding-network-similarities-differences/>>. Päivitetty 15.09.2008. Luettu 15.11.2022.
- 8 HART - testattu prosessiautomaatiota varten. Verkkoaineisto. Endress+Hauser Oy. <<https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/innovatiivinen-mittausteknologia/fieldbus-teknologia/hart-teknologia>>. Luettu 19.11.2022.
- 9 HART Technology Explained. Verkkoaineisto. FieldComm Group. <<https://www.fieldcommgroup.org/technologies/hart/hart-technology-explained>>. Luettu 19.11.2022.
- 10 PROFIBUS overview. Verkkoaineisto. PROFIBUS & PROFINET International. <<https://www.profibus.com/technology/profibus/overview>>. Luettu 05.01.2023.
- 11 Kettunen Arto. 2002. Automaatiojärjestelmien digitaaliset tiedonsiirtotekniikat: Kenttäväylät teollisuusautomaatiossa. Insinööriyö. Espoon-Vantaan teknillinen korkeakoulu. Kirja.

- 12 FOUNDATION Fieldbus Technology explained. FieldComm Group<<https://www.fieldcommgroup.org/technologies/foundation-fieldbus/foundation-technology-explained>>. Luettu 20.11.2022.
- 13 About FieldComm Group. Verkkoaineisto. FieldComm Group. <<https://www.fieldcommgroup.org/about>>. Luettu 20.11.2022.
- 14 WirelessHART. Verkkoaineisto. FieldComm Group. <<https://www.fieldcommgroup.org/technologies/wirelesshart>>. Luettu 22.11.2022.
- 15 WirelessHART: Information and FAQs. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/products/measurement-products/wireless-products-and-solutions/highlights/wirelesshart-information-and-faqs>>. Luettu 22.11.2022.
- 16 WirelessHART – joustavuutta prosessinhallintaan. Verkkoaineisto. Endress+Hauser. <<https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/innovatiivinen-mittausteknologia/fieldbus-teknologia/wirelesshart-teknologia>>. Luettu 22.11.2022.
- 17 What is Industrial Ethernet? Verkkoaineisto. Versa technology. <<https://versatek.com/what-is-industrial-ethernet/>>. Päivitetty 08.06.2021. Luettu 10.01.2023.
- 18 Voss, Wilfried. 2019. Industrial Ethernet Guide - A Brief History of Ethernet and TCP/IP. Verkkoaineisto. Copperhill technologies. <<https://copperhilltech.com/blog/industrial-ethernet-guide-a-brief-history-of-ethernet-and-tcpip/>>. Päivitetty 28.06.2019. Luettu 12.01.2023.
- 19 EtherNet/IP soveltuu prosessitarpeisiin. Verkkoaineisto. Endress+Hauser Oy. <<https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/innovatiivinen-mittausteknologia/fieldbus-teknologia/ethernet-ip-mittalaitetiedot>>. Luettu 15.01.2023.
- 20 Andrade, Fabricio. Everything you need to know about EtherNet/IP and IIoT. Verkkoaineisto. Endress+Hauser. <<https://netilion.endress.com/blog/ethernet-ip/>>. Luettu 16.01.2023.
- 21 Rinaldi, John. 2017. The EtherNet/IP Origin Story. Verkkoaineisto. Real Time Automation. <<https://www.rtautomation.com/rta-blog/the-ethernet-ip-origin-story/>>. Päivitetty 14.03.2017. Luettu 18.01.2023
- 22 Bowne, Michael. 2015. A beginner's guide to PROFINET. Verkkoaineisto. PROFINET & PROFIBUS International. <<https://us.profinet.com/beginners-guide-PROFINET/>>. Päivitetty 03.02.2015. Luettu 10.02.2023.

- 23 Armenta, Antonio. 2021. Understanding Profibus vs. Profinet. Verkkoaineisto. Control Automation. <<https://control.com/technical-articles/understanding-profibus-vs-profinet/>>. Päivitetty 08.09.2021. Luettu 12.02.2023.
- 24 Bowne, Michael. 2021. What is PROFINET? – PROFINET explained. PROFINET & PROFIBUS International. <<https://us.profinet.com/profinet-explained/>>. Päivitetty 10.02.2021. Luettu 12.02.2023.
- 25 Time sensitive networking (TSN). Verkkoaineisto. PROFINET & PROFIBUS International. <<https://us.profinet.com/digital/tsn/>>. Luettu 13.02.2023.
- 26 Taipale, Juha. 2022. Field Automation Advisor, Endress+Hauser Oy, Vantaa. Webinaari 18.12.2022.
- 27 Ethernet-APL – Prosessiteollisuuden IIoT-sovelluksiin. Verkkoaineisto. Pepperl+Fuchs. <https://www.pepperl-fuchs.com/finland/fi/advanced_physical_layer.htm>. Luettu 13.02.2023.
- 28 Ethernet APL is here! Verkkoaineisto. Ethernet APL. <<https://www.ethernet-apl.org/>>. Luettu 14.02.2023.
- 29 Ethernet – To the field. Verkkoaineisto. Ethernet APL. <https://www.ethernet-apl.org/wp-content/uploads/2022/08/Ethernet-APL_Ethernet-To-The-Field_EN_FINAL_June-2021.pdf>. Luettu 14.02.2023.
- 30 Ethernet APL. Verkkoaineisto. Endress+Hauser Oy. <<https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/innovatiivinen-mittausteknologia/fi-ethernet-apl>>. Luettu 14.02.2023.
- 31 Ethernet APL. Verkkoaineisto. PROFINET & PROFIBUS International. <<https://www.profibus.com/technology/ethernet-apl>>. Luettu 14.02.2023.
- 32 Ethernet APL explained. Verkkoaineisto. FieldComm Group. <<https://www.fieldcommgroup.org/technologies/ethernet-apl/ethernet-apl-explained>>. Luettu 14.02.2023.
- 33 Niemann Karl-Heinz. 2021. The Ethernet-APL Engineering Process. Atp magazine. <[Niemann2021-Ethernet_APL.pdf \(hs-hannover.de\)](#)>. Päivitetty 09.08.2021. Luettu 21.03.2023.
- 34 Niemann Karl-Heinz. 2021. The Ethernet-APL Engineering Guideline. Ethernet APL. <https://www.ethernet-apl.org/wp-content/uploads/2022/08/APLEngineeringGuidelineV111_1.11.pdf>. Päivitetty 06.12.2021. Luettu 27.03.2023.

- 35 Taipale, Juha. 2023. Field Automation Advisor, Endress+Hauser Oy, Vantaa. Seminaari 28.03.2023.