



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **Kenttäväyläkommunikaatioratkaisut prosessiautomaation kenttäviestinnässä**

Oskari Kangas

PROSESSITEKNIikka

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Kenttäväyläkommunikaatoratkaisut prosessiautomaation kenttäviestinnässä

Tekijän Oskari Kangas

Oulun yliopisto, Prosessitekniiikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2021, 28 s. + 1 liite

Työn ohjaaja yliopistolla: Jukka Hiltunen

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää langattomien ja Ethernet-pohjaisten kenttäväyläkommunikointiprotokollien tekninen toteutus yleisluontoisesti ja pohtia niiden soveltuvuutta laajempaan käyttöön prosessiautomaatiossa. Tutkitut protokollat olivat HART-IP, PROFINET, Ethernet-APL, WirelessHART ja ISA100Wireless. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa lähteinä käytettiin erityisesti protokollien määrittämissä dokumentaatiota ja laitevalmistajien teknisiä raportteja. Teknologiaselvitys-osuudessa kuvataan protokollien teknistä toteutusta ja toimintaperiaatteita. Näiden kuvausten perusteella voidaan protokollia vertailla keskenään ja tarkastella niiden soveltuvuutta laajaan käyttöön prosessiautomaation näkökulmasta.

Selvitysten perusteella voidaan todeta, ettei yksikään tutkimuskohteena olleista protokollista ole nykytilassaan, tai lyhyellä aikavälillä, valmis syrjäyttämään perinteisiä kenttäväyliä instrumenttitason väyläkommunikaatiossa. Tutkimus antaa hyvän lähtökohdan instrumenttitason väyläkommunikaatiota koskeville jatkoselvityksille. Tällaisten selvitysten tarve tulee kasvamaan IIoT-sovellusten ja muiden älykkäiden järjestelmien yleistyessä prosessiteollisuudessa, mikä johtaa tiedonsiirron vaatimusten ja väyläarkkitehtuurin muutoksiin.

*Asiasanat: kenttäväylä, Ethernet, langaton kommunikointi*

# ABSTRACT

Fieldbus Communication Solutions in Process Automation's Field Communication

Oskari Kangas

University of Oulu, Degree Programme of Process Engineering

Bachelor's thesis 2021, 28 s. + 1 Appendix

Supervisor at the university: Jukka Hiltunen

The goal of the thesis was to research wireless and Ethernet-based fieldbus communication protocols and to provide technical overview of their implementation and evaluate their suitability for wider deployment in the process automation. Protocols researched in this thesis were: HART-IP, PROFINET, Ethernet-APL, WirelessHART, and ISA100Wireless. The research was carried out as literature review, which consisted of development specification documents, and device manufacturers' whitepapers. Technology overviews depict protocols' technical implementation and working principles. Based on the technical overviews, protocols' suitability for process automation's applications were assessed.

The researched showed that none of the researched protocols, in their current state or in near future, was ready to supersede traditional fieldbuses in the instrument-level bus communication. The thesis provides a good starting point for follow-up research of the fieldbus protocols, especially regarding the IIoT-applications becoming more common in the industrial setting.

*Keywords: fieldbus, Ethernet, wireless communication*

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

JOHDANTO .....	6
2 ETHERNET-POHJAISET KENTTÄVÄYLÄKOMMUNIKOINTIPROTOKOLLA .	7
2.1 HART IP .....	7
2.2 PROFINET.....	9
2.3 Ethernet Advanced Physical Layer .....	10
3 LANGATTOMAT KENTTÄVÄYLÄKOMMUNIKOINTIPROTOKOLLAT .....	13
3.1 WirelessHART.....	13
3.2 ISA100 WIRELESS.....	17
4 TULOSTEN ARVIOINTI .....	19
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET .....	21
6 YHTEENVETO .....	22
LÄHDELUETTELO.....	23

LIITEET:

Liite 1. Kommunikointiteknologioiden markkinaosuudet tuotantoautomaatiossa

.

## **MERKINNÄT JA LYHENTEET**

APL	Advanced Physical Layer
FCG	FieldComm Group
HART	Highway Addressable Remote Transducer
IP	Internet Protocol
ISA100	ISA100 Wireless
RF	Radio Frequency

# 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on esitellä Ethernet-pohjaisia ja langattomia kenttäväyläkommunikointiprotokollia ja -teknologioita. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa perehdytään erityisesti laitevalmistajien ja järjestelmäkehittäjien tuottamaan dokumentaatioon, sekä teollisuuden kirjallisiin raportteihin. Tutkimusaiheen aiempi akateeminen tutkimus on keskittynyt pääasiallisesti teoreettiseen toteutukseen ja kehitykseen. Työn tavoitteena on tuottaa selkeät kuvaukset tutkittavista teknologioista ja niiden soveltuvuudesta laajempaan käyttöön prosessiautomaatiossa.

Kenttäväylä on tehtaan lattiatasolla tapahtuvaan tiedonsiirtoon tarkoitettu väylä, eli prosessiautomaation hierarkiassa alimman tason väylä (Aalto yliopisto, 2014, s. 1). Kenttäväylät ovat kehittyneet pneumaattisesta tiedonsiirrosta, edelleen yleisesti käytetyn analogisen 4–20 mA signaalin kautta, puhtaasti digitaalisen viestintään (Aalto yliopisto, 2014, s. 2). Kenttäväylät voidaan jakaa kohdeteollisuuden perusteella karkeasti tehdasautomaation ja prosessiautomaation kenttäväyliin (Aalto yliopisto, 2014, s. 3).

Tämän hetken yleisimmät protokollat perustuvat analogiseen tai digitaaliseen viestintää perinteisiä parikaapeleita käyttäen (Aalto yliopisto, 2014, s. 13–30)., joten tässä työssä pyritään selvittämään uudempien Ethernet-kaapelin tai radiosignaalin yli tapahtuvan kommunikaation mahdollisuuksia korvaamaan ne prosessiautomaatiossa.

## **2 ETHERNET-POHJAISET KENTTÄVÄYLÄKOMMUNIKOINTIPROTOKOLLAT**

Vuonna 2018 Ethernet-pohjainen kenttäväyläkommunikointi ohitti suosiossa perinteiset kenttäväylät tuotantoautomaation ympäristössä (HMS Networks, 2018). Vuonna 2017 perinteisten väyläratkaisujen johto oli 2 % (HMS Networks, 2017), mutta vuonna 2018 Ethernet-pohjaiset ratkaisut ottivat 10 % johdon (HMS Networks, 2018). Vuonna 2019 ero oli kasvanut jo 24 %:iin, Ethernetin eduksi (HMS Networks, 2019). HMS Networksin tilastot osoittavat, että langattomien ratkaisujen osuus, tuotantoautomaatiassa, on pysynyt samana (6 %) kolmena tarkasteluvuotena peräkkäin (HMS Networks, 2017; HMS Networks, 2018; HMS Networks, 2019). Viimeaikainen kasvu teolliseninternetin käytössä tuotantoautomaatiassa voi merkitä tulevaa kasvua myös prosessiautomaation piirissä. Ethernet-pohjaisten kenttäväylien jakaumat havainnollistetaan Liitteessä 1.

Tässä kappaleessa esitellään kaksi Ethernet-pohjaista kenttäväyläprotokollaa: HART\_IP ja PROFINET, sekä Ethernet Advanced Physical Layer (Ethernet-APL) joka ei ole täysiverinen kommunikointiprotokolla vaan uuden sukupolven fyysisen kerroksen teknologia.

### **2.1 HART IP**

Highway Addressable Remote Transducer – Internet Protocol (HART-IP) on HART-protokollan laajennus, jolla mahdollistetaan kommunikointi älykkäiden instrumenttien kanssa, sekä tuki langalliselle, että langattomalle kommunikoinnille. HART-IP laajentaa fyysistä kerrosta tukemaan TCP/IP-kommunikointia ja seuraavia fyysisiä kerroksia: Ethernet, Wi-Fi, matkapuhelinverkko, pakettiradio, satelliittiyhteys ja RS232 (FieldComm Group, 2020c, s. 86).

HART-IP on istunto-orientoitunut protokolla, jossa käytetään kahden tyyppisiä laitteita: klienteja ja palvelimia (server). Palvelimet ovat tyyppillisesti yhdistetty tuotantolaitoksen

prosessiin ja clientit yhdistävät palvelimeen. Yksi client-laite voi olla yhteydessä useaan palvelimeen yhtä aikaa, jolloin sen on mahdollista käyttää korkeamman tason automaatio-sovelluksia, esim. säätö-, valvonta- ja optimointisovelluksia. HART-IP-laite voi olla yhtä aikaa sekä client, että palvelin. (FieldComm Group, 2020c, s. 87). Istunnon perustamisen jälkeen viestintä jakautuu asykliseen pyyntö/vastaus-tapahtumiin ja sykliseen datan julkaisuun (FieldComm Group, 2020c, s. 86).

Istunto-orientoitunut kommunikointi palvelimen ja clientin välillä tarkoittaa sitä, että yhteys pysyy auki, kunnes client katkaisee yhteyden (FieldComm Group, 2020c, s. 90). Istunto aloitetaan kuuntelemaalla TCP/IP porttia 5094, tosin jotkut isäntäjärjestelmät tai clientit voivat vaatia toisen portin käyttämistä, johtuen palomuurin asetuksista tai muista verkkorakenteen vaatimuksista. Jos vaihtoehtoista porttia käytetään, palvelin on jatkettava portin 5094 kuuntelemista, spesifikaation määrittelyjen mukaisesti. Istunnon alettua palvelin vastaanottaa pyyntöjä ja vastaa niihin, samalla tukien yksisuuntaisen client datan julkaisua. HART-IP palvelimen on pystyttävä tukemaan 5 clienttia yhtäaikaaisesti (FieldComm Group, 2020c, s. 87).

HART-IP-client tilaa julkaistua ajonaikaista prosessi- ja tiladataa, jota palvelimet tarjoavat. Purskeviestejä ja tapahtumailmoituskomentoja käytetään peruslaatuiseen julkaisuun ja client-laite hankkii tilaukset sitä koskettaviin julkistusketjuihin (FieldComm Group, 2020c, s. 91). ”Hengissä olo”-viestejä käytetään estämään istuntoa vanhenemasta epäaktiivisuustilanteissa, koska jatkuva yhteys voi pysyä päällä periaatteessa loputtomiin (FieldComm Group, 2020c, s. 90).

HART-laite, joka käyttää 4–20 mA yhteyttä, voidaan kytkeä HART-IP-verkkoon käyttämällä HART-IP kenttälaiteadapteria. Samaa adapteria voidaan käyttää yhdistämään useita HART 4-20mA laitteita yhtä aikaa verkkoon, mutta adapterin on noudatettava HART-IP I/O Järjestelmäspesifikaatiota (FieldComm Group, 2020c, s. 87).



## 2.2 PROFINET

HMS Networks (2017, 2018 & 2019) markkinaosuusanalyysien mukaan PROFINET omaa toiseksi suurimman markkinaosuuden tehdasautomaatiossa käytetyistä teollisen Ethernetin kommunikointi protokollista, jääden vain Ethernet/IP:n taakse. Markkinaosuusanalyysit osoittavat myös PROFINET suosion olevan tasaisessa kasvussa.

PROFINET on kommunikointistandardi PROFIBUS & PROFINET Internationalin automaattioratkaisuille (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., 2014, s. 1). PROFINET käyttää kolmea laiteluokkaa: IO Controller, IO Device ja IO Supervisor. IO Controller on usein PLC-laite, jolla ajetaan automaatio-ohjelmaa. IO Controlleria voidaan verrata luokkaan 1 Master-laitteeseen PROFIBUS-protokollasta. IO Device on hajautettu I/O kenttälaitte, joka kytkeytyy vähintään yhteen IO Controlleriin. IO Device tuottaa tulotietoa verkkoon ja vastaanottaa lähtötietoa verkosta. IO Supervisor on PC tai muu ihmisen ja koneen välinen käyttöliittymä, joka on verrattavissa PROFIBUS-järjestelmän luokan 2 Master-laitteeseen. IO Supervisor:ia käytetään asykliseen kommunikaatioon väyläjärjestelmässä, esimerkiksi vianmääritykseen (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., 2014, s. 3).

PROFINET-järjestelmän perustoiminnot ovat syklinen tiedonvaihto, asyklinen tiedonvaihto ja laite- sekä verkkodiagnostiikka. Syklinen tiedonvaihto on reaaliaikaisen tiedon vaihtumista tuottajan ja kuluttajan välillä ennalta määritettynä ajanhetkenä. Syklinen data voi olla esimerkiksi prosessiarvoja tai ohjauskomentoja. Sykli aika voidaan määrittää 250µs:sta 512ms:iin (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., 2014, s. 6). Asyklinen tiedonvaihto tapahtuu vain tarpeesta ja se sisältää diagnostiikkatietoa, sekä tunniste- ja kunnossapitotietoja. Diagnostiikkatieto verkosta on käyttäjän luettavissa mistä tahansa verkkoon liitetystä laitteesta. Tunniste- ja kunnossapitotiedot sisältävät tarkat tunnistetiedot laitteista ja moduuleista, sekä niiden versioista. Nämä tiedot luetteloidaan viiteen lohkoon, joista niitä voidaan käyttää erikseen. Lohko 0 on varattu laitteen laitteisto- ja ohjelmistoversioiden säilöntään ja se on pakollinen (PROFIBUS

Nutzerorganisation e.V., 2014, s. 7). Laite- ja verkkodiagnostiikka perustuvat tilamalleihin, jotka määrittelevät erilaisia tiloja, esimerkiksi ”hyvä” tai ”viallinen”. Tilamallit sisältävät myös eritasoisia ennakkovaroituksia, esimerkiksi ”laite vaatii huoltoa”. Lisäksi diagnostiikkahälytyksiä täytyy käyttää, jos IO Device:ssa tapahtuu virhe tai tapahtuma (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., 2014, s. 7).

### **2.3 Ethernet Advanced Physical Layer**

Ethernet-APL on fyysisen kerroksen teknologia, jonka pyrkimyksenä on päivittää Ethernet-standardi vastaamaan paremmin prosessiautomaation tarpeisiin (FieldComm Group, 2020b). Ethernet-APL käyttää seuraavia standardeja: IEEE 802.3cg-2019 (10BASE-T1L), IEC 60079 ja IEC 61158, kuitenkin samalla sallien kaksisuuntaisen kommunikation 10 Mbit/s nopeudella jopa 1000 metrin päähän, käyttäen kaapeliyhteyttä (FieldComm Group, 2020b, s. 8).

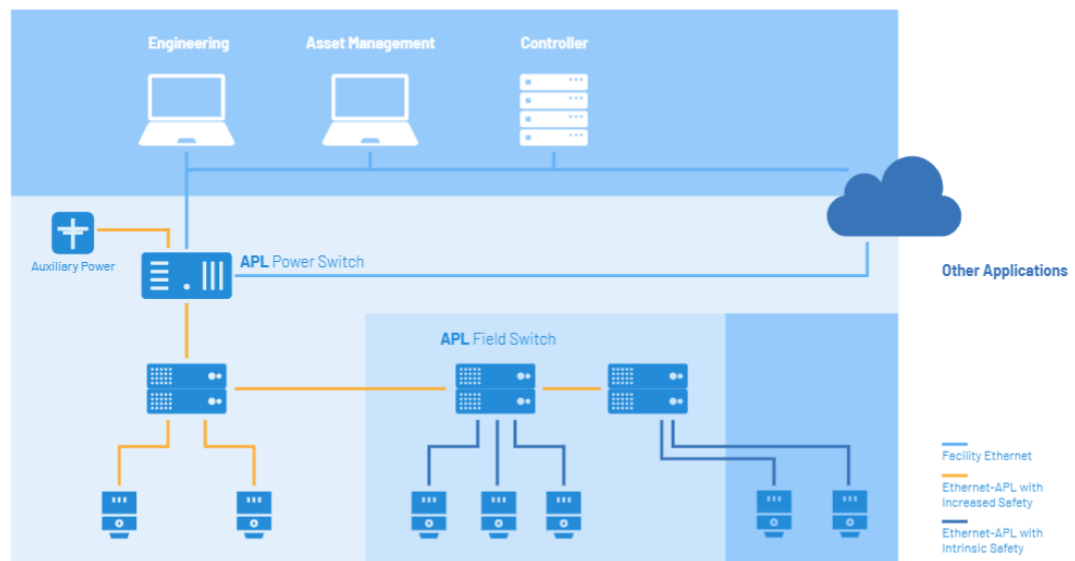
Ethernet-APL teknologian kehitysprojektia johtaa FieldComm Group (FCG) ja sitä tukevat ODVA, OPC Foundation, PROFIBUS & PROFINET International. Kehitystä tukevat myös useat prosessiautomaation laitevalmistajat, esimerkiksi ABB, Endress+Hauser and Siemens (FieldComm Group, 2020b, s. 4). Ethernet-APL tukee Ethernet/IP-, HART-IP-, OPC-UA- ja PROFINET-protokollia FieldComm Group, 2020b, s. 6). Ethernet-APL mahdollistaa myös muiden Ethernet-pohjaisten kenttäväyläprotokollien, esimerkiksi Foundation Fieldbus HSE, HART IP ja PROFINET, käytön laitetasolla (FieldComm Group, 2020e, s. 3).

Ethernet-APL:n kehitystyö aloitettiin, että prosessiautomaation tarve täydestä Ethernet-tuesta voitaisiin tyydyttää. Ethernetin fyysisen kerroksen oli täytettävä seuraavat vaatimukset ollakseen kelvollinen prosessilaitoksen käyttöön (FieldComm Group, 2020b, s. 5):

- pitkä parikaapeliveto, johon sisältyy sekä virransyöttö, että kommunikointi signaali, toteutettuna samalla kaapelilla
- luonnostaan turvallinen (intrinsic safety), sähkömagneettisen häiriön sietokyky ja ylijännitesuojauksen tuki
- helppo asennus ja mahdollisuus uudelleen käyttää olemassa olevaa A-tyypin kenttäväyläkaapelia

A-tyypin kenttäväyläkaapeli viittaa Foundation Fieldbus datakaapeliin, joka tukee datanopeutta aina 31,15 kB/s asti (FSC Global, 2021).

Yksi Ethernet-APL:n eduista, verrattuna aiempiin Ethernet-pohjaisiin fyysisiin kerroksiin, on, että se käyttää 10 BASE-T1L Ethernet tyyppiä, jolla voidaan saavuttaa 10 Mbit/s siirtonopeudet jopa 1000 metrin kaapelimitoilla (FieldComm Group, 2020b, s. 6). Ethernet-APL on jaettu kahden päätyyppiin osiin: ”runkoihin” ja ”oksiin”. Rungot ovat korkean virran ja vahvan signaalitason päälinjoja, joissa kaapelipituudet voivat kasvaa edellä mainittuun 1000 metriin. Oksat ovat matalan virran kaapeleita, jotka voivat tukea erilaisia turvaratkaisuja ja niiden kaapelipituus on maksimissaan 200 metriä (FieldComm Group, 2020b, s. 7). Ethernet-APL käyttää kahdenlaisia kytkimiä pitkän matkan viestintään: ”voimakytkimiä” ja ”kenttäkytkimiä”. Voimakytkimet omaavat yleisesti ulkoisen virransyötön ja ne syöttävät virtaa ja kommunikaatiota yhteen tai useampaan runkoporttiin. Kenttäkytkin ottaa virtansa runkolinjasta ja tarjoaa ainakin yhden portin, mihin oksa voi yhdistyä (FieldComm Group, 2020b, s. 8). Lyhyen matkan kommunikoinnissa voimakytkimet eivät ole tarpeellisia (FieldComm Group, 2020b, s. 9). Kuvassa 1 esitetään Ethernet-APL:n kenttäkytkintopologia pitkän matkan kommunikoinnissa.



**Kuva 1. Ethernet-APL kenttäkytkintopologia pitkän matkan kommunikoinnissa (FieldComm Group, 2020b s. 9)**

FieldComm Groupin omien arvioiden (2020a & 2020b, s. 16) mukaan Ethernet-APL:n fyysinen kerros tulisi olla valmis vuoden 2021 alussa ja ensimmäisten kenttälaitteiden saatavilla vuoden 2021 aikana. Alkuperäisten arvioiden mukaan Ethernet-APL piti olla valmis tukemaan kenttälaitteita jo vuonna 2020 (FieldComm Group, 2019a, s. 3), joten on mahdollista, että aikataulu tulee venymään vielä lisää.

## **3 LANGATTOMAT KENTTÄVÄYLÄKOMMUNIKOINTIPROTOKOLLAT**

Tässä kappaleessa esitellään kaksi langatonta kenttäväyläkommunikointiprotokollaa ja esitellään lyhyesti niiden teknistä toteutusta. Langattomia kenttäväyläkommunikointiprotokollia voidaan hyödyntää erityisesti käyttökohteissa, joissa pitkät välimatkat tekevät perinteisestä kaapelipohjaisesta kommunikoinnista vähemmän taloudellisesti kannattavaa tai vaikeat toimintaolosuhteet tekevät fyysisten yhteyksien käytöstä mahdotonta (FieldComm Group, 2019b).

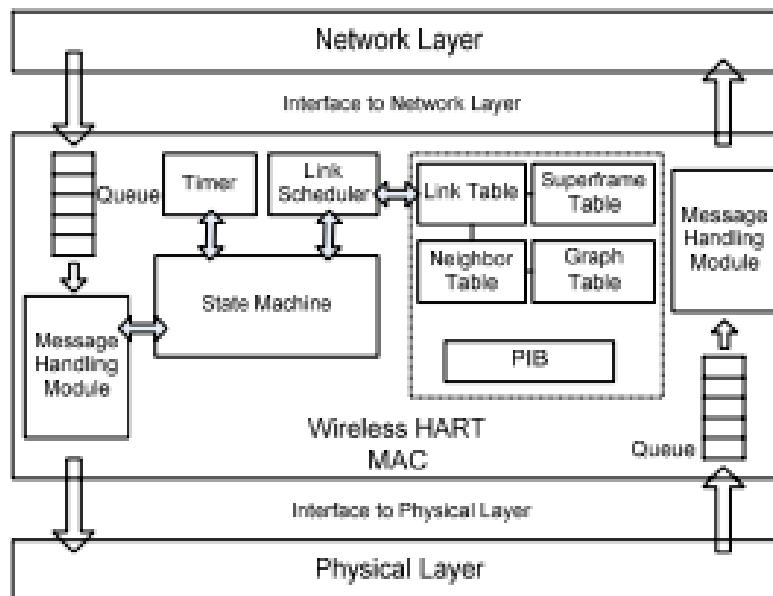
### **3.1 WirelessHART**

WirelessHART on kansainvälinen standardi (IEC 62591) ja se langaton laajennus HART-standardiin. Wireless HART perustuu IEEE 802.15.4 2,4 GHz radioteknologiaan (HART Communication Foundation, 2007, s. 5) ja se sallii saman komentorakenteen kuin HART-standardi (HART Communication Foundation, 2007, s. 4). WirelessHART käyttää taajuushypintää ja mesh-verkkoa, jolloin jokainen verkossa oleva laite lähettää itse oman datansa muille laitteille, täten taaten robustin kommunikaation (HART Communication Foundation, 2007, s. 5).

WirelessHART-protokollapino koostuu viidestä kerroksesta: fyysinen kerros, datalinkkikerros, verkkokerros, siirtokerros ja sovelluskerros. Fyysinen kerros seuraa IEEE 802.15.4 2,4 GHz:n fyysisen kerroksen spesifikaatiota ja mahdollistaen toiminnan taajuusalueella 2400–2483,5 MHz, käyttäen kanavia 11–26. Kanavien välillä käytetään 5 MHz:n väkiä ja tiedonsiirtonopeus on maksimissaan 250 kbit/s (Song J et al., 2008, s. 379).

Aikasynkronoitu datalinkkikerros käyttää 10 millisekunnin aikavälejä, jolla taataan luotettavaa kommunikointi Tämä toteutetaan ajastin- ja linkkijastinkomponenteilla. Datalinkkikerros toimittaa jokaiselle verkossa olevalla laitteelle aktiivisten laitteiden

listan, kommunikointitaulukon, joka koostuu maksimissaan 16 kanavasta. Kanavien määrä riippuu kanavien siitä, että kuinka moni kanava on asetettu ”mustalle listalle”. Kommunikointitaulukko listaa myös naapurilaitteet, joihin laitteen kantama ylittää (Song J et al., 2008, s. 379–380). Kuva 2 havainnollistaa WirelessHART:in datalinkkikerroksen arkkitehtuuria.

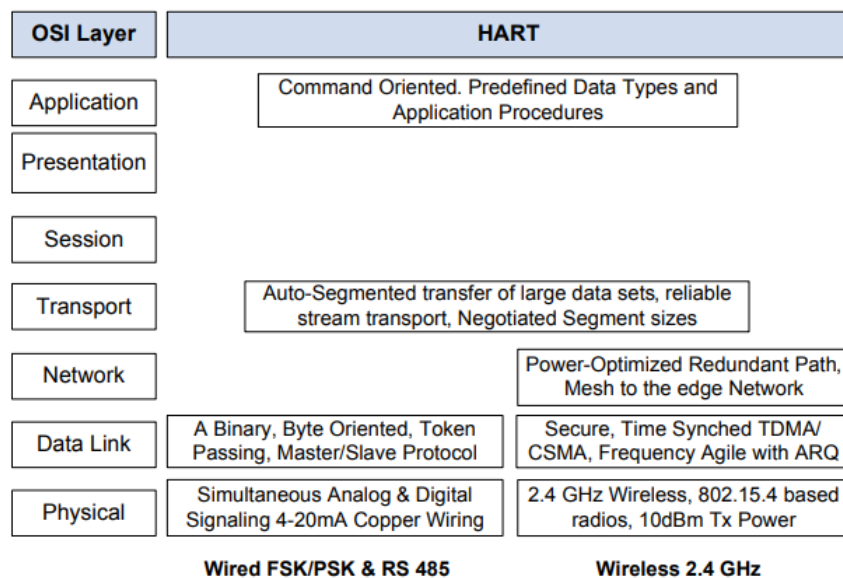


**Kuvaaja 2. WirelessHART datalinkkikerroksen arkkitehtuuri (Song J et al., 2008 s. 379)**

Verkkokerros ja siirtokerros toimivat yhteistyössä taatakseen turvallisen päästä päähän kommunikoinnin verkossa. Tämä toteutetaan antamalla jokaisen verkossa olevan laitteen välittää paketteja eteenpäin muiden laitteiden puolesta. WirelessHART käyttää kahta reititysprotokollaa: kaavioreititystä ja lähdereititystä. Kaavioreitityksessä käytetään etukäteen päätettyä reittiä, jonka toimittaa verkon hallinnoija, ja tämä ohje ladetaan jokaiseen laitteeseen erikseen. Viestin ylätunnisteessa käytetään tällöin erityistä kaavio-ID:tä ja viesti välitetään ennalta määrättyjen solmujen läpi kohteeseen. Kaavioreitityksessä reitti riippuu päämäärästä. Lähdereitityksessä viestin lähettävä laite tekee listan laitteista, joiden kautta viestin on kuljettava. Tämä lista liitetään paketin

ylätunnisteeseen. Reitityksen aikana jokainen laite päättää edellä mainitun listauksen perusteella seuraavaan vastaanottajaan, jolle paketin välitetään (Song J et al., 2008, s. 380).

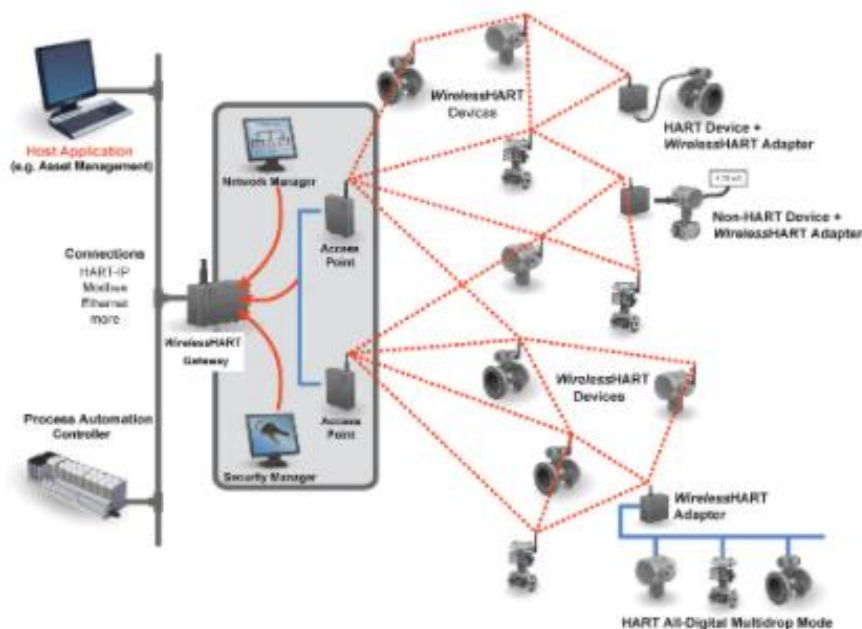
WirelessHART-arkkitehtuurin ylin kerros on sovelluskerros ja sen tarkoituksena on määrittää laitekomennot, vastaukset, tietotyypit ja tilan raportointi. Sovelluskerros tarvitaan koska kommunikaatio laitteiden ja porttien välillä perustuu komentoihin ja vastauksiin, kuten perinteisessä HART-kommunikaatiossa (Song J et al., 2008, s. 381). Kuva 3 havainnollistaa WirelessHART:in OSI 7-kerroksista kommunikaatiomallia.



### Kuvaaja 3. HART-kommunikointiarkkitehtuuri (Song J et al., 2008, s. 379)

WirelessHART:in turvallisuusarkkitehtuuri koostuu sekä MAC-, että verkkokerroksesta. WirelessHART-protokollassa turvallisuutta on parannettu lisäämällä toimintoja, esimerkiksi kanavahypintä ja kanavien mustalistaus (Song J et al., 2008, s. 378). Sekä lähettäjä, että vastaanottaja käyttävät lisäksi AES-128-salausta tiedon turvaamiseksi. Verkkokerroksessa käytetään neljänlaisia avaimia datan salaamiseksi: julkisia avaimia, verkkoavaimia, liittymisavaimia ja istuntoavaimia (Song J et al., 2008, s. 381).

WirelessHART-verkkotopologia tukee tähti-, klusteri- ja mesh-formaatteja, tarjoten näin parempaa skaalautuvuutta, kuin esimerkiksi Bluetooth, prosessiautomaation toimintaympäristöön. Yleisenä tapana parantaa skaalautuvuutta on ollut liittää useita WirelessHART-portteja samaan HART-IP runkoverkkoon (Nixon, 2012, s. 6) Toinen tapa parantaa verkon skaalautuvuutta on lisätä tukiasemien määrää, jolloin langattoman viestinnän saarekkeiden keskinäistä häirintää on helpompi hallita (Nixon, 2012, s. 6–7). Kuva 4 havainnollistaa WirelessHART:in mesh-verkkotopologiaa.



**Kuva 4. WirelessHART mesh-verkko (FieldComm Group, 2020f)**

Koska WirelessHART operoi rajoittamattomalla 2,4 GHz radiotaajuudella, jota käyttävät myös Bluetooth ja ZigBee, on täysin odotettavissa, että muista radiolaitteista tai tuotantojärjestelmän sähkölaitteista voi syntyä häiriötä kommunikointiin (Petersen & Carlsen, 2009, s. 2–3). WirelessHART on kykeneväinen käyttämään vain kolmea kanavaa yhtäaikaaisesti, ilman limittäisyyttä, ja tämä määrä voi laskea entisestään vaikeissa radio-olosuhteissa, näin heikentäen viestintään (Petersen & Carlsen, 2009, s. 3). Petersen & Carlsen (2009, s. 9) mukaan, WirelessHART on kykeneväinen toimimaan haastavissa radio-olosuhteissa, mutta rinnakkainen, IEEE 802.11 pohjainen, WLAN-



verkko voi aiheuttaa pakettien hukkumista. Lisäksi huomioitiin WirelessHART:in mahdollinen alttius palvelunestohyökkäyksille (Petersen & Carlsen, 2009, s. 9), joka toisaalta on vanhemmasta tutkimuksesta, jolloin kyseinen ongelma voi olla nykyisin korjattu.

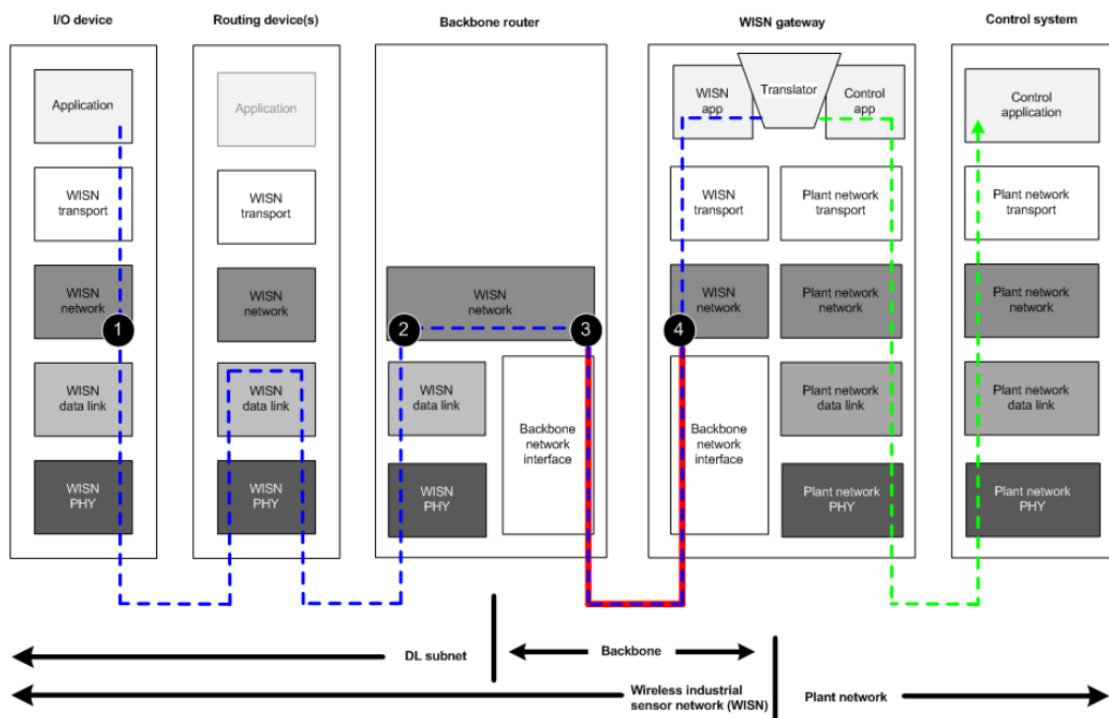
### **3.2 ISA100 WIRELESS**

ISA100 Wireless (ISA100) on kansainvälinen standardi (IEC62734) ja avoin IPv6 langattoman verkon kommunikointiprotokolla (ISA100Wireless, 2020b). Standardin tavoitteena on tarjota protokollapino järjestelmänhallintaan ja turvallisuustoimintoihin, kun toimintaan alhaisen virran ja alhaisen tiedonsiirtonopeuden teollisissa langattomissa verkoissa (Nixon, 2012, s.11). ISA100 on avoin protokolla, joka on kehitetty yhteistyössä yli 250 yrityksen toimesta, tavoitteena tuottaa avoin universaali standardi langattomille kommunikointiteknologioille teollisessa ympäristössä. Toisena tavoitteena oli tuottaa esineiden internetiin yhteensopiva teollisten verkkojen kommunikointiprotokolla (ISA100Wireless, 2021, s. 2).

ISA100 operoi 2,4 GHz radiotaajuudella, seuraten IEEE 802.15.4 spesifikaatiota. ISA100 käyttää 16 kanavaa, joiden väli on 5 MHz, kuten WirelessHART:ssa (ISA100Wireless, 2021, s. 11). Koska sekä WirelessHART, että ISA100 perustuvat IEEE 802.15.4 spesifikaatioon, ovat niiden tekniset toteutukset osin hyvin samanlaisia. ISA100 seuraa OSI 7-kerroksista kommunikaatiomallia ja sisältää seuraavat kerrokset: fyysinen, datalinkki, verkko, siirto ja sovellus (Nixon, 2012, s.16).

Datalinkkikerros huolehtii MAC-toiminnallisuudesta and hallitsee pakettien luonti-, hallinta- ja välitystoiminnot. Datalinkkikerros toimittaa myös kellon synkronoinnin, jota tarvitaan koska aikavälit ovat konfiguroitavissa. Perusasetuksena käytetään 10 millisekunnin aikasykronoitua aikaväliä, jota tukee adaptiivinen kanavahypintä. Näiden kahden toiminnallisuuden avulla yksittäisen kanavan käyttöastetta lasketaan, jolloin voidaan tarjota parempi toimivuus haastavissa radio-olosuhteissa (Nixon, 2012, s. 14–

15). ISA100 datalinkkerros käyttää ainoastaan kaavioreititystä, toisin kuin WirelessHART, joka käyttää lisäksi lähdereititystä (Nixon, 2012, s.16). ISA100 käyttää samoja ylimääräisiä turvallisuusominaisuuksia (kanavahypintä, AES-128-salaus, kanavien mustalistaus) kuin WirelessHART (ISA100Wireless, 2021, s. 10–11). Kuva 5 havainnollistaa ISA100 reititysmenetelmän.



**Kuva 5. ISA100 reititys (Nixon, 2012, s. 14)**

Verkkokerros käyttää 6LoWPAN ja IPv6 osoitusta päästä päähän reitityksessä. IPv6 paketit sirpaloidaan reititystä varten ja uudelleen kootaan 6LoWPAN-enabloidussa ISA100-laitteessa. Tämän seurauksena paketin lähettäminen vaatii syvää tietämystä ISA100 ohjelmointirajapinnasta. Siirtokerros tuottaa UDP-pohjaisen yhteydettömän palvelun, johon sisältyy päästä päähän suojaus, sekä vahvennettu viestin eheys (Nixon, 2012, s. 16). Sovelluskerros tuottaa rajapinnan ohjelmistosovelluksille, jotka implementoivat kommunikointikomponentin ja tukevat tällä hetkellä Foundation Fieldbus:ia, Profibus PA:ta ja HART:ia (ISA100Wireless, 2021, s. 4).

## 4 TULOSTEN ARVIOINTI

HART-IP on jo käytössä oleva ja tunnettu kommunikointiprotokolla, mutta sen käyttö on pääasiallisesti suunnattu alhaisen tason automaation selkärangaksi, ei niinkään instrumenttitason kommunikaatioon. HART-IP natiiveja lähettäjiä on tosin markkinoilla. HART-IP:n markkinaosuuden nopea kasvu ei vaikuta todennäköiseltä, ellei teollisen esineiden internetin (IIoT) kasvu luo painetta kasvattaa Ethernet-natiivien lisäämiselle prosessiin.

Koska PROFINET on osa PROFIBUS-järjestelmäperhettä, on sillä odotettavissa samoja ongelmia kuin PROFIBUS-pohjaisella laitteistolla, eli Eurooppa keskeisyys, kapeahko laitekanta ja kehitys on yhden kehittäjän varassa (Siemens). PROFINET ei myöskään ole soveltuva räjähdysvaarallisiin tiloihin, jota varten on kehitetty PROFIBUS PA-kenttäväyläprotokolla. Tämä voi rajoittaa protokollan laajentumista erityisesti öljy- ja kaasuteollisuuden parissa.

Kuten aiemmin todettiin, Ethernet-APL ei ole itsenäinen kenttäväyläprotokolla, vaan fyysisen kerroksen spesifikaatio, jonka odotetaan olevan tärkeänä osana FCG:n seuraavan sukupolven kenttäväyläjärjestelmän kehitystä ja käyttöä (FieldComm Group, 2020a; FieldComm Group, 2020d). Ethernet-APL yleistyminen tulee vaatimaan vielä vuosia, koska kehitystyön on vielä kesken ja teknologiaa ei ole vielä tuotu markkinoille. Lisäksi tunnetusti hidas liikkeinen prosessiteollisuus voi aluksi olla epäileväinen “tuntematon” teknologian käyttöönottoa kohtaan ja täten käyttö voi mahdollisesti rajoittua esimerkiksi pilottilaitoksille. Huomattavan korkeat tiedonsiirtonopeudet ovat kuitenkin lupaavia IIoT-soveltuvuutta ajatellen.

Tällä hetkellä WirelessHART:in käyttö on keskittynyt prosessinvalvonta ja etämittauksiin (FieldComm Group, 2019b), perinteisen HART:in ollessa keskittyneempi turvallisuusjärjestelmiin (HART Communication Foundation, 2013, p. 11). WirelessHART soveltuu erityisesti pitkien matkojen päähän tapahtuvaan viestintään,

jossa instrumentointi on hajautettua, esimerkkinä öljyteollisuuden varastosäiliöalueet. Tällöin säästöjä syntyy erityisesti kaapeloinnin tarpeessa. Olemassa olevia HART-silmukoita voidaan myös päivittää WirelessHART:in, joten WirelessHART on erittäin sopiva jälkiasennuskohteisiin, varsinkin jos laitoksella on jo käytössä HART-kommunikointia.

ISA100 laitekanta koostuu vain noin kuudestakymmenestä protokollaa tukevasta laitteesta, jotka jakautuvat instrumentteihin, reitittämiin ja radiokokoonpanoihin. Noin puolet laitteistosta ovat instrumentteja, jotka ovat pääasiassa Honeywellin tai Yokogawan valmistavia (ISA100Wireless, 2020a). Näin kapealla laitekannalla ISA100 ei voi kilpailla WirelessHART:in kanssa langattomien kenttäväylien markkinaosuuden hallinnasta, koska esimerkiksi Endress+Hauser tarjoaa 26 erilaista HART-protokollaa käyttävää painelähetintä (Endress+Hauser, 2020), joka vastaa lähes koko ISA100:n instrumenttitarjontaa. Lisäksi ISA100-kommunikoinnin käyttöönotto vaatii tarkkoja järjestelmämäärittämiä, mikä voi johtaa siihen, että ainoastaan yksi laitetoimittaja voi, yhteensopivuuden takaamiseksi, tuottaa laitteiston laitoksen kommunikointiverkkoon. Tämä voi vähentää potentiaalisten asiakkaiden kiinnostusta teknologiaa kohtaan.

Molempia langattomia kenttäväyliä uhkaa, IEEE 802.15.4-spesifikaation käytöstä johtuen, RF-viestinnät häiriöt, erityisesti silloin, kun samalla alueella käytetään Bluetooth- tai ZigBee-verkkoja (Song J et al., 2008, p.378). Toisaalta on kohtuullisen epätodennäköistä, että samalla tuotantoprosessin alueella käytettäisiin laajoja Bluetooth- tai ZigBee-verkkoja WirelessHART- tai ISA100-verkkojen rinnalla.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Teknologiaesittelyjen ja tulosten arvioinnin pohjalta voidaan todeta, että Ethernet-pohjaiset ja langattomat kenttäväyläkommunikointiprotokolla omaavat etunsa ja haittaansa verrattuna perinteisiin langallisiin kenttäväyläprotokolliin. Ethernet-pohjaiset protokollat ovat tällä hetkellä pääasiallisesti tukevassa osassa tai toimivat automaatiojärjestelmän tiedonsiirron selkärankana, mutta eivät sovellu kaikkiin prosessiautomaation tarpeisiin. Tällaisia tarpeita ovat esimerkiksi soveltuvuus käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa.

Langattomat kommunikointi protokollat ovat tällä hetkellä käytössä lähinnä valvonta- tai ei-aikakriittisten mittauksen piirissä. WirelessHART:in laajentuminen on todennäköisempää kuin ISA100:n suosion kasvu, johtuen WirelessHART:in laajasta laitekannasta ja taaksepäin yhteensopivuudesta jo olemassa oleviin langallisiin HART-väyliin. Langattomana kommunikaation yhtenä uhkana voidaan myös nähdä prosessiautomaation laitoksille ominaiset haastavat RF-olosuhteet, esimerkiksi voimakkaiden magneettikenttien tai teräsbetonirakenteiden muodossa.

Erityisesti IIoT:n yleistyminen voi kuitenkin tulevaisuudessa kasvattaa näiden teknologioiden ja protokollien kysyntää, koska tällöin suuremmat tiedonsiirtonopeudet ja automaatiohierarkian skaalautuvuus ja joustavuus tulevat olemaan merkittävässä asemassa kommunikointiprotokollaa valittaessa instrumentoinninsuunnitteluvaiheessa.

## 6 YHTEENVETO

Työssä esiteltiin Ethernet-pohjaisia ja langattomia kenttäväyläkommunikointitekniikoita ja -protokollia, sekä pohdittiin niiden soveltuvuutta laajempaan käyttöön prosessiautomaatiossa. Esiteltyt Ethernet-pohjaiset kommunikointiprotokollat olivat HART-IP ja PROFINET, lisäksi esiteltiin fyysisen kerroksen teknologia, joka ei kykene toimimaan itsenäisenä kenttäväyläprotokollana, vaan on osa laajempaa kenttäväyläjärjestelmää. Langattomat kenttäväyläprotokollat olivat WirelessHART ja ISA100.

Kaikista edellä mainituista teknologioista tehtiin teknologiakuvaukset, jotka pohjautuivat laitetoimittajien raportteihin ja järjestelmän kehittäjien spesifikaatioihin. Teknologiakuvausten perusteella suoritettiin soveltuvuusarviointia prosessiautomaation laajamittaisempaan käyttöön ja voitiin todeta, että millään näistä teknologioista ei tällä hetkellä ole valmiutta ottaa markkinajohtajan asemaa prosessiautomaation kenttäkommunikoinnissa. Ethernet-pohjaisten protokollien nähtiin soveltuvan toimimaan perinteisten kenttäväylien taustalla, mutta esimerkiksi soveltumattomuus räjähdysvaarallisiin tiloihin vähentää prosessiautomaation käyttökohteiden määrää.

Langattomien protokollien todettiin soveltuvan hyvin laajojen alueiden kattamiseen ja ei-aikakriittisen mittausten välittämiseen. Laajempaa käyttöä haittaavat muun muassa prosessikohteiden haastavat RF-olosuhteet. Yleisesti prosessiteollisuudessa vallitseva uusien teknologioiden käyttöönoton hitaus ja epäluuloisuus, vähemmän testattuja tai tunnettuja järjestelmiä kohtaan, ovat uhkana näiden protokollien laaja yleistymistä kohtaan. Mahdollisena kehityksen vauhdittajana nähtiin IIoT:n yleistyminen, joka voi tuoda mukanaan vaatimuksia langattomuudesta ja korkeista tiedonsiirtonopeuksista.

## LÄHDELUETTELO

Aalto yliopisto, 2014. Automaation kenttäväylät [verkkodokumentti]. Espoo: Aalto yliopisto. 41 s.

Endress+Hauser, 2020. Products – Product finder [online document]. Available from: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/product-finder?filter.business-area%5B%5D=level&s.category=search-product> [Accessed 10 February 2021].

FieldComm Group, 2019. Process Automation Device Information Model [online document]. Available from: <https://www.fieldcommgroup.org/sites/default/files/technologies/PA%20DIM%20white%20paper%201.0.pdf> [Accessed 24 July 2020]. 12 s.

FieldComm Group, 2019. WirelessHART User Case Studies [online document]. Available from: <https://fieldcommgroup.org/sites/default/files/technologies/hart/WirelessHART%20User%20Case%20Studies%20-%20web%20publishing.pdf> [Accessed 23 July 2020]. 13 s.

FieldComm Group, 2020. Ethernet-APL [webinar]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=Lm88SjCV0og&list=PLe2fn6bzL2vh8mw2j2P40mz54qNrRMXBK&index=4&t=0s> [Accessed 24 July 2020].

FieldComm Group, 2020. Ethernet – To the Field [online document]. Available from: <https://fieldcommgroup.sharefile.com/home/shared/foe7c4f0-74c7-410a-8682-4e5468c0eca2> [Accessed 24 July 2020]. 18 s.

FieldComm Group, 2020. HART Network Management Specification [online document]. Available from: <https://fieldcommgroup.sharefile.com/home/shared/foe3ed8c-5046-441d-918c-0e9ca582a6bb> [Accessed 12 February 2021]. 124 s.

FieldComm Group, 2020. NexGen Field Device – Information Session [webinar]. Available from: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_zdXt9whMRk&list=PLe2fn6bzL2vh8mw2j2P40mz54qNrRMBK&index=5&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=_zdXt9whMRk&list=PLe2fn6bzL2vh8mw2j2P40mz54qNrRMBK&index=5&t=0s) [Accessed 28 July 2020].

FieldComm Group, 2020. PA-DIM™ Process Automation Device Information Model [webinar]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=beXRMDrMKc0&list=PLe2fn6bzL2vh8mw2j2P40mz54qNrRMBK&index=6&t=0s> [Accessed 19 July 2020].

FieldComm Group, 2020. Technologies, HART, HART Technology [online document]. FieldComm Group. Available from: <https://www.fieldcommgroup.org/technologies/hart/hart-technology> Austin: FieldComm Group [Accessed 19 October 2020].

FSC Global, 2021. Industrial Automation, Bus Cables, FieldBus, FieldBus Type A [online document]. Available from: <https://www.fscglobal.com/products/fieldbus-type-a.html> London: FSC Global [Accessed 11 February 2021].

HART Communication Foundation, 2007. WirelessHART Overview for Manufacturers [online document]. Available from: <https://fieldcommgroup.sharefile.com/home/shared/foe7c4f0-74c7-410a-8682-4e5468c0eca2> [Accessed 22 July 2020]. 52 s.

HART Communication Foundation, 2013. WirelessHART System Engineering Guide [online document]. Available from: <https://fieldcommgroup.sharefile.com/home/shared/foe7c4f0-74c7-410a-8682-4e5468c0eca2> [Accessed 23 July 2020]. 71 s.

HMS Networks, 2017. Industrial Ethernet and Wireless are growing fast — Industrial network market shares 2017 according to HMS [online document]. Available from:



<https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2017/02/20/industrial-ethernet-and-wireless-are-growing-fast-industrial-network-market-shares-2017-according-to-hms> Halmstad: HMS Industrial Networks AB [Accessed 22 July 2020].

HMS Networks, 2018. Industrial Ethernet is now bigger than fieldbuses [online document]. Available from: <https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2018/02/27/industrial-ethernet-is-now-bigger-than-fieldbuses> Halmstad: HMS Industrial Networks AB [Accessed 22 July 2020].

HMS Networks, 2019. Industrial network market shares 2019 according to HMS [online document]. Available from: <https://www.hms-networks.com/news-and-insights/news-from-hms/2019/05/07/industrial-network-market-shares-2019-according-to-hms> Halmstad: HMS Industrial Networks AB [Accessed 22 July 2020].

ISA100Wireless, 2020. End User Resources, ISA100 Wireless Product Listing [online document]. Available from: <https://isa100wci.org/en-US/End-User-Resources/Product-Portfolio> Research Triangle Park: ISA100Wireless [Accessed 3 February 2021].

ISA100Wireless, 2020. ISA100 Wireless Technical Overview Brochure [online document]. Available from: <https://isa100wci.org/en-US/Documents/PDF/3405-ISA100-WirelessSystems-Future-broch-WEB-ETSI.aspx> [Accessed 17 July 2020]. 12 s.

ISA100Wireless, 2021. Architecture for Industrial Internet of Things [online document]. Available from: <https://isa100wci.org/en-US/Documents/PDF/3405-ISA100-WirelessSystems-Future-broch-WEB-ETSI.aspx> [Accessed 11 February 2021]. 12 s.

Nixon M., 2012. A Comparison of WirelessHART<sup>TM</sup> and ISA100.11A [online document]. Available from: <https://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-a-comparison-of-wirelesshart-isa100-11a-en-42598.pdf> [Accessed 19 October 2020]. 39 s.

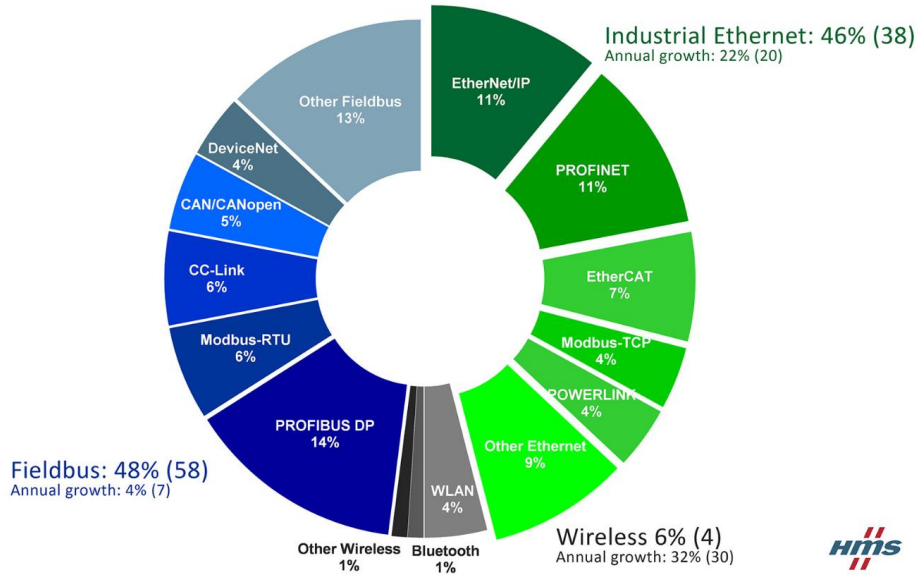
Petersen S & Carlsen S, 2009. Performance evaluation of WirelessHART for factory automation. 2009 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation. 9 s. ISBN 978-1-4244-2727-7

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., 2014. PROFINET System Description – Technology and Application [online document]. Available from: <https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=51714&token=4ea5554cb80a066e805a879116ead2a759c23c3> [Accessed 3 February 2021]. 28 s.

Song J, Han S, Mok A, Chen D, Lucas M, Nixon M & Pratt W, 2008. WirelessHART: Applying Wireless Technology in Real-Time Industrial Process Control. In: 2008 IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium. s. 377-386 ISBN 978-0-7695-3146-5

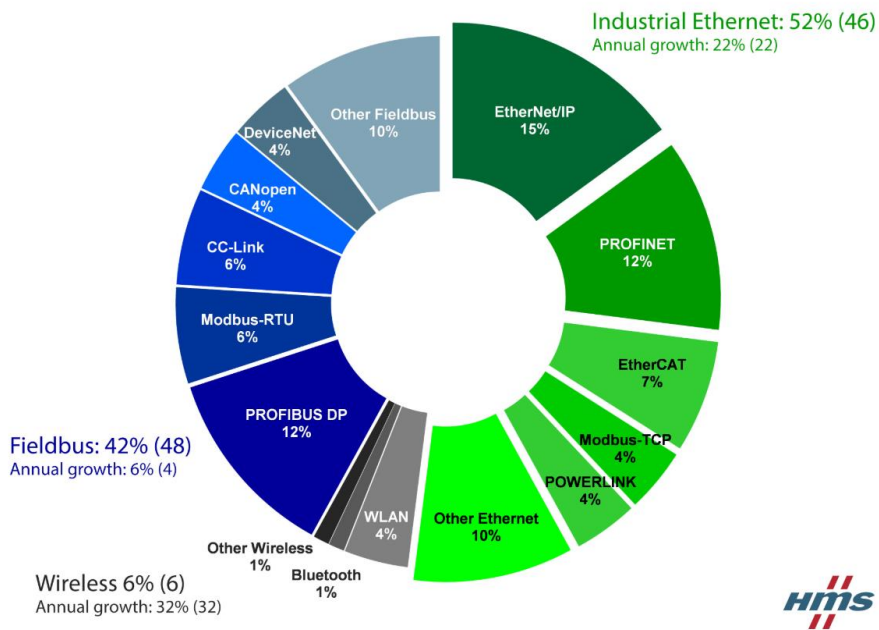
# LIITTEET

Liite 1 (1). Kommunikointitekniologioiden markkinaosuudet tuotantoautomaatiossa



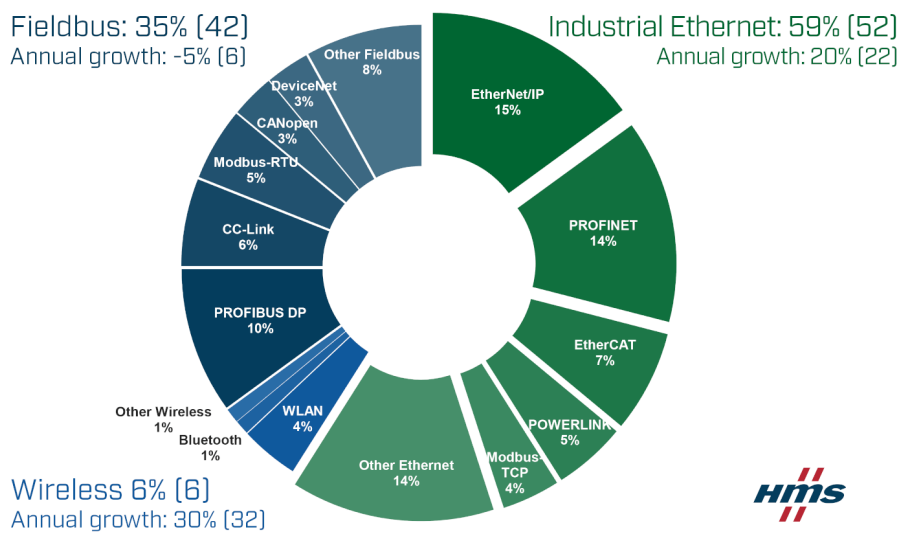
Kuva 6. Tilanne 02/2017 (HMS Networks, 2017)

Liite 1 (2). Kommunikointitekniologioiden markkinaosuudet tuotantoautomaatiossa



Kuva 7. Situation 02/2018 (HMS Networks, 2018)

Liite 1 (3). Kommunikointitekniologioiden markkinaosuudet tuotantoautomaatiossa



Kuva 8. Tilanne 05/2019 (HMS Networks, 2019)