

**IWLAN- JA 5G-PRIVAATTIVERKON ROOLI TEOLLISUUS-
AUTOMAATIOSSA: SOVELLUKSET TUULIVOIMASSA JA
PAPERITEOLLISUUDESSA**

Väisänen Mikko

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2024

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Mikko Väisänen	Vuosi	2024
Ohjaaja	FM Ari Afflekt		
Toimeksiantaja	Rejlers Finland Oy		
Työn nimi	IWLAN- ja 5G-privaativerkon rooli teollisuusautomaatioissa: sovellukset tuulivoimassa ja paperiteollisuudessa		
Sivumäärä	43		

Tämä opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa perehdyttiin langattomiin tekniikoihin teollisuuden automaatioissa. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko IWLAN- ja 5G-privaativerkon yhteiskäyttö kannattavaa tuulipuistoissa ja paperiteollisuudessa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Rejlers Finland Oy ja opinnäytetyö toteutettiin työsuhteen ohessa.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin IWLAN- ja 5G-privaativerkkoja ensisijaisesti yhteyksien, turvallisuuden, tiedonhallinnan ja toiminnan tehokkuuden parantamisen näkökulmasta eri käyttöympäristöissä. Lähdeaineistona käytettiin alan suuryritysten sekä jo langattoman verkon käyttömahdollisuuksia tutkineiden tahojen tarjoamaa tietoa ja opinnäytetyön tilaajan tarjoamaa koulutusmateriaalia.

Kirjallisuuskatsaus osoitti, että molemmat tekniikat ovat hyödynnettävissä niin yhdessä kuin erikseen molemmissa käyttöympäristöissä tietyt rajoitukset huomioiden. Esimerkiksi suuremmissa tuulipuistoissa IWLAN:n käyttörajoitukset liittyvät lähinnä etäisyyksiin, kun taas paperiteollisuudessa verkkojen toimintaa haastavat moninaiset häiriötekijät. Opinnäytetyö tarjoaa ajankohtaisen ja kattavan selvityksen kyseisistä teknologioista ja niiden käytöstä modernissa teollisuudessa.

Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Mikko Väisänen	Year	2024
Supervisor	Ari Afflekt, MSc		
Commissioned by	Rejlers Finland Oy		
Title	The role of IWLAN and 5G private network in industry-order: applications in wind power and paper industry		
Number of pages	43		

This thesis was carried out as a literature review by familiarizing oneself with wireless technologies in industrial automation. The aim of the thesis was to find out whether the joint use of IWLAN and 5G private networks is useful in wind parks and the paper industry. The client of the thesis was Rejlers Finland Oy and it was carried out in an employment relationship.

The thesis examined IWLAN and 5G private networks primarily from the point of view of improving communications, security, data management and operational efficiency in different operating environments. The source material used was the information provided by large companies in the field and those who had already studied the possibilities of using the wireless network. Training material provided by the client of the thesis was also used.

The literature review showed that both technologies can be used both together and separately in selected environments, considering certain limitations. For example, in larger wind parks, IWLAN usage restrictions are mainly related to distances, while in the paper industry, the operation of networks is challenged by various distractions. The thesis offers an up-to-date and comprehensive literature review of the previously mentioned technologies and their use in modern industry.

Keywords wireless network, industrial automation, 5G, IWLAN

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	REJLERS FINLAND OY	9
2.1	Toiminta.....	9
2.2	Visio.....	9
2.3	Historia	9
3	TEOLLISUUDEN AUTOMAATIO.....	11
3.1	Yleistä.....	11
3.2	Hierarkiat	12
3.3	Teollisuusautomaatiojärjestelmien tyypit	13
4	LANGATTOMAN VERKON MERKITYS TEOLLISUUDEN AUTOMAATIOSSA	
	15	
4.1	Rooli	15
4.2	Edut	15
4.3	Haasteet	16
4.4	Nykytilanne ja kehityssuuntaukset.....	17
5	IWLAN	20
5.1	Perusteet ja toimintaperiaate	20
5.2	Sovellukset ja käyttökohteet teollisuuden automaatiassa	21
5.3	Hyödyt ja rajoitukset teollisuuden kontekstissa.....	22
6	5G-PRIVAATTIVERKOT TEOLLISUUDEN KONTEKSTISSA.....	25
6.1	Rooli teollisuusautomaatiassa	25
6.2	Sovellukset ja käyttökohteet teollisuuden automaatiassa	26
6.3	Hyödyt ja haasteet teollisuusympäristössä	27
7	IWLANIN JA 5G-PRIVAATTIVERKON YHTEISKÄYTTÖ TUULIPUISTOSSA	
	JA PAPERITEOLLISUUDESSA.....	30
7.1	Yhteiskäytön mahdollisuudet ja haasteet yleisesti	30
7.2	IWLAN- ja 5G-privaattiverkot tuulipuistossa	32
7.3	IWLAN- ja 5G-privaattiverkot paperiteollisuudessa	35
8	POHDINTA.....	38

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AI	Artificial Intelligence, tekoäly
DCS	Distributed Control System, hajautettu ohjausjärjestelmä
EMC	Electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
EMI	Electromagnetic Interference, radiotaajuushäiriöt
HMI	Human Machine Interfaces, ihmisen ja koneen käyttöliittymä
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning, lämmitys, ilmanvaihto, ja ilmastointi
IIoT	Industrial Internet of Things, teollisuuden esineiden internet
IoT	Internet of Things, esineiden internet
IWLAN	Industrial Wireless Local Area Network, teollisuuden langaton lähiverkko
I-WLAN	Interworking Wireless Local Area Network, yhteentoimiva langaton lähiverkko
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network, pitkän kantaman laaja-alainen verkko
MES	Manufacturing Execution System, tuotannonohjausjärjestelmä
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikkaohjain
RFI	Radio Frequency Interference, radiotaajuushäiriöt
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, valvonta- ja ohjausjärjestelmä sekä datankeruu
TSN	Time-Sensitive Network, aikakriittinen verkko
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication, erittäin luotettava matalan latenssin tiedonsiirto
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

5G

Fifth-generation technology standard for cellular networks, viidennen sukupolven datayhteys

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui IWLAN:n ja 5G-privaattiverkon yhteiskäytön kannattavuuden selvitys tuulipuistossa sekä paperiteollisuudessa. Monikäyttöisyyden ja tämän hetken teollisuuden tarpeiden sekä kehityssuuntien vuoksi työssä tarkasteltiin juuri kyseisiä teknologioita. Toimintaympäristöt valittiin tilaajan tarpeista lähtien.

Tutkimuskatsauksen tavoitteena oli selvittää olemassa olevan tiedon pohjalta, onko IWLAN- ja 5G-privaattiverkon yhteiskäyttö kannattavaa tuulipuistoissa ja paperiteollisuudessa. Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena.

Opinnäytetyössä kuvataan teollisuuden automaatiota ja sen hierarkioita yleisellä tasolla sekä perehdytään langattoman verkon merkitykseen teollisuuden kontekstissa. Lopuksi syvennytään IWLAN:n ja 5G-privaattiverkon yleisiin sovelluksiin, käytön hyötyihin sekä haasteisiin ja verkkojen yhteiskäytön mahdollisuuksiin valituissa toimintaympäristöissä.

2 REJLERS FINLAND OY

2.1 Toiminta

Rejlers Finland Oy on perustettu vuonna 1989 Mikkelissä. Tänä päivänä yhtiöllä on 22 toimipistettä ja yli 1000 työntekijää Suomessa. Pääkonttori sijaitsee Vantaalla (ePressi 2024). Yhtiö on osa yhtä Pohjoismaiden suurinta asiantuntijaorganisaatiota Rejlers AB:ta, joka on perustettu vuonna 1942 Ruotsissa ja toimii tänä päivänä Ruotsin ja Suomen lisäksi myös Norjassa sekä Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa. (Rejlers 2024a.)

Teknisen alan suunnittelu- ja asiantuntijatöissä yhtiö toimii teollisuuden, rakentamisen sekä energian ja infran osa-alueilla. Tekninen liikkeenjohdon konsultointi on myös palveluna. (Rejlers 2024b.) Yhtiön liikevaihto vuonna 2022 oli 95,2 miljoonaa euroa. (Kauppalehti 2024).

2.2 Visio

Konsernin visiona toimii slogan – Home of the learning minds. Rejlersillä pyritään luomaan tekijälle turvallinen ja perhekeskeinen ympäristö, jossa jokainen voi olla oma itsensä omien heikkouksien sekä vahvuuksien puolesta. (Rejlers 2024c.)

Jatkuva kehitys ja mahdollisuus oppia on läsnä työpaikalla, ja siihen pyritään kouluttamalla sekä vastuullisesti perehdyttämällä uusia sekä jo konsernissa työskenteleviä asiantuntijoita. Sisäiset raja-aidat on pyritty minimoimaan, joten tietoa ja taitoa jaetaan laajasti yhteisön sisällä. (Rejlers 2024c.)

2.3 Historia

Merkittäviä historiallisia ajankohtia yrityksen toiminta-ajalta:

- 1942 Rejlers perustetaan.
- 1940-luvulla käynnistyivät suuret sähköistyshankkeet.
- 1950-luvulla tuli mukaan suuret teollisuushankkeet.
- 1960-luvulla osallistuttiin suureen asuntojen sähköistämishjelmaan.

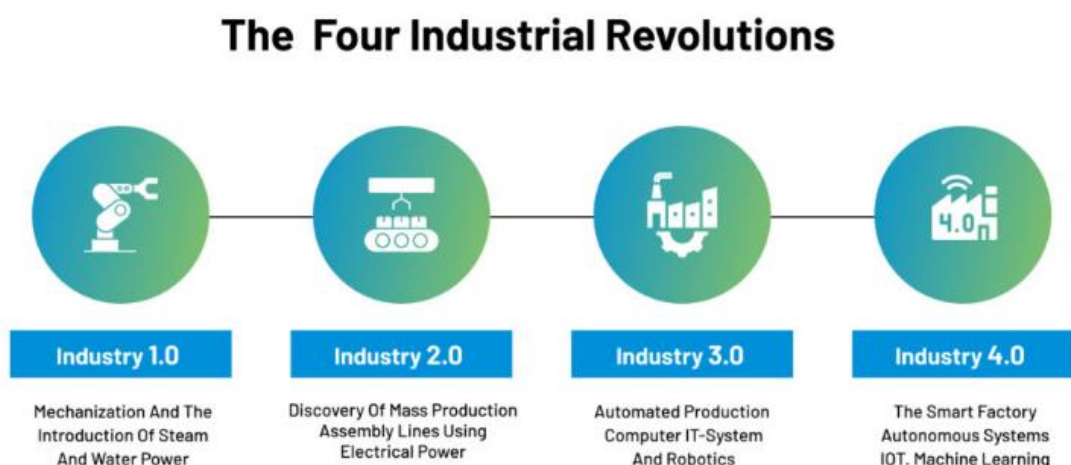
- 1970-luvulla päästiin mukaan ydinvoimaloiden kehittämiseen.
- 1980-luvulla lentokentät ja satamaverkostot tulivat mukaan sekä Rejlers Finland Oy perustettiin.
- 1990-luvulla alettiin keskittyä myös laajoihin rautatieprojekteihin.
- 2000-luvulla listauduttiin Tukholman pörssiin sekä aloitettiin merkittävät projektit laajakaistaverkkojen ja telekommunikaation saralla.
- 2010-luvulla digitalisaatio otti suurta roolia tekemisessä.
- 2020-luvulla panostetaan vihreään siirtymään. (Rejlers 2024d.)

3 TEOLLISUUDEN AUTOMAATIO

3.1 Yleistä

Käsitteellä teollisuuden automaatio tarkoitetaan teollisuuden muotoa, jossa manuaalisesti tehtävät toimenpiteet ja prosessit tehdäänkin automaattisesti, jonkin itsenäisesti toimivan, ohjelmoidun koneen toimesta. Automatisoidulla tehtävien suorittamisella saadaan aikaan tuotannon tehostumista, kannattavuuden paranemista sekä turvallisuuden paranemista. Lisäksi automaation avulla esimerkiksi tuotantolaitoksessa tuotettavan aineen tai tuotteen laatua voidaan tarkkailla ja hallita paremmin. (Fiberroad 2023.)

1800-luvulla on otettu ensiaskeleita teollisuuden automatisoimisessa, kun ensimmäiset moottorikäyttöiset koneet on keksitty, joita on voitu hyödyntää teollisuudessa. Suurimmat harppaukset automatisoimisessa on kuitenkin otettu samaa tahtia muun tekniikan kehittyessä 1900-luvun loppupuolelta alkaen, kun tietoliikennetekniikka ja teknologia yleisesti alkoi kehittyä nopeammalla tahdilla. Esimerkiksi robotiikka on kehittynyt huimasti lyhyessä ajassa. Aiemmin yksinkertaisia tehtäviä ja toimenpiteitä suorittavat robotit pystyvät tänä päivänä tekemään monimutkaisempiakin kokoonpanotehtäviä langattoman tekniikan tulon sekä sen parantumisen myötä. (Fiberroad 2023.)



Kuvio 1. Teollisuusautomaation kehitys (Copperdigital 2024)

3.2 Hierarkiat

Teollisuuden automaatio jaetaan yleisesti viiteen eri hierarkiaan (kuvio 2), jotta suurempien automaatiojärjestelmien ymmärtäminen olisi helpompaa. Hierarkiat ovat kenttätaso, ohjaustaso, suunnittelutaso sekä yritys- tai tietotaso.

(Machinedesign 2017.)

Kenttätasolla tarkoitetaan tasoa, joka koostuu kenttälaitteiden käytöstä. Esimerkiksi erilaiset anturit ja venttiilit ovat kenttälaitteita. Tämä on hierarkiassa alimpana ja sitä puhutellaan myös nimellä tuotantotaso. (Machinedesign 2017.)

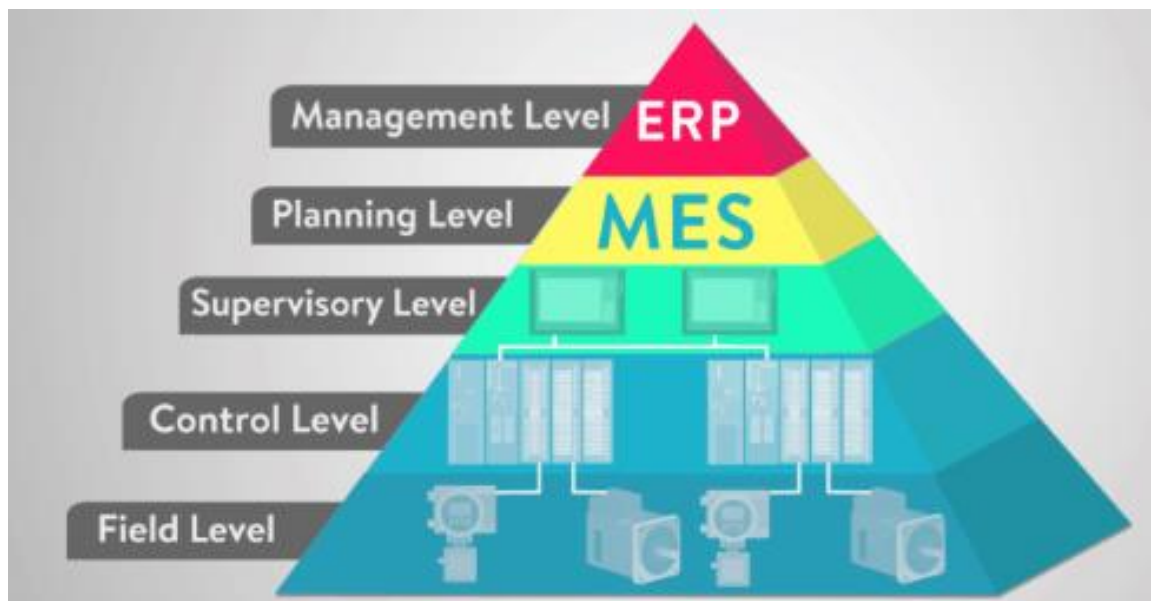
Ohjaustaso tulee heti kenttätason yläpuolelle. Tällä tasolla PLC:t sekä I/O-laitteet pitävät paikkaa. Nimensä mukaisesti ohjaustasolla anturisignaalien tai valmiiksi ohjelmoidun ohjelman mukaisesti ohjataan automaattisesti tarvittavia toimilaitteita. (Machinedesign 2017.) Ohjaustasolla toimii myös hajautettu ohjausjärjestelmä DCS. Se automatisoi erilaisissa prosesseissa tarvittavat teollisuuslaitteet ja pyrkii minimoimaan ympäristölle ja ihmisille tapahtuvia riskejä. Toiminta laajenee siis osittain myös valvontatasolle. Hajautettua ohjausjärjestelmää käytetään esimerkiksi kuljetuksessa ja prosessoinnissa sekä erilaisissa käsittelylaitoksissa. (ABB 2024.)

Valvontataso on myös äärimmäisen tärkeä osa toimivaa automaatiokokonaisuutta. Kyseisellä tasolla laitteet ja esimerkiksi jotain prosessia varten asetetut valvontajärjestelmät tarkkailevat sekä keräävät tietoa meneillään olevasta prosessista, ja hälyttävät tarvittaessa. Näistä esimerkkinä ovat muun muassa SCADA- sekä HMI-laitteet. (Machinedesign 2017.)

Suunnittelutaso on toiseksi korkeimmalla hierarkiassa. Sen alaisuudessa valvotaan haluttuja prosesseja alusta loppuun ja tästä kerätään tieto kaikista vaiheista, sitten tieto ohjataan halutuille järjestelmille tai henkilöille. Tänä päivänä MES eli valmistuksen suoritusjärjestelmä on käytössä laajasti. Sen avulla valvotaan, seurataan, dokumentoidaan, sekä ohjataan prosessia. (Syspro 2019.)

Korkeimmalla pyramidissa on yritystaso, automaatiojärjestelmää hallinnoiva taso. Yritystasolla tai toiselta nimeltään tietotasolla, automaatioissa tarkoitetaan osaa, joka käsittelee dataa kaupallisen osuuden puolesta, ei niinkään tekniikan osalta. Siellä käsitellään esimerkiksi erilaisia analyysejä markkinoiden ja asiakkaiden osalta sekä suunnittelua tuotannon osalta. (Machinedesign 2017.) Yritykset käyttävät liiketoiminnan hallintaan toiminnanohjausjärjestelmää, ERP-ohjelmistoa. Käytännössä kaikki yrityksen organisointiin ja johtamiseen tarvittavat prosessit voidaan integroida kyseiseen ohjelmistoon. (Investopedia 2024.)

Nämä kaikki hierarkiat yhdistetään viestintäverkkojen avulla, jolloin tieto kulkee ilman raja-aitoja tasolta toiselle ja kokonainen automaatiojärjestelmä on tällöin toiminnassa. (Machinedesign, 2017.)



Kuvio 2. Teollisuusautomaation hierarkiat (Realpars 2018)

3.3 Teollisuusautomaatiojärjestelmien tyypit

Teollisuudessa automaatiojärjestelmät on jaettu neljään eri tyyppiin; kiinteään, ohjelmitavaan, joustavaan sekä integroituun automaatiojärjestelmään. (TM Robot 2019.)

Yksinkertaisimpana tyyppinä toimii kiinteä, niin sanottu ”kova” automaatiojärjestelmä. Kiinteässä automaatiojärjestelmässä tietty määritelty

kone tekee samaa sille määrättyä tehtävää toistuvasti. Esimerkiksi teollisuuden robotti, joka hitsaa levyt yhteen samalla tavalla uudelleen ja uudelleen saman määritelmän mukaisesti. Liukuhihnatyöllä toteutettavassa laitoksessa, jossa halutaan tuottaa suuria määriä tuotannossa. (MWES 2024a.)

Kiinteää automaatiojärjestelmää hieman monimutkaisempi järjestelmä on ohjelmoitava järjestelmä (PAS). Kyseisessä järjestelmässä kone tai linjasto voidaan ohjelmoida tekemään tiettyä toimenpidettä määrätty määrä, esimerkiksi sata kertaa. Tätä järjestelmää käytetään, kun halutaan tuottaa tiettyjä määriä eri tuotetyyppejä, ensin sata kappaletta tyyppiä X ja sen jälkeen sata kappaletta tyyppiä Y. (MWES 2024b.)

Joustavassa automaatiojärjestelmässä mukana on useita erilaisia monipuolisesti ohjelmoituja laitteita, jotka on ohjattu esimerkiksi HMI:n kautta. Nämä järjestelmät ovat mukautuvaisia, jotka tunnistavat erilaiset prosessit sekä järjestelmien sijainnit lennosta. Joustavuus tarkoittaa myös sitä, että prosessin useita koneita voidaan liittää toimimaan yhdessä laajamittaisesti halutussa järjestyksessä omalla osa-alueellaan. Kun ensimmäinen kone on tehnyt ohjelmoidun osuutensa, tuote siirtyy automaattisesti seuraavalle koneelle, joka tekee taas oman osuutensa ja niin edelleen. Joustava järjestelmä on niin paljon älyä ja annettuja ohjelmia, että järjestelmä tunnistaa myös muutokset aikataulujen ja kysynnän osalta. (MWES 2024c.)

Integroidussa automaatiojärjestelmässä yhdistyy koko valmistusjärjestelmä ja se toimii valmistusjärjestelmätietokannan mukaisesti. Se on täysin digitaalisesti prosessoitu sekä koordinoitu järjestelmä. Järjestelmää käytetään teollisuudessa, joka on tietokoneintegroitu sekä kehittyneissä prosessiautomaatiojärjestelmissä. Teollisuuden energiahallintajärjestelmät ovat esimerkki integroidusta automaatiojärjestelmästä. (MWES 2024d.)

4 LANGATTOMAN VERKON MERKITYS TEOLLISUUDEN AUTOMAATIOSSA

4.1 Rooli

Jo yli viisikymmentä vuotta sitten on otettu käyttöön ensimmäisiä langattoman viestinnän laitteita teollisissa sovelluksissa. Liikkuvien laitteiden, esimerkiksi nostureiden ja kulkuneuvojen langattomaan ohjaukseen kehitettiin patentoitua radiotekniikkaa (Microtronics 2020). 2000-luvulla WLAN- ja Bluetooth-yhteydet sekä standardoidut radiotekniikat ovat nostaneet itsensä korkealle käyttöasteelle. Viimeisimpinä vuosina myös 5G-tekniikan osuus on kasvanut huimasti.

Langattoman verkon käyttö on ollut pitkään keskeinen osa teollisuuden automaatiota. Se kasvattaa entisestään automaatioprosessien tehokkuutta, joustavuutta sekä turvallisuutta. Pitkällä aikajänteellä se tuo myös kustannussäästöjä. (Roltek 2024.)

4.2 Edut

Langattomien tekniikoiden tulo teollisuuden automaatioon sekä sen kehitys vuosien myötä on ollut yksi merkittävämpiä muutoksia ja mahdollistajia teollisuudessa.

Yksi suurimmista langattoman verkon eduista teollisuuden automaatioissa on joustavuus; laitteiden sijoittaminen sekä muutokset sijainneissa helpottuvat huomattavasti, koska laitteeseen ei ole kiinnitetty ylimääräisiä fyysisiä kaapeleita. Se helpottaa myös uudelleen organisoinnissa. (Roltek 2024.)

Kaapeloinnin tarpeen väheneminen vaikuttaa kustannuksiin selkeästi. Kaapeli itsessään ei ole suuri kustannus, mutta kaapelointityö maksaa huomattavasti enemmän kuin langattomien laitteiden asentaminen tarvittaviin kohteisiin. Monet langattomia verkkoja tukevat laitteet tarvitsevat kuitenkin joko Ethernet- tai valokuitukaapeloinnin toimiakseen. Langattoman verkon ylläpitokustannukset ovat myös pienemmät kuin langallisen version, koska infrastruktuuria sekä verkon rakennetta pystyy muuttamaan huomattavasti helpommin, kun kaikkia

kaapelointeja ei tarvitse tehdä uudestaan vian ilmentyessä tai laitteiden paikkojen vaihtuessa. Muutostarpeet teollisuuslaitoksessa tai järjestelmien uusiminen on helpompaa, kun verkko toteutetaan langattomasti. Langattoman verkon alkuinvestointi voi kuitenkin olla suurempi kuin langallisella verkolla.

Langattomat anturit sekä langattomat yhteyttä jakavat laitteet ovat etävalvonnan ja -ohjauksen puolesta huomattava parannus vanhaan tekniikkaan. Prosesseja voidaan ohjata ja valvoa etänä, eikä kohteeseen välttämättä tarvita fyysisesti paikalle työntekijää kyseiseen tehtävään, eli tuottavuus kasvaa ja vasteajat pienenevät. Tämä vaikuttaa samalla myös tehokkuuteen ja joustavuuteen. (Roltek 2024.)

Langatonta verkkoa hankittaessa on otettava huomioon laitevalinnat sekä verkon rakenteen järkevä suunnittelu. Näiden toteutuessa verkon laajentaminen sekä sen skaalaaminen eri käyttötarkoituksille helpottuu. Tämän myötä kustannukset eivät nouse niin korkealle.

4.3 Haasteet

Suurimmat haasteet langattoman verkon osalta ovat luotettavuus, turvallisuus, latenssi, yhteensopivuus sekä kapasiteetti ja kaistanleveys. (Belden 2020.)

Luotettavuuden osalta langattoman verkon toimintaan vaikuttavat laitehäiriöt sekä signaalihäiriöt. Signaalihäiriötä voivat aiheuttaa muut laitteet teollisessa ympäristössä sekä rinnalla toimivat langattomat järjestelmät (Belden 2020). Laitehäiriöt ovat läsnä niin ihmisten kodeissa kuin teollisuudessakin.

Lisääntyneet tietoturva- ja tietosuojariskit ovat kasvaneet vuosien mittaan, kun taas langattoman verkon suojaus ei ole parantunut samassa suhteessa. Tämä on suuri riski kyseisen tekniikan osalta. Vaikka verkko olisi privaatti-verkko, on ulkopuolisella mahdollista liittyä verkkoon, jonkin madonreiän kautta sekä tietovuoto ulospäin on mahdollinen. (Swift Tech Solutions 2023.)

Kaistanleveyden ja yleisesti verkon ominaisuuksien puolesta haasteita on monessa suunnassa. Jos kaistanleveyttä ja verkon kapasiteettia ei ole suunniteltu tarpeeksi kattaviksi, ongelmia tulee isojen datapakettien siirroissa sekä käyttäjämäärien kasvaessa. Jos viiveet ja latenssi kasvavat liian suuriksi, ei dataa pystytä lähettämään ja vastaanottamaan laitteiden välillä tarpeeksi nopeasti, johtaa monien laitteiden toiminta siihen, etteivät ne pysty toimimaan reaaliajassa. Tällä voi olla suuria vaikutuksia esimerkiksi tehtaan tuotantoprosesseihin.

Langattoman verkon omat protokollat ja standardit voi olla haastavaa yhteensovittaa oleviin järjestelmiin sekä laitteisiin, varsinkin jos olemassa olevat kokonaisuudet on huomattavasti vanhempaa tekniikkaa. Uudet päivitykset vanhoihin järjestelmiin sekä mahdolliset tekniset muutokset tulevat kalliiksi, eikä päivityksiä välttämättä ole saatavilla tarvittavia määriä. (Lifewire 2021.)

4.4 Nykytilanne ja kehityssuuntaukset

Tämän päivän teollisuudessa teollisuus-WLAN eli IWLAN, Bluetooth, LTE sekä teollisuuden 5G ovat langattomien verkkojen osalta ne, mitä käytetään paljon, ja vanhoja tekniikoita pyritään muuttamaan näihin. Tarkennettuun käyttöön on tarjolla Trusted Wireless-, Nearfi-, LoRaWAN- sekä WirelessHART-tekniikat. Mesh-verkko on myös yleistynyt teollisuuskäytössä, se toimii WLAN-verkossa. Muut edellä mainitut toimivat niin sanotusti olevan verkon rinnalla. Paremmat yhteydet mahdollistavat IoT:n ja IIoT:n käytön sekä tekoälyn mukana olon myös teollisuudessa (IBM 2024).

Vuosien saatossa langattoman verkon käyttöalueet ovat laajentuneet. Prosessivalvonta, kunnossapito, erilaiset laiteseurannat sekä logistiikkatoiminnot ja varastojen hallinta ovat toteutettu langattomilla järjestelmillä useissa teollisuuslaitoksissa. Reaaliaikaisen suorituskyvyn tarve on kasvanut käyttöalueiden laajentuessa ja pelkästään langallisella tekniikalla tätä tarvetta ei pystytä täyttämään, mutta se vaatii myös langattoman verkon tekniikalta oikean määrän suorituskykyä, jotta toimenpiteet voidaan viedä maaliin. (Yokogawa 2024.)

Mitä pidemmälle kehityksessä on menty, sitä enemmän tekniikka on parantunut sekä turvallisuuteen ja tietoturvaan on pystytty vaikuttamaan, ja kustannuksia on saatu alaspäin.

IoT sekä IIoT ovat suurimmat teollisen automaation kehityssuuntaukset, IoT-anturit sekä laitteet teollisessa ympäristössä mahdollistavat parempaa ja kattavampaa tiedonkeruuta sekä analysointia. Nopeammat ja kattavammat tietoliikenneyhteydet tekevät kyseisistä teknologioista toimivia ja luotettavia. 5G-verkon tulo teollisuuden automaatioon sekä WLAN-yhteyksien kehittyminen ovat tässä suuressa roolissa. IoT:hen liittyvä reunalaskenta (edge computing) on myös yksi suuri kehityssuunta. Se mahdollistaa datan käsittelyn ja analyysin lähempänä datan lähdettä, mikä pienentää siirtojen viivettä ja tekee teollisuuden automaatiosta reaaliaikaisempaa. (IBM 2024.)

Viime vuosina paljon esillä olleen tekoälyn (AI) osuus teollisuuden automaatiossa kasvaa nopeasti. AI:ta käytetään monissa eri prosesseissa ja sovelluksissa, koska se pystyy parantamaan tehokkuutta, luotettavuutta sekä joustavuutta. Esimerkiksi ennakoivan analytiikan avulla AI voi ennustaa tuotannon tulevia häiriöitä ja optimoida tuotantolaitoksen kapasiteetin käyttöastetta. AI:ta siis hyödynnetään tuotannossa, laadunvalvonnassa, kunnossapidossa ja logistiikassa, prosessien valvonnassa ja ohjauksessa sekä robotiikan saralla. Itseohjautuvat koneet, kuten kulkuneuvot ja dronit voivat liikkua täysin AI:n vastuulla tietyissä kohteissa. (IBM 2024.)

Teollisuudessa sekä kaikessa muussakin käytössä tulevaisuuden tekniikka 6G nostaa päätään. Tekniikkaa voidaan odottaa toimivana markkinoille vuoteen 2030 mennessä. 6G-verkon liitettävyyys paranee verrattuna aikaisempiin tekniikoihin. Verkko pystyy myös "tunnistamaan" ympäristön, esineet sekä ihmiset (kuvio 3). 5G taas on suuri kehitysaskel 4G:stä, mutta 6G jatkaa taas siitä, mihin 5G-teknologia jäi. Sillä päästään myös vauhdilla kohti teollisuuden viidettä vaihetta. (Nokia 2024a.)



Kuvio 3. Nokia 6G:n mahdollisuudet (Nokia 2024a)

5 IWLAN

5.1 Perusteet ja toimintaperiaate

IWLAN on perusteiltaan kuin WLAN, se käyttää samoja perus standardeja kuin normaalit WLAN-verkot. Standardeilla tarkoitetaan tapaa siirtää dataa radioaaltojen avulla eri laitteiden välillä. IEEE 802.11 on yleisin WLAN-standardi (Schneider Electric 2024), mutta IWLAN on optimoitu kestävämpään teollisuudessa sähköisiä ja fyysisiä häiriöitä (Siemens 2024). Optimoituun toimintaan päästään käyttämällä erityisempiä asetuksia radiotaajuuksien osalta sekä laitteita, jotka kestävät paremmin teollisen ympäristön fyysisiä, kemiallisia sekä esimerkiksi lämpötilan aiheuttamia häiriömahdollisuuksia. IWLAN:n yleisesti käyttämät taajuudet ovat 2,4 GHz ja 5 GHz, pienempi taajuus on tarkoitettu laajemmalle kantamalle, ja hieman pienemmälle datansiirrolle, se on myös alttiimpi häiriöille, koska monet muut laitteet käyttävät samaa 2,4 GHz taajuutta (Schneider Electric 2024). 5 GHz taajuus tarjoaa taas paremmat nopeudet datan siirtoon sekä vähemmän häiriötä, koska se on vähemmän käytetty taajuus, mutta sen seinien läpäisykyky taas on heikompi (Centurylink 2024). Uusimpana taajuutena ja mahdollistajana on uusi IEEE 802.11ax-standardi, joka tunnetaan paremmin WiFi6 nimellä (Phoenix Contact 2024). Eri maissa ja eri alueilla on omia säädöksiä ja standardeja, joten käytettävät taajuudet ja niiden käyttötavat on otettava huomioon paikallisesti suunniteltaessa verkkoa.

Suunniteltaessa IWLAN-verkkoa on huomioitava, että verkossa käytetään robusteja laitteita, jotka kestävät paremmin fyysisiä iskuja, korkeita ja matalia lämpötiloja sekä kosteutta (Siemens 2024). Laitteiden tulee olla myös EMI/RFI-suojattuja. Tällöin sähkömagneettisilta sekä radiotaajuisilta häiriöiltä voidaan välttyä paremmin. Oleellista suunnittelun kannalta on myös ottaa huomioon verkon redundanssi. Sillä tarkoitetaan verkon kykyä jatkaa toimintaa/palautua osittaisesta vikaantumisesta huolimatta. Redundanssin parantamiseksi voidaan verkko suunnitella ja rakentaa kahdennettuna verkkona tai esimerkiksi Mesh-verkkona. Mesh-verkossa jokainen laite pystyy lähettämään ja vastaanottamaan signaalia, eli yhden vikaantuessa verkko reitittää itsensä uudelleen toimivan

laitteen kautta (Westward Sales 2024). Kahdennetussa verkossa yhden laitteen vikaantuessa toinen laite ottaa datansiirron hoitaakseen.

5.2 Sovellukset ja käyttökohteet teollisuuden automaatiassa

IWLAN mahdollistaa reaaliaikaisen datan keräämisen eri laitteilta ja koneilta ilman fyysistä liitäntää, nopea tiedonsiirto auttaa ennakoimaan huoltoja, optimoimaan prosesseja sekä parantamaan tehokkuutta tuotannossa. Fyysisten kaapeleiden puuttuminen laitteiden väliltä tuo mahdollisuuden käyttää antureita ja mittauslaitteita, joiden dataa voidaan siirtää myös langattomasti laitteiden välillä. Langattomuus vähentää siis kaapeloinnin tarvetta ja sen tuomia kustannuksia, mutta myös antaa mahdollisuuden asentaa antureita vaikeapääsyisiin kohteisiin, joihin kaapelointi olisi haasteellista. (Siemens 2024.)

Langaton tiedonsiirto eri laitteiden välillä on siis hyödynnettävissä lähes kaikkeen kunnossapidossa sekä vianmäärityksessä. Tämän päivän IWLAN-verkossa myös tuotantolaitoksen huoltoteknikot pääsevät esimerkiksi älylaitteen kautta järjestelmätietoihin käsiksi. Tämä liittyy läheisesti myös turvallisuuteen ja laitoksen valvontaan. Turvalaitteet, mukaan lukien valvontakamerat sekä pääsynvalvontajärjestelmät toimivat langattomasti ja jakavat tietoa jopa reaaliajassa haluttuun sijaintiin, esimerkiksi turvallisuuskeskukseen. (Siemens 2024.)

Logistiikka- ja varastointiratkaisujen osalta tiedonkeruu on myös mahdollista langattomasti, varastojärjestelmien ylläpito ja tiedonkeruu logistiikan toiminnoista onnistuu; tavaroiden sijainnit, saatavuus sekä niiden käsittely ja kuljetus saadaan toimimaan langattomassa verkossa. (Phoenix Contact 2024.)

Varastojen ja logistiikkakeskustenkin toimintaan liittyvät automaattisesti ohjatut ajoneuvot sekä robotit ovat yksi suuri etu teollisuuslaitoksessa. Laitteet käyttävät IWLAN-verkkoa navigointitietojen vastaanottamiseen ja lähettämiseen sekä määriteltyjen tehtävien hoitamiseen. Tässä mahdollistuu tehokas liikkuminen ja koordinointi tehdasympäristössä. (Phoenix Contact 2024.)



Kuvio 4. IWLAN-ympäristö (Siemens 2024)

5.3 Hyödyt ja rajoitukset teollisuuden kontekstissa

Teollisuuden automaatiossa käytettäviin muihin tekniikoihin verrattuna IWLAN tuo monipuolisuutta ja luotettavuutta. Kaistanleveyden ja datansiirtonopeuden sekä paremman kantaman ja peittoalueen osalta kyseinen verkko on helpompi suunnitella ja rakentaa oikeita ja sopivia laitteita käyttäen teollisuuslaitoksessa. Tehokkaat tukiasemat ja parempi antennitekniikka auttaa datansiirrossa laajoillakin teollisuusalueilla. Verrattuna muihin tekniikoihin tukiasemia ja solmupisteitä tarvitaan vähemmän, koska kantama on IWLAN-tekniikalla parempi. Latenssin eli ajan, joka kuluu datan siirtymisessä lähettäjältä vastaanottajalle, osalta IWLAN on yksityisen 5G-verkon kanssa parhaimmista. Viive pystytään parhaimmillaan pitämään alle kymmenessä millisekunnissa, mikä tukee reaaliaikaisia sovelluksia sekä kriittisiä säätö- ja valvontatehtäviä.

Turvallisuuden saralla IWLAN mahdollistaa WPA3-salauksen, joka hieman parantaa tietoturvaa teollisuuslaitoksessa. Näin ollen verkon ulkopuolelta ei ole niin helppo päästä sisään, mahdollista kuitenkin. (Phoenix Contact 2024.)

Aikaisemmin mainittu standardien mukaisuus on yksi etu IWLAN-verkolle. Parempi yhteensopivuus ja integroituvuus erilaisten laitteiden ja järjestelmien välillä verrattuna muihin teknologioihin on selkeästi parempi. Muut tekniikat saattavat käyttää tarkennettuja sekä vähemmän yleisiä verkko-standardeja toiminnassaan. Vakiintuneet standardit vaikuttavat myös siihen, kuinka suurta määrää laitteita samanaikaisesti IWLAN voi tukea; anturit, sensorit, mobiiliyksiköt sekä koneet voivat toimia samassa verkossa (Siemens 2024).

IWLAN:n osa hyödyistä on samalla myös sen rajoitteita teollisuuden automaatiassa. Vakiintuneissa standardeissa on esimerkiksi se ongelma, että monet muut laitteet käyttävät samoja taajuuksia kuin IWLAN. Tällöin häiriöiden mahdollisuus on läsnä. (Control Engineering 2012.) Ongelmana siis on WLAN-verkon suppeat kanavamäärät.

Suuremmissa tehtaissa ja tuotantotiloissa seinien ja koneiden läpäisytarve on suuri ja näin ollen se on rajoite IWLAN:lle, koska 5 GHz-signaali ei läpäise hyvin, eikä 2,4 GHz läpäise niin hyvin kuin esimerkiksi ZigBee, joka toimii alhaisemmillä taajuuksilla, esimerkiksi 868 MHz taajuudella. Zigbee toimii myös 2,4 GHz taajuudella. (Campuscomponent 2023.)

Mitä enemmän IWLAN-laitteet siirtävät dataa sekä suuria datapaketteja, sitä enemmän ne kuluttavat virtaa. Se on ongelma, jos tukiasemat ovat akkukäyttöisiä, eikä niissä ole lainkaan fyysisiä kaapeleita. Tässäkin tapauksessa ZigBee-tekniikkaan on hyvä verrata, koska kyseisen laitteiston virrankulutus on minimaalista, jos toteutetaan pienellä taajuudella. Tämän vuoksi IWLAN ei sovellu niin hyvin esimerkiksi antureiden yhteystekniikaksi. (Campuscomponent 2023.)

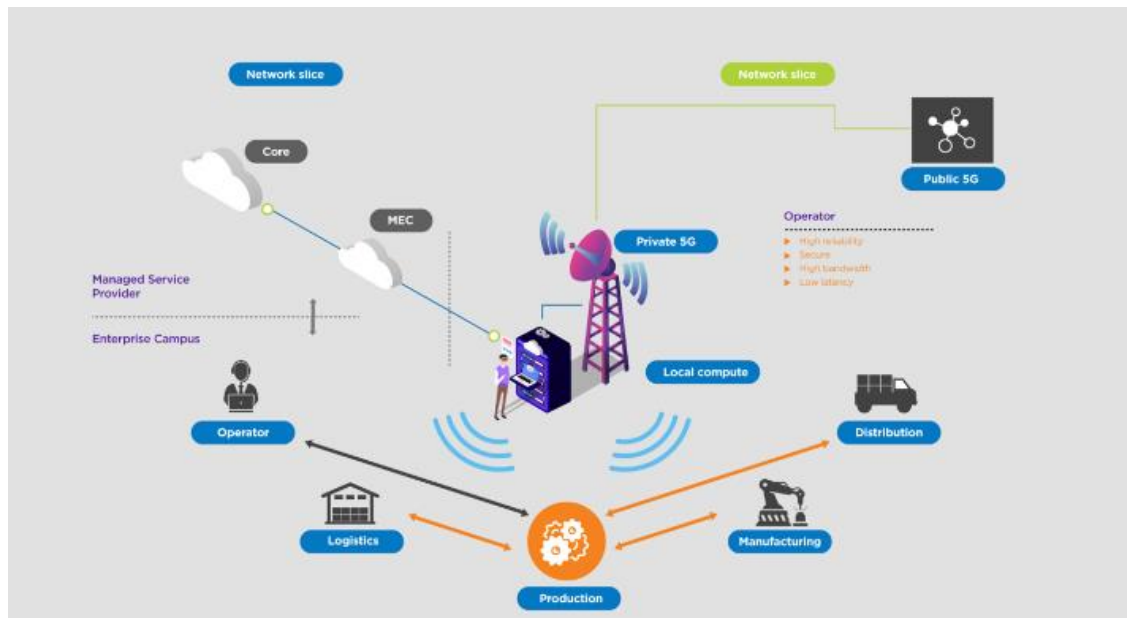
Langattoman verkon suunnittelu ja rakentaminen IWLAN-tekniikalla on kallista. Laadukkaat laitteet sekä hyvä verkon rakenteen suunnittelu maksaa paljon. Ylläpito sekä verkon määrittäminen vaatii ammattitaitoa ja aikaa, joten kustannukset nousevat tämänkin puolesta. Yhtenä verkon ongelmana on se, että se suunnitellaan hätäisesti, vääränlaisilla laitteilla sekä väärällä laitteiden

sijoittamisella. Tällöin verkosta ei saada läheskään niin kattavaa, kuin oikealla ammattitaitoisella suunnittelulla oltaisiin voitu saavuttaa. Jopa teollisuuden puolella tapahtuu virhe, että langaton verkko suunnitellaan ja rakennetaan WLAN-tekniikalla sijaintiin, joka vaatisi IWLAN-tekniikan, eli laitteet ja protokollat eivät vastaa täysin kyseisen miljöönn tarpeita. Tämä johtaa laitteiden ennenaikaiseen vikaantumiseen sekä verkon toimintahäiriöihin. (Roboticsbiz 2022.)

6 5G-PRIVAATTIVERKOT TEOLLISUUDEN KONTEKSTISSA

6.1 Rooli teollisuusautomaatiossa

5G-privaattiverkot ovat alkaneet ottaa merkittävää roolia teollisuuden automaatiassa tekniikan tarjotessa hyvän pohjan myös erilaisille älyteollisuuden sovelluksille. Yritykset voivat hyödyntää 5G-tekniikkaa laajasti; reunalaskenta, IoT, AR/VR, tietokonenäkö sekä esimerkiksi dronien käyttö mahdollistuu. Verkot pystyvät hyödyntämään 5G-tekniikan etuja, kuten todella pientä latenssia, korkeaa tiedonsiirtonopeutta ja luotettavuutta. Privaattiverkko toimii rajoitetulla, yksityisellä alueella, joka on organisaation itse määrittelemä ja hallinnoima kokonaisuus. Se voidaan siis toteuttaa täysin itsenäisenä verkkona, joka koostuu omasta ydinverkoista sekä radioista, mutta ne voidaan myös integroida osaksi laajempaa julkista verkkoa, tarjoamaan yksityisiä palveluita (kuvio 5). Yksityisten 5G-verkkojen käyttöönotto teollisuusautomaatiossa ei ainoastaan siis tehosta toimintaa, vaan avaa uusia väyliä innovaatioille sekä turvallisuuden parantamiselle. Luotettavan, turvallisen ja nopean verkkoympäristön 5G on avainasemassa teollisuus 4.0:ssa. (HCLTech 2022.)



Kuvio 5. 5G-privaattiverkon periaate (HCLTech 2022)

6.2 Sovellukset ja käyttökohteet teollisuuden automaatiassa

Yksityinen 5G-verkko on vielä monipuolisempi kuin IWLAN. Laajempi kustomoinnin mahdollisuus, parantunut tietoturva sekä laaja kaistanleveys saa monet teollisuuden toimijat valitsemaan mieluummin kyseisen tekniikan. (HCLTech 2022.)

5G-verkon URLLC-ominaisuus tekee latenssista mahdollisimman pienen, mikä varmistaa signaalin liikkumisen koneiden välillä luotettavasti. Robotiikka, tarkkuusvalmistus sekä esimerkiksi autonominen logistiikka vaativat pienen latenssin ja tarpeeksi kaistanleveyttä datan reaaliaikaiseen siirtoon. Näin ollen laitteet toimivat saumattomasti yhteistyössä keskenään määriteltyjen ohjeiden mukaisesti. Aukoton yhteyden toimivuus mahdollistaa myös esimerkiksi kauko-ohjattavien robottien tai muiden laitteiden ohjaamisen etänä. Kun työtä ei tehdä manuaalisesti lähellä laitetta, parannetaan samalla työturvallisuutta tuotantolaitoksessa. Laitoksen autonomista toimintaa voidaan valvoa live-hetkessä valvontajärjestelmien kautta. Iso kaistanleveys mahdollistaa teräväpiirtovideoiden suoratoiston sekä tämän myötä paremman valvonnan ja turvallisuusstandardien noudattamisen. Turvallisuutta parantaa myös reaaliaikainen tiedonkeruu antureista ja laitteista tehtaalla. Jatkuva kunnon ja käyttöolosuhteiden seuranta helpottaa huoltojen ennakointia, mikä vuorostaan vähentää huoltoseisokkien määriä. (Ericsson 2024a.)

Reaaliaikaisuus on kenties suurin mahdollistaja 5G:n osalta. Modulaarinen tuotanto eli mahdollisuus konfiguroida uudelleen tuotantolinjoja ja koneistoja muuttuvien tuotantoprosessien ja tarpeiden mukaan reaaliajassa auttaa valmistajaa toteuttamaan oikea-aikaisen tuotannon. 5G mahdollistaa IoT-laitteiden integroinnin, jotka keräävät dataa tuotantolaitoksessa. Dataa voidaan käyttää energiankulutuksen optimointiin, toimintojen virtaviivaistamiseen ja tuotteiden laadun parantamiseen. (HCLTech 2022.)

Lisätyn- sekä virtuaalitodellisuuden tuominen teollisuuteen on auttanut ja auttaa varsinkin huoltohenkilöstöä kouluttautumaan kyseisen tehtaan toimintoihin ja laitteisiin sekä ylläpitämään toimivaa ympäristöä. AR-laseihin saadaan

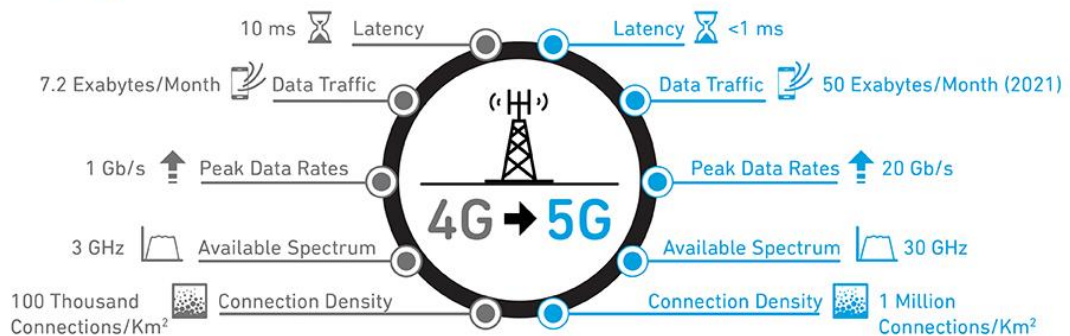
reaaliaikaista tietoa sekä opastusta huollon aikana, se parantaa toimenpiteen ymmärtämistä ja tehokkuutta. VR-ympäristöön taas saadaan luotua todella realistisia ja interaktiivisia ympäristöjä, joten esimerkiksi mahdolliset koulutukset ja perehdytykset eivät keskeytä eivätkä häiritse tuotantolinjoja. (HCLTech 2022.)

6.3 Hyödyt ja haasteet teollisuusympäristössä

Huippuluokan ominaisuuksien ansiosta teollisuuteen räätälöidyt 5G-verkot tarjoavat huomattavia etuja verraten muihin teollisuusautomaation langattomiin järjestelmiin, kuten esimerkiksi WLAN-verkkoon sekä jopa erikoistandardeihin kuten ZigBee ja WirelessHART. 5G-privativerkot tarjoavat selkeitä etuja, jotka ovat kriittisiä nykyajan teolliselle toiminnalle ja tarpeille.

Jopa 10 Gbps tiedonsiirtonopeudella toimiva 5G on siis nopeuden, mutta myös kaistanleveyden puolesta paras vaihtoehto. Siirrettäessä reaaliaikaista tietoa kaistanleveys ja pieni latenssi ovat alleviivattavan tärkeitä. Noin yhden millisekunnin viive tai jopa vähemmän on selkeästi parempi kuin edeltäjässään 4G:ssä, jossa viive asettuu kymmenen kertaa korkeammalle (kuvio 6). (Accenture 2024.)

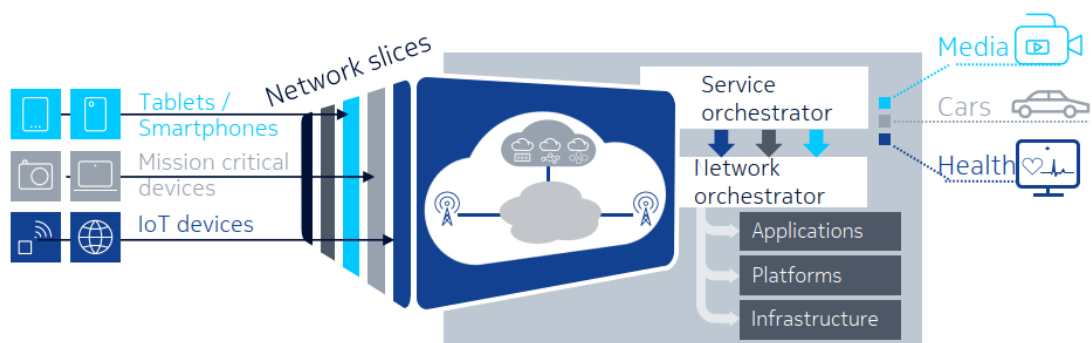
Comparing 4G and 5G



Kuvio 6. Vertailutaulukko (Qrvo 2017)

Nopeuteen ja viiveeseen liittyvien etujen lisäksi yksi suuri mahdollistaja on 5G-laitteiden liitettävyyden lisääminen. 5G tukee jopa miljoonaa laitetta neliökilometriä kohden. Teollisuuslaitoksessa, esimerkiksi paperitehtaassa, on paljon laitteita ja antureita samassa verkossa. Oikeanlaisella verkon rakenteella saadaan peitto kaikkien laitteiden ylle. (Accenture 2024.)

Laajaan laitteiden käyttöön liittyy osittain myös verkon niin sanottu viipalointi eli verkon kaistoihin jakaminen (network slicing). Verkkoa operoiva taho pystyy luomaan virtuaalisia verkkoja fyysisen verkon päälle (kuvio 7). Jokaiselle virtuaaliselle osiolle voidaan määritellä ja optimoida tarpeen vaatimalle tasolle, eli voidaan priorisoida esimerkiksi ohjausviestit verraten tavalliseen dataliikenteeseen. Tämä ei ole mahdollista 4G-, tai WLAN-verkossa. (HCLTech 2022.)



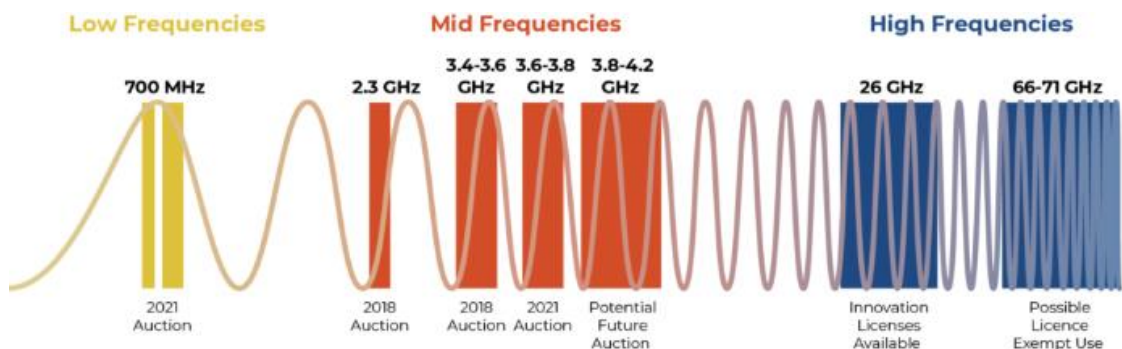
Kuvio 7. Network slicing (Holma ym. 2022)

Tietoturvaan liittyen 5G-privaattiverkot ovat omaa luokkaansa. Ne voidaan määrittää päästä päähän salauksella, pääsynvalvonnalla sekä mukautetuilla suojauskäytännöillä, jotka ovat täysin organisaation tarpeiden mukaan räätälöityjä. Kyseinen suojaustaso on julkisia verkkoja parempi ja tämän myötä monesti ratkaiseva hankintapäätös arkaluonteisten teollisuustietojen suojaamisessa. (HCLTech 2022.)

Yksityisten 5G-verkkojen lukuisien etujen lisäksi niillä on myös rajoituksia ja haasteita käyttöönottoon ja käyttöön liittymiseen. Ensimmäisenä ja ehkä suurimpana ongelmana tulee vastaan hinta. Alkuinvestointina yksityinen 5G-verkko on kallein langaton kokonaisuus, jonka voi suunnitella ja rakentaa teollisuuteen. Antennit, tukiasemat ja 5G-teknologiaan räätälöidyt verkkolaitteet ovat arvokkaampia kuin esimerkiksi IWLAN-laitteet. Jos tiedonsiirron täytyy olla reaaliaikaista sekä mahdollisimman pienellä viiveellä liikkuvaa, tulee verkkoon suunnitella useita tukiasemia hyvän peittokyvyn varmistamiseksi. Tämän myötä rakennettavan verkon hinta kohoaa huomattavasti. Privaattiverkon hintaa nostaa myös verkon

monimutkaisuus, järjestelmät ja laitteet vaativat korkeampaa teknistä asiantuntemusta ja organisaation on joko koulutettava henkilöstöä tai palkattava työntekijöitä, joilla on erityisosaamista kyseisestä tekniikasta. Tämän hetken maailmantilanteesta johtuen monet yritykset kuitenkin panostavat mieluummin kattavaan verkkoon kattavalla tietoturvalla kuin vähemmän turvalliseen IWLAN-verkkoon. (Private LTE and 5G 2023.)

Toimivaa verkkoa suunniteltaessa täytyy huomioida taajuuksien saatavuus ja sääntely (kuvio 8). 5G-verkon käyttämät taajuudet on useilla alueilla edelleen säänneltyjä ja lisenssien hankkiminen on monimutkainen ja hinnakas prosessi. Käytettävän verkon radiospektri on jaettu useaan taajuuskaistaan ja niitä hallinnoivat eri valvontaelimet. Viranomaiset jakavat taajuudet eri käyttötarkoituksiin. Taajuuksien jakaminen ja lisensointi ovat tärkeitä, koska ne määrittelevät, kuka voi käyttää mitäkin taajuuksien osaa, millä ehdoilla sekä millä hinnalla (Traficom 2023). Pienille yrityksille lisenssikustannukset voivat olla kohtuuttomia.



Kuvio 8. 5G-taajuudet (Streetwave 2024)

Kokonaisuudessaan 5G-privaativerkkojen hyödyt ovat haasteita suuremmat, erityisesti teollisuudessa, jossa tarvitaan suurta kaistanleveyttä, pientä latenssia sekä massiivisia laiteyhteyksiä, tämä tekniikka on pääosassa. Kun ymmärtää verkon rajoitteet, on mahdollista suunnitella hyvin toimiva ja peittävä verkko, jossa rajoitteet on minimoitu.

7 IWLANIN JA 5G-PRIVAATTIVERKON YHTEISKÄYTTÖ TUULIPUISTOSSA JA PAPERITEOLLISUUDESSA

7.1 Yhteiskäytön mahdollisuudet ja haasteet yleisesti

IWLAN- ja yksityisen 5G-verkon integrointi on lupaava mahdollisuus suorituskyvyn ja joustavuuden parantamiseen teollisuusympäristössä. Yhteiskäyttö on tärkeää teollisuudenaloilla yleisesti, myös tuulipuistoissa ja paperiteollisuudessa, joissa kattavat ja luotettavat tietoliikenneverkot ovat kriittisiä.

Suurimpina etuina näyttäytyvät parannettu yhteys ja peittoalue sekä eteenpäin mennyt tietoturva. Laajoissa teollisuusympäristöissä saumaton viestintä on ratkaisevan tärkeää. Toimiva IWLAN- ja 5G-verkkojen yhteistyö mahdollistaa laajan kattavuuden ja nopeat liitännät. IWLAN käsittelee paikallisia verkkotarpeita ja 5G puolestaan kattaa laajemmat alueet laajennetun kantaman ja korkean suorituskyvyn ansiosta (ANS 2023). Käyttö tarjoaa redundanssia sekä parantaa verkon luotettavuutta varmistamalla, että toisen verkon häiriötilan sattuessa tai seisokin ollessa läsnä, toinen pystyy ylläpitämään yhteyksiä, tämä minimoi toimintahäiriöt (Ericsson 2023). Integraation etu on kyky käsitellä erilaisia liikennetyyppejä ja vaatimuksia.

Paremmat tiedonhallinta- ja käsittelyominaisuudet ovat toinen merkittävä etu. 5G:n suuri kaistanleveys ja alhainen latenssi tukevat reaaliaikaista tiedonkäsittelyä, joka on välttämätöntä teollisten prosessien seurannassa ja ohjauksessa. IWLAN taas voi helpottaa lokalisoitua tiedonkeruuta ja esikäsittelyä ennen tiedon siirtämistä keskusjärjestelmiin 5G:n kautta (Siemens 2017), eli yhteydet toimivat käsi kädessä. Järjestely on erityisen hyvä integroitaessa reunalaskentaa, jossa dataa käsitellään lähempänä sen syntypaikkaa, mikä vähentää viivettä ja kaistanleveyden käyttöä sekä nopeuttaa myös päätöksentekoa ja parantaa toiminnan tehokkuutta. Ympäristössä, jossa käytössä on IWLAN että 5G, IWLAN voi hallita tavallista liikennettä 5G:n hoitaessa URLLC-tehtävät. "TSN over 5G", eli aikakriittinen verkon lähestymistapa käsittelee 5G-verkkoa osana TSN-ympäristöä tarjoten

mahdollisuuden tukea erilaisia teollisuusautomaatioprotokollia sekä varmistaa, että aikaherkkä liikenne priorisoidaan ja hallitaan tehokkaasti verkon yli. (Ericsson 2019.)

Integraatio parantaa myös IoT-laitteiden sekä antureiden käyttöönottoa ja hallintaa teollisuudessa. Molemmat tekniikat voivat tukea suurta määrää IoT-laitteita, mikä mahdollistaa laajan valvonnan ja automatisoinnin. Hyvänä esimerkkinä anturit voivat tarjota reaaliaikaista tietoa suorituskyvystä, huoltotarpeista sekä ympäristöolosuhteista. (Nokia 2024b.) Jatkuva tiedonkulku laitteista yhteisten verkkojen kautta helpottaa ennakoivaa huoltoa, voi vähentää seisokkeja sekä pidentää laitteiden käyttöikää, koska ongelmat voidaan parhaimmillaan korjata ennen kuin ne johtavat vikaan (IBM 2024).

Monista eduista huolimatta, IWLAN- ja 5G-verkkojen yhteiskäyttö tuo myös haasteita. Yksi kriittisimmistä on häiriöt ja luotettavuus. 5G-laitteet ovat herkkiä teollisuuden muiden laitteiden, fyysisten esteiden kuten seinien sekä ympäristötekijöiden aiheuttamille häiriöille, mikä taas vaikuttaa verkon luotettavuuteen. Myös kahden verkon hallinta samanaikaisesti lisää monimutkaisuutta, mikä edellyttää tehokkaita ja toimivia verkonhallintatyökaluja sekä ammattitaitoa ja suunnitelmallisuutta toimivan integraation saavuttamiseksi. (Holma ym. 2022.)

Toinen huolenaihe on turvallisuus. Useiden verkkojen käyttöönotto voi lisätä haavoittuvuuksia, koska langattomat verkot ovat luonnollisesti alttiimpia tietoturvahille kuin langalliset versiot. Tietojen suojaus edellyttää kattavia turvajärjestelmiä, mukaan lukien salaus, todennus ja säännölliset tietoturvatarkastukset. (ANS 2023.) Molemmat verkot tarvitsevat vahvan suojausten mahdollisia kyberhyökkäyksiä vastaan, koska verkon murroilla voi olla vakavia seurauksia kyseisen teollisuuslaitoksen osalta.

Kustannukset ja ylläpito tuovat myös merkittäviä haasteita. Vaikka langattomat verkot voivat vähentää asennuskustannuksia, sekä IWLAN-, että 5G-verkkojen perustaminen vaatii huomattavia alkuinvestointeja infrastruktuuriin, laitteisiin sekä integraation itsessään. Verkkojen ylläpito ja päivittäminen vaatii jatkuvaa

panostusta ajan, resurssien sekä teknisen osaamisen kannalta. (Ericsson 2024). Verkkojen paras mahdollinen yhteensovittaminen lisää siis käyttökustannuksia. Suunniteltaessa kyseistä integraatiota täytyy ymmärtää yhteiskäytön haasteet sekä löytää niihin paras mahdollinen ratkaisu. Tehokas verkon suunnittelu, hyvä verkonhallinta sekä kattavat turvatoimenpiteet ovat ratkaisevan tärkeitä toimivalle yhteisapelille.

7.2 IWLAN- ja 5G-privaattiverkot tuulipuistossa

Tuulivoimasektori on edistynyt huomattavasti viime vuosina, mikä johtuu kestävien ja uusiutuvien energialähteiden tarpeesta. Tuulipuistot, joissa on useita tuulivoimaloita, vaativat kehittyneitä tietoliikenneverkkoja tehokkaan ja luotettavan toiminnan varmistamiseksi. Puistot sijaitsevat tyypillisesti syrjäisissä sekä mahdollisesti myös ankarissa ympäristöissä ja olosuhteissa, joten luotettava viestintä on kriittinen osa niiden toimintaa. Viestintäverkon tulee tukea reaaliaikaista tiedonsiirtoa; turbiinin suorituskyvyn seuranta, ennakoivaa huoltoa ja turvallisuuden varmistamista varten. Langallisen verkon käyttö on epäkäytännöllistä tuulipuistojen laajan ja karun maaston vuoksi, siksi langattomat viestintätekniikat, kuten IWLAN ja 5G, ovat tämän päivän vaatimuksilla välttämättömiä. 5G:n korvattaessa 4G-verkon myös tuulipuistoissa, on luotettavuus ja nopeus parantunut. (Nokia 2024b.)

IWLAN-verkko tarjoaa erityisen tehokkaan, paikallisen yhteyden turbiineille ja sähköasemien lähelle, kun taas 5G-verkko tarjoaa laajemman peiton suurella suorituskyvyllä ja alhaisella latenssilla, mikä mahdollistaa saumattoman viestinnän koko tuulipuistossa, ei ainoastaan yhdessä tuulivoimalassa. Tuuliturbiinit on varustettu lukuisilla antureilla, jotka valvovat parametreja, kuten tärinää, lämpötilaa ja tuulen nopeutta. Näiden antureiden tiedot on lähetettävä reaaliajassa tehokkaan valvonnan ja ennakoivan ylläpidon varmistamiseksi. IWLAN käsittelee välittömän paikallisen lähetyksen, kun taas 5G lähettää tietoja keskitettyihin ohjausjärjestelmiin ja pilvialustoille jatkoanalyysiä varten. Turvallisuuden saralla IWLAN tarjoaa turvallisen, eristetyn verkon kriittisiä toimintoja varten, kun taas 5G voi varmistaa salatun ja suojatun tiedonsiirron

laajemmilla alueilla, tämä kaksikerroksinen suojausmenetelmä auttaa suojaamaan arkaluonteisia operatiivisia tietoja kyberuhilta. (Nokia 2024b.)

Skaalautuvuuden osalta kyseinen yhteiskäyttö tuo etua, koska tuulivoimaloiden koko sekä turbiinien määrä tuulipuistoissa kasvaa. Erityisesti 5G-verkot on suunniteltu käsittelemään massiivisia laiteyhteyksiä, joten ne sopivat ihanteellisesti laajamittaiseen käyttöön niin pinta-alan kuin laitteiden määrän puolesta (Qorvo 2017).

IWLAN:n ja 5G:n yhteiskäyttö tukee myös kehittyneiden teknologioiden, kuten reunalaskennan ja IoT:n käyttöönottoa. Reunalaskennan mahdollistaessa tietojen käsittelyn lähellä lähdettä pienenee latenssi sekä kaistanleveyden tarve vähenee erityisesti tuulipuistoissa, joissa välitön reagointi esimerkiksi muuttuviin olosuhteisiin on kriittistä. Lisäksi molempiin verkkoihin integroidut IoT-laitteet voivat tarjota kattavan seurannan ja ohjauksen, mikä varmistaa tuuliturbiinien optimaalisen suorituskyvyn. (Nokia 2024b.)

Uutena 5G-tekniikan tuomana mahdollisuutena myös tuulipuistoissa on noussut esiin droonien sekä etäseurannassa olevien turvakameroiden käyttö. Kameroilla ja antureilla varustettuja drooneja voidaan käyttää tuulivoimalan lapojen ja tornin kunnon seurantaan sekä mahdollisiin puhdistustöihin. Nopea yhteys tarjoaa mahdollisuuden etäseurantaan videomuodossa droonin sekä työntekijän varusteissa olevan kameran osalta, hyvällä resoluutiolla. Droonit vaativat ohjaukseen ja tiedonsiirtoon luotettavat viestintälinkit, jotka voidaan toteuttaa 5G-tekniikalla. Tulevaisuuden tavoitteena on, että 5G:n myötä tuulipuistoissa pystyttäisiin korvaamaan ohjelmoitavat logiikkaliitännät digitaalisilla tietokone-liitännöillä. Se olisi selkeä kustannussäästö pitkällä aikavälillä. (Ericsson 2024b.)



Kuvio 9. Merellä sijaitseva tuulipuisto (Ericsson 2024b)

Tuulipuistojen erityiset sijainnit (kuvio 9) ankarine sääolosuhteineen tuovat haasteita verkon kestävyys. Tämän vuoksi ulkona sijaitseva verkko olisi järkevämpää toteuttaa 5G-tekniikalla. Myös suuret metallirakenteet ja pyörivät terät aiheuttavat häiriötä langattomille signaaleille (Ericsson 2024b). Verkon suunnittelussa tulee tässäkin tapauksessa ottaa huomioon oikeat laitevalinnat ja oikeanlainen sijaintisuunnittelu.

Olemassa olevaan tuulipuistoon kyseisen yhteisverkon toteutus voi aiheuttaa ongelmia. Integrointi vanhoihin järjestelmiin on haastavaa ja vaatii huolellisuutta suunnittelussa ja toteutuksessa tässäkin asiayhteydessä (HCLTech 2022). Esimerkiksi uusien ja vanhojen laitteiden ja järjestelmien liitännät eivät välttämättä ole samanlaiset, mikä johtaa laitteiden päivitykseen vanhan automaatiolaitteiston osalta.

Oli tuulipuisto uusi tai jo vuosia sitten rakennettu IWLAN:n ja 5G:n käyttöönotto vaatii suuren alkuiinvestoinnin sekä jatkuvia ylläpitokustannuksia. Hyvän langattoman verkon rakennuttaminen tuulipuistoon maksaa noin 80 tuhatta dollaria, eli pienestä investoinnista ei ole kyse (GSMA 2020). Ajan mittaan kuitenkin kyseiset teknologiat tuovat säästöjä, joten voidaan puhua kannattavasta muutoksesta (GSMA 2020).

Yksityisten IWLAN- ja 5G-verkkojen yhteiskäytössä tuulivoimaloissa on merkittävää potentiaalia yhteyksien, turvallisuuden, tiedonhallinnan ja toiminnan tehokkuuden parantamiseen. Vaikka haasteita on ratkaistava, parannetun reaaliaikaisen seurannan, ennakoivan ylläpidon sekä suojatun viestinnän edut tekevät tästä lähestymistavasta erittäin houkuttelevan. Hyvän ja tarkan suunnittelun myötä voi esimerkiksi small cell-tekniikalla säästää hieman kustannuksissa. Kyseisessä tekniikassa pienitehoisia langattomia tukiasemia sijoitetaan tarvittavalla tiheydellä vaikeaan maastoon, jotta saadaan aikaan peittävä verkko (Holma ym. 2022). Tuulivoiman edelleen kasvaessa keskeisenä osana uusiutuvan energian maisemaa kehittyneillä viestintätekniikoilla, kuten IWLAN:lla ja 5G:llä tulee olemaan ratkaiseva rooli tuulipuistojen suorituskyvyn ja kestävyiden optimoinnissa. IWLAN:n ja 5G-privativerkon yhteiskäyttö on mahdollisesti paras, tai yksi parhaista vaihtoehdoista oikealla tavalla suunniteltuna ja käytettynä. IWLAN-tekniikan häiriöiden sietokyky yhdistettynä 5G-privativerkon nopeuteen ja yksilöityvyyteen voi tarjota sekä yksittäisen tuulivoimalan että tuulipuiston kattavan verkon.

7.3 IWLAN- ja 5G-privativerkot paperiteollisuudessa

Paperiteollisuus, yksi perinteisimmistä teollisuuden aloista on omaksunut yhä enemmän modernia teknologiaa parantaakseen toimintaansa. Teollisuus 4.0:n myötä kehittyneiden viestintäverkkojen integroinnista on tullut olennaista myös paperiteollisuudessa.

Tuotantolinjoja sisältävässä paperitehtaassa integrointi mahdollistaa saumattoman viestinnän tuotantolinjan eri koneiden ja järjestelmien välillä. Reaaliaikainen data antureista ja koneista siirretään tehokkaasti, mikä varmistaa sujuvuuden sekä nopeuden tuotannossa. Tällä saadaan aikaan myös kustannustehokkuutta. (Roltek 2024.)

Energiankulutuksen seuranta ja optimointi on myös yksi oleellinen seikka kustannuksien osalta. IWLAN voi helpottaa reaaliaikaista tiedonkeruuta energiamittareista ja antureista (Siemens 2017), kun taas 5G voi välittää nämä

tiedot energianhallintajärjestelmiin analysoitavaksi. Näin pystytään tunnistamaan energiansäästämahdollisuuksia ja toteuttamaan energiansäästöstrategioita. (RCR Wireless News 2022).

Niin kuin aikaisemmin on mainittu, paremmat yhteydet parantavat myös turvallisuutta. 5G:n kautta yhdistetyt puettavat laitteet ja älykypärät voivat seurata työntekijöiden terveystilaa ja sijaintia reaaliajassa. Häätötilanteessa ohjauskeskukseen voidaan lähettää välittömiä hälytyksiä ja apu saadaan nopeasti paikalle. (Ericsson 2024b.)

Toimitusketjun ja varastonhallinnan osalta IWLAN- ja 5G-verkko voivat helpottaa raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden reaaliaikaista seuranta. IWLAN:n kautta yhdistetyt RFID-tunnisteet ja anturit voivat tarjota tietoa varastotasoista (GCG 2024), kun taas 5G varmistaa, että nämä tiedot siirretään eteenpäin keskusjärjestelmiin (FS 2023). Tämä optimoi varastotasojen ylläpidon sekä virtaviivaisemman toimitusketjun tehtaassa.

Reaaliaikainen yhteys on suuri hyöty paperiteollisuuden automaattisuuden kannalta. Automaattiset trukit ja robotiikan käyttö lisääntyy paperiteollisuuden materiaalinkäsittelyssä ja kuljetuksessa. Automatisoidut järjestelmät vaativat luotettavaa ja reaaliaikaista viestintää toimiakseen tehokkaasti. IWLAN tarjoaa paikalliset liitännät (Siemens 2017), kun taas 5G tukee laajempia viestintätarpeita ja varmistaa, että automaattitrukit ja robotit toimivat saumattomasti tuotantoympäristössä (Ericsson 2024a).

Toimivan ja kattavan verkon toteuttaminen on kallista myös paperiteollisuudessa. Tätä seikkaa kuitenkin lieventää se, että toimintaa saadaan tehostettua ja seisokkeja vähennettyä nykyaikaisen teknologian vuoksi. Alkuinvestointi on kuitenkin tässäkin tapauksessa korkea (RCR Wireless News 2022). Samoin kuin tuulipuistoissa, vanhoihin järjestelmiin kyseisten tekniikoiden integroiminen nostaa hintaa, eikä välttämättä ole helpoin mahdollinen toteuttaa. Se vaatii aikaa, rahaa sekä pätevyyttä jo suunnitteluasteella.

Paperiteollisuudessa kyseisten tekniikoiden yhteiskäyttö ei ole niin mustavalkoista kuin tuulipuistoissa. Kun tuulipuistossa voidaan tehdä selkeämpi tehtävänjako IWLAN:n ja 5G:n osalta, paperiteollisuudessa haasteita on enemmän jo pelkän tehtaan infrastruktuurin puolesta. Paperitehtaassa on paljon laitteita, jotka häiritsevät signaalin kulkua sekä aiheuttavat itsessään häiriötä. Tukiasemien sijoittamisella sekä verkon topologialla on vielä suurempi merkitys verrattuna tuulipuistoon. Verkon kattavuuden ja vikaantumisen kannalta sen voisi toteuttaa Mesh-teknologialla, jossa kaikki tukiasemat kykenevät lähettämään ja vastaanottamaan dataa. Yhden mennessä vikatilaan jatkavat muut tukiasemat omaa työtään (Meshmerize 2023).

Teknisesti pelkkä isolla budjetilla rakennettu 5G-privaativerkko sopivan tiiviysluokan omaavilla laitteilla (kuvio 10) voi riittää paperitehtaan verkoksi, verkon kaistoihin jakamisen ansiosta. Tällöin pystytään osoittamaan jokaiselle kaistalle oma tehtävä, jota kukin suorittaa (Holma ym. 2022). Mahdollisuuksia kaikkienensa on monia, ZigBee-teknologia yhdistettynä 5G-privaativerkkoon tarjoaa omat etunsa. ZigBee-teknologiaa voidaan hyödyntää hyvin esimerkiksi antureiden yhteydessä pitkän akun keston osalta (Alotcer 2024).



Kuvio 10. 5G tukiasema paperitehtaalla (Telefonica 2023)

8 POHDINTA

Opinnäytetyön päämääränä oli tehdä kattava selvitys langattoman verkon käytöstä teollisuuden automaatiossa ja tarkennetusti IWLAN:n ja 5G-privaativerkon yhteiskäytöstä tuulipuistoissa sekä paperiteollisuudessa. Alun perin opinnäytetyön piti olla osa tilaajan toteuttamaa projektia, joka olisi mahdollistanut konkreettisen datan käytön opinnäytetyössäni. Minulla olisi ollut mahdollisuus hyödyntää erilaisia mittaustuloksia tarkemman ja kohdennetumman tutkimuksen tekemiseksi. Lopulta projekti ei toteutunut, joten päädyin tekemään yleisemmin hyödynnettävän kirjallisuuskatsauksen aiheesta.

Lopputuloksena syntyi laaja ja ajan hermolla oleva tutkimuskatsaus, joka ottaa huomioon modernin teollisuuden asettamat vaatimukset sekä rajoitteet. Valittujen teknologioiden yhteiskäytön mahdollisuudet ja haasteet selvitettiin onnistuneesti tuulipuistojen ja paperiteollisuuden osalta.

Opinnäytetyö antaa niin tilaajalle kuin muille aiheesta kiinnostuneille tietoa langattomien verkkojen toimivuudesta eri teollisuuden ympäristöissä sekä teoreettista kuvausta siitä, miten langatonta verkkoa tulisi hyödyntää teollisuuden automaatioympäristöissä. Vaikka WLAN:n ja yksityisen 5G-verkon yhteiskäyttö tarjoaa etuja paperiteollisuudessa, on tarjolla muitakin järjestelmiä, kuten esimerkiksi LoRaWAN ja ZigBee, jotka voivat tarjota parempia ratkaisuja. Perusteellinen analyysi tarpeesta ja olemassa olevasta infrastruktuurista ja pitkän aikavälin tavoitteista määrittelee sopivimman hybridijärjestelmän. Tutkimuskatsaus antaa myös hyvän pohjan jatkotutkimuksille, joissa olisi hyödynnettävissä konkreettista ja verrattavissa olevaa dataa.

LÄHTEET

ABB 2024. What is a Distributed Control System (DCS)? Viitattu 20.05.2024 <https://new.abb.com/control-systems/control-systems/what-is-a-distributed-control-system>.

Accenture 2024. How is 5G different from 4G? Viitattu 13.05.2024 <https://www.accenture.com/ae-en/insights/5g-index>.

Alotcer 2024. ZigBee Protocol in Industrial IoT: Revolutionizing Connectivity and Communication. Viitattu 20.05.2024 <https://www.alotceriot.com/zigbee-protocol-in-industrial-iot-revolutionizing-connectivity-and-communication/>.

ANS corporate 2023. Private 5G vs. Wi-Fi: What's Best for Your Business? Viitattu 20.05.2024 <https://www.anscorporate.com/blog/private-5g-vs-wi-fi>.

Belden 2020. 5 Big Wireless Challenges: Signal Loss, Movement, Reach, Density and Multipath Fading. Viitattu 29.04.2024 <https://www.belden.com/blogs/smart-building/5-big-wireless-challenges-signal-loss-movement-reach-density-and-multipath-fading/>.

Campuscomponent 2023. Zigbee vs. Wi-Fi: Which Is Better For IoT Applications. Viitattu 09.05.2024 <https://www.campuscomponent.com/blogs/post/zigbee-vs.-wi-fi-which-is-better-for-iot-applications>.

Centurylink 2024. The difference between 2.4GHz and 5GHz WiFi. Viitattu 11.05.2024 <https://www.centurylink.com/home/help/internet/wireless/which-frequency-should-you-use.html>.

Control Engineering 2012. Wireless LAN for industrial applications. Viitattu 15.05.2024 <https://www.controleng.com/articles/wireless-lan-for-industrial-applications/>.

Copperdigital 2024. From Automation to Digital Transformation: The Evolution of Industry 4.0. Viitattu 02.05.2024 <https://copperdigital.com/blog/industry-4-0-evolution-automation-digital-transformation/>.

ePressi 2024. Rejlers Finland Oy. Viitattu 27.04.2024 <https://www.epressi.com/uutishuoneet/rejlers-finland-oy.html?tab=js-tabs-info&>.

Ericsson 2019. 5G-TSN integration meets networking requirements for industrial automation. Viitattu 19.05.2024 <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/5g-tsn-integration-for-industrial-automation>.

Ericsson 2023. Boosting 5G-New Radio reliability: The power of cognitive packet duplication. Viitattu 13.05.2024 <https://www.ericsson.com/en/blog/2023/10/boosting-5g-new-radio-reliability-the-power-of-cognitive-packet-duplication>.

Ericsson 2024a. Critical capabilities for private 5G networks. Viitattu 13.05.2024 <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/private-5g-networks>.

–2024b. Solving wind energy's connectivity challenge. Viitattu 19.05.2024 <https://www.ericsson.com/en/industries/energy-utilities/solving-wind-energys-connectivity-challenge>.

Fiberroad 2023. Mitä on teollisuusautomaatio? Kattava yleiskatsaus. Viitattu 29.04.2024 <https://fiberroad.com/fi/resources/new-trends/what-is-industrial-automation-a-comprehensive-overview/>.

FS 2023. Industrial 5G: How It Revolutionizes the Industry? Viitattu 20.05.2024 <https://community.fs.com/article/industrial-5g-how-it-revolutionizes-the-industry.html>.

GCG 2024. Industrial Wireless Automation. Viitattu 20.05.2024 <https://automation.gogcg.com/blog/industrial-wireless-automation>.

HCLTech 2022. Private 5G as the Enabler of Industry 4.0. Viitattu 13.05.2024. <https://www.hcltech.com/blogs/private-5g-enabler-industry-40>.

Holma, H. & Toskala, A. 2022. 5G Technology Training. Diaesitys 12.04.2022 Nokian koulutusmateriaali. Ei julkinen.

IBM 2024. 5G advantages and disadvantages: What business leaders need to know. Viitattu 16.05.2024 <https://www.ibm.com/blog/5g-advantages-disadvantages/>.

Investopedia 2024. Enterprise Resource Planning (ERP): Meaning, Components, and Examples. Viitattu 20.05.2024 <https://www.investopedia.com/terms/e/erp.asp>.

Kauppalehti 2024. Rejlers Finland Oy. Viitattu 27.04.2024 <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/rejlers+finland+oy/07650698>.

Lifewire 2021. Wireless Networking Protocols Explained. Viitattu 29.04.2024 <https://www.lifewire.com/wireless-networking-protocols-explained-2486947>.

Machinedesign 2017. Differences between field, control, supervisory, and enterprise levels of automation. Viitattu 29.04.2024 <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21835731/differences-between-field-control-supervisory-and-enterprise-levels-of-automation>.

Meshmerize 2023. Industrial mesh WiFi system: An Overview of Mesh Network Use Cases Across Industries. Viitattu 20.05.2024 <https://meshmerize.net/industrial-mesh-wifi-system-mesh-network-use-cases/>.

Microtronics 2020. Wireless Crane Control: Innovation in Industrial Operations. Viitattu 29.04.2024 <https://www.microtronicscontrols.com/wireless-crane-control>.

MWES 2024a. Fixed automation systems. Viitattu 27.04.2024
<https://www.mwes.com/capabilities/assembly-and-automation/fixed-automation-systems/>.

–2024b. Programmable automation systems. Viitattu 27.04.2024
<https://www.mwes.com/types-of-industrial-control-systems/programmable-automation-systems/>.

–2024c. Flexible automation systems. Viitattu 27.04.2024
<https://www.mwes.com/capabilities/assembly-and-automation/flexible-automation-systems/>.

–2024d. Integrated automation systems. Viitattu 27.04.2024
<https://www.mwes.com/integrated-automation-systems/>.

Nokia 2024a. 6G explained. Viitattu 15.05.2024. <https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/6g-explained/>.

–2024b. Renewable energy. Viitattu 19.05.2024 <https://www.nokia.com/industries/renewable-energy/>.

Phoenix Contact 2024. Tehokkuus ja suorituskyky. Viitattu 08.05.2024
<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/teknologia/tiedonsiirtotekniikat/teollisuus-wlan#ex-h7akn>.

Private LTE and 5G 2023. Viitattu 10.05.2024 <https://www.privatelteand5g.com/private-5g-networks-vs-public-5g-networks-a-comparison/>.

Qorvo 2017. Getting to 5G: Comparing 4G and 5G System Requirements. Viitattu 20.05.2024 <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/getting-to-5g-comparing-4g-and-5g-system-requirements>.

Realpars 2018. What is the Automation Pyramid? Viitattu 20.05.2024
<https://www.realpars.com/blog/automation-pyramid>.

Rejlers 2024a. Konserni. Viitattu 27.04.2024 <https://www.rejlers.fi/Meista/Konserni/>.

–2024b. Toimialat ja palvelut. Viitattu 27.04.2024 https://www.rejlers.fi/Toimialat_ja_palvelut/.

–2024c. Visio ja arvot. Viitattu 27.04.2024 <https://www.rejlers.fi/Meista/Toiminta-ajatus-tavoite-ja-strategia/>.

–2024d. Vuosikymmeniä yhteiskunnan hyväksi. Viitattu 27.04.2024
<https://www.rejlers.fi/Meista/historia-timeline/>.

RCR Wireless News 2022. New private 5G use-case shock! Paper manufacturer Holmen Iggesund gets smart. Viitattu 20.05.2024 <https://www.rcrwireless.com/20221103/5g/new-private-5g-use-case-shock-swedish-paper-mill-gets-smart>.

Roboticsbiz 2022. Industrial Automation: Advantages And Disadvantages. Viitattu 12.05.2025 <https://roboticsbiz.com/industrial-automation-advantages-and-disadvantages/>.

Roltek 2024. Wireless Connection Of Industrial Systems. Viitattu 29.04.2024 <https://www.roltek.com.tr/en/blog/wireless-connection-of-industrial-systems-2/>.

Schneider Electric 2024. Types of wireless technologies in industrial automation. Viitattu 10.05.2024 <https://eshop.se.com/in/blog/post/types-of-wireless-technologies-in-industrial-automation.html>.

Siemens 2017. Robust IWLAN devices enable flexible application in harsh environments. Viitattu 19.05.2024 <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/robust-iwlan-devices-enable-flexible-application-harsh-environments>.

Siemens 2024. IWLAN – the Wireless LAN for demanding industrial applications. Viitattu 01.05.2024 <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/industrial-wireless-lan.html>.

Smart Energy 2021. Winds of change for private LTE. Viitattu 19.05.2024 <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/digitalisation/winds-of-change-for-private-lte/>.

Streetwave 2024. 5G Spectrum Mapping Explained. Viitattu 13.05.2024 <https://streetwave.co/5g/5g-spectrum-mapping-explained/>.

Swift Tech Solutions 2023 5 Most Common Wireless Network Challenges. Viitattu 29.04.2024 <https://swiftechsolutions.com/swiftech-blog/cybersecurity/5-most-common-wireless-network-challenges/>.

Syspro 2019. The 5 layers of the automation pyramid and manufacturing operations management. Viitattu 29.04.2024 <https://www.syspro.com/blog/erp-for-manufacturing/the-5-layers-of-the-automation-pyramid-and-manufacturing-operations-management/>.

O2 Telefonica 2023. Digitization boost for the paper industry: O2 Telefonica builds 5G campus network for Prinzhorn Group. Viitattu 21.05.2024 <https://www.telefonica.de/news/press-releases-telefonica-germany/2023/02/digitization-boost-for-the-paper-industry-o2-telefonica-builds-5g-campus-network-for-prinzhorn-group.html>.

TM Robot 2019. Types of factory automation. Viitattu 27.04.2024 <https://www.tm-robot.com/en/types-of-factory-automation/>.

Traficom 2023. Local 4G/5G networks. Viitattu 10.05.2024 <https://www.traficom.fi/en/communications/communications-networks/local-4g5g-networks>.

Westward Sales 2024. Introduction to Industrial Wi-Fi Mesh Networks. Viitattu 08.05.2024 <https://www.westwardsales.com/blog/introduction-to-industrial-wi-fi-mesh-networks/>.

Yokogawa 2024. Wireless Technology in Industrial Automation. Viitattu 07.05.2024 <https://www.yokogawa.com/in/library/resources/white-papers/wireless-technology-in-industrial-automation/>.