

Ville Nykänen

5G:n hyödyntäminen esineiden internetissä

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

11. joulukuuta 2019

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Ville Nykänen

Yhteystiedot: viukjony@student.jyu.fi

Ohjaaja: Antti-Jussi Lakanen

Työn nimi: 5G:n hyödyntäminen esineiden internetissä

Title in English: The utilization of 5G in Internet of Things

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 24+0

Tiivistelmä: Viidennen sukupolven matkapuhelinverkko (5G) otetaan laajassa mittakaavassa käyttöön lähivuosina. Tässä työssä perehdytään sen tuomiin etuihin esineiden internetin (IoT) näkökulmasta. Tässä työssä määritellään työn aiheena olevat teknologiat ja luodaan katsaus nykyhetkeen sekä tulevaisuuden näkymiin. Lisäksi töyssä luodaan katsaus 5G-IoT:n sovelluskohteille sekä sen käyttöönoton haasteille.

Avainsanat: Esineiden internet (IoT), 5G, 5G-IoT, Langattomat verkot

Abstract: The 5th Generation cellular mobile communications (5G) is being implemented through the world in the coming years. In this paper we take a look at the benefits of 5G networks in Internet of Things (IoT). The reports' central technologies are introduced and given definitions. The 5G-IoT use cases and applications are also explored, as well as the challenges of the utilization of 5G-IoT technologies.

Keywords: Internet of Things (IoT), 5G, 5G-IoT, Wireless communication

Kuviot

Kuvio 1. Arvioitu internetiin kytkettyjen IoT-laitteiden määrä vuosina 2015–2025 (Lueth 2018)	4
Kuvio 2. 5G-IoT:n eri sovelluskohteita	8

Sisältö

1	JOHDANTO	1
2	ESINEIDEN INTERNET JA 5G.....	3
	2.1 Esineiden internet	3
	2.2 5G	5
3	TEKNOLOGIOIDEN SOVELLUSKOHTEITA	8
	3.1 Terveydenhuolto	9
	3.2 Liikenne.....	9
	3.3 Maatalous	10
	3.4 Teollisuus	10
	3.5 Äly-ympäristöt	12
4	HAASTEET 5G-IOT YMPÄRISTÖJEN SUUNNITTELUSSA	13
	4.1 Standardisointi.....	13
	4.2 Millimetrialueen kantavuus	14
	4.3 Turvallisuus.....	14
5	YHTEENVETO.....	16
	LÄHTEET	18

1 Johdanto

Esineiden internet (*Internet of Things, IoT*) on pienistä, toistensa välillä kommunikoivista, laitteista koostuva verkko. Laitteiden kommunikointi verkkoon perustuu yleisimmin wifi-, Bluetooth- sekä matkapuhelinverkkojen hyödyntämiseen (Li, Xu ja Zhao 2018, s. 2–3). Tällä hetkellä internettiin yhdeyssä olevien IoT-laitteiden määrän arvioidaan olevan jo lähes 20 miljardia kappaletta (Lueth 2018). Lähitulevaisuudessa IoT tulee kuitenkin yleistymään laajassa mittakaavassa viidennen sukupolven matkapuhelinverkkoteknologia avulla (Li, Xu ja Zhao 2018, s. 1). Tämä viidennen sukupolven matkapuhelinverkkoteknologia tunnetaan paremmin lyhenteellä 5G. 5G-taajuudet tuovat mukanaan huomattavia etuja neljännen sukupolven matkapuhelinverkkoihin (4G) nähden, kuten nopeamman tiedonsiirron ja matalamman virrankulutuksen. 5G-tekniikan yhtenä kehitysmotivaationa on parempi ja tehokkaampi kommunikointi useiden laitteiden välillä. (Akyildiz ym. 2016, s. 17–18). Siksi näiden yhdistäminen kuulostaa luonteelta askelelelta kohti yhtenäisempää, älykkäämpää ympäristöä.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tutkimuskysymyksenä on selvittää, mikä on 5G-verkkojen tuoma etu esineiden internetin näkökulmasta. Kirjallisuuskatkaussessa tutkitaan, mitä nämä 5G:n tuomat edut ovat ja kuinka 5G:tä ja esineiden internetin yhteistoimintaa voidaan käytännössä hyödyntää sovelluskohteissa. Tässä katsauksessa annetaan myös esimerkkejä jo tapahtuneista 5G-IoT kokeiluista. Lisäksi luodaan katsaus siihen, mitä haasteita näiden teknologioiden yhdistämisessä on. Aihe on ajankohtainen, sillä 5G-tekniikka tullaan ottamaan laajassa mittakaavassa käyttöön ja tämän ennustetaan kasvattavan IoT-laitteiden määrää huomattavasti (Li, Xu ja Zhao 2018, s. 1). Tutkimusten perusteella on syytä uskoa, että esineiden internetinä tunnetut laitteet tulevat olemaan merkittävässä osassa tulevaisuuden älykästä ympäristöä ja arkea, ja ylittävän tietokoneiden ja matkapuhelinten määrän moninkertaisesti tulevien vuosien aikana kuten mm. (Xu, Wendt ja Potkonjak 2014, s. 7) arvioivat.

Luvussa 2 määritellään tämän tutkielman aiheen pääroolissa olevat teknologiat sekä annetaan niille tarkempi esittely. Luvussa 3 kerrotaan teknologioiden yhdistämisestä ja esitellään käytännön esimerkkejä niiden sovelluskohteista. Luvussa 4 keskitytään käyttöönoton haasteisiin, kuten 5G-IoT ympäristön standardisointiin. Luvussa 5 annetaan yhteenveto tutki-

muksessa havaitsemista tuloksista. Lisäksi pohditaan, mistä näkökulmasta aihetta voitaisiin tutkia lisää. Lisäksi kerron omia näkökulmia kirjallisuuskatsauksen havainnoista.

2 Esineiden internet ja 5G

5G-IoT:n luomat mahdollisuudet voidaan esitellä, ensin tietää mistä niissä on kyse. Tässä luvussa esitellään ja määritellään tämän kirjallisuuskartoituksen pääroolissa olevat teknologiat; 5G sekä esineiden internet. Luvussa perehdytään siihen, kuinka teknologiat on otettu käyttöön nykyaikana ja lisäksi luodaan kataus niiden käyttöönotosta lähitulevaisuudessa. Luvussa 2.1 kerrotaan IoT:sta ja luvussa 2.2 avataan 5G:tä esittelemällä sille asetetut vaatimukset ja sen mukanaan tuomat hyödyt.

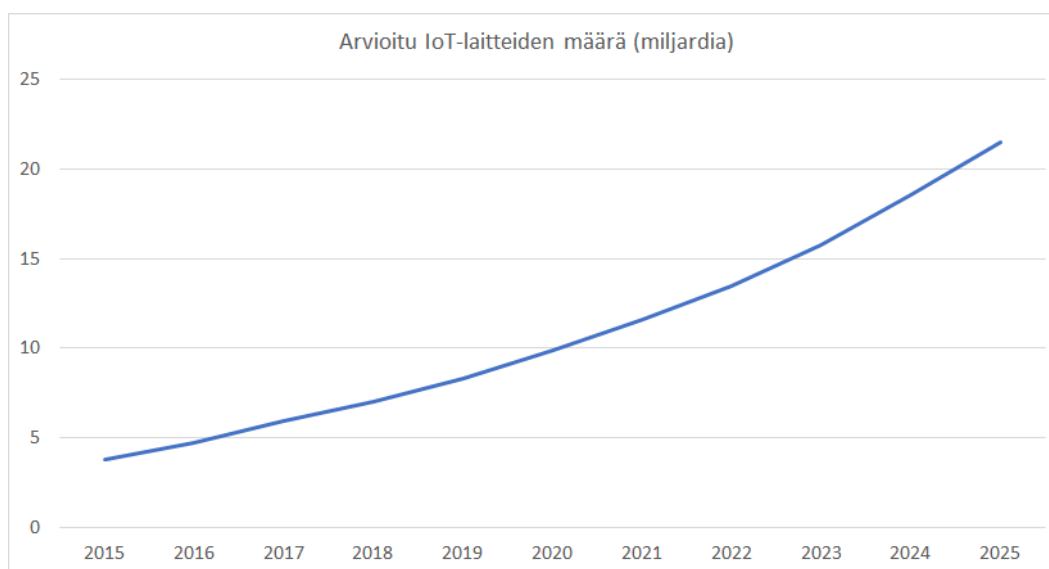
2.1 Esineiden internet

Esineiden internetille on lukuisia eri määritelmiä sen laajuuden vuoksi. Akyildiz ym. (2016, s. 17) määrittelevät esineiden internetin seuraavasti: ”[–] jokapäiväisten fyysisten esineiden, ajoneuvojen, koneiden, laitteiden, rakennusten jne. [välinen] tietoverkko.”

Kuten Zhang ym. (2014, s. 1) huomauttavat, termiä ”Esineiden internet” on vaikea määritellä ”esine” sanan vuoksi. Monimutkaisuudesta kertoo myös se, että kansainvälinen tekniikan alan järjestö Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) on vuonna 2015 julkaissut yli 80 sivua pitkän dokumentin jossa pohditaan IoT:n formaalia määritelmää (Minerva, Biru ja Rotondi 2015). Määritelmien yhteispiirteistä koostaen esineiden internet voidaan ajatella olevan pieniä, kommunikoiivia tietokoneita jotka keräävät dataa, lähettävät sitä ja suorittavat toimenpiteitä sen perusteella. Joissain tapauksissa IoT-laitteet myös prosessoivat dataa joko itsekseen tai lähiverkon palvelimilla, ennen sen lähettämistä eteenpäin internetiin. Tällaista paikallislaskentaa kutsutaan sumupalveluksi eli (engl. fog computing) (Dastjerdi ja Buyya 2016, s. 2). Ehkäpä parempi termi esineiden internetille suomeksi olisikin *asioiden internet*, jota *thing*-sana kirjaimellisesti suomeksi tarkoittaa. Esineiden internetistä käytetään yleisesti lyhennettä IoT. Tässä työssä 5G:tä hyödyntävistä IoT-laitteista tullaan käyttämään nimitystä ”5G-IoT”.

IoT-laitteiden määrää on vaikea arvioida, mutta selvää on, että laitteiden määrä kasvaa. Arvioita laitteiden määrästä on useita, ja luvut vaihtelevat miljardeista (Lueth 2018) kymmeneen miljardiin (Gartner 2017). Esimerkiksi Lueth 2018 mukaan laitteita tulee olemaan noin

10 miljardia vuonna 2020 (Kuvio 1).



Kuvio 1. Arvioitu internetiin kytkettyjen IoT-laitteiden määrä vuosina 2015–2025 (Lueth 2018)

IoT:n vahvuutena on autonomia, jolla tarkoitetaan sitä, että laitteet pystyvät toimimaan itsenäisesti. Esimerkiksi datan kerääminen ja sen lähettäminen hoituu automaattisesti. Laitteiden pienen koon vuoksi niitä on helppo hyödyntää esimerkiksi teollisuudessa ja tehtaiden laadunvalvonnassa (Wang ym. 2018, s. 2). Laitteiden etuna on myös matala virrankulutus. Koska laitteiden komponentit ovat yleensä pieniä ja sisältävät vain tarpeelliset osat datan keräystä varten, iso osa laitteista tulee toimimaan jopa ilman paristoja saamalla virtansa langattomasti (Xu, Wendt ja Potkonjak 2014, s. 2).

IoT:lle on monia sovelluskohteita niin yksityis-, yritys- kuin valtiollisella tasolla kuten esimerkiksi Wang ym. (2018, s. 3) esittävät. Näin ollen IoT-sovelluskohteita esiintyy sekä pienemmissä, että laajemmissa mittakaavoissa.

Yksityiskäytössä esineiden internet tulee näkymään erilaisina älykkäinä kodinkoneina ja muina älylaitteina. Tällaiset älylaitteet ovat tälläkin hetkellä laajassa mittakaavassa kuluttajien saatavilla. Esimerkiksi väriä vaihtavat älylamput, internettiin yhteydessä olevat jääkaapit sekä älytelevisiot ovat jo tällä hetkellä arkipäivää useassa kodissa. Käyttökohteita tarkastellaan tarkemmin luvussa 3, jossa annetaan esimerkkejä tulevaisuuden 5G-IoT sovellus-

kohteista. Lukuisten tutkimusten perusteella voidaan päätellä, että lähitulevaisuudessa IoT-laitteiden määrä ja sen käyttö hyötyteknologiana tulee kasvamaan merkittävästi. Laitteiden yleistyessä ja niiden yhteistoimintaa hyödyntäessä voidaan alkaa puhua ns. älykkäistä ympäristöistä. Näihin lukeutuvat muun muassa niin kutsutut älykodit sekä älyrakennukset. Tulevaisuudessa voidaan puhua myös *älykaupungeista* viitattaessa kaupunkiin, joka hyödyntää IoT-sensoreita esimerkiksi liikenteessä ja teollisuudessa (Li, Xu ja Zhao 2018, s. 3).

2.2 5G

5G:llä tarkoitetaan viidennen sukupolven langatonta matkapuhelinverkkoa. Nämä 5G-verkot ovat jo käytössä pienemmässä mittakaavassa kehittyneissä maissa. Sitä pidetään merkittävänä tekijänä IoT-laitteiden käyttöönotossa sen tuomien etujen vuoksi (Li, Xu ja Zhao 2018, s. 2). 5G-verkolle on kirjallisuudessa asetettu seuraavia vaatimuksia (Hossain ja Hasan 2015; Li, Xu ja Zhao 2018):

- Nopeampi tiedonsiirtokyky ja kapasiteetti - huipussaan noin 10 Gbp / s
- Matalampi latenssi eli tiedonsiirron aikaviive - noin 2–5 ms
- Pienempi virrankulutus
- Korkea skaalautuvuus - Laitteiden laajan määrän vuoksi verkon on tuettava useita laitteita kerralla
- Vakaampi verkkoyhteys
- Tietoturvallisuus

Näistä eduista etenkin useiden laitteiden samanaikainen tukeminen sekä virrankulutuksen pieneminen ovat tärkeässä roolissa 5G-IoT ympäristöistä. Kuten luvussa 2.1 mainittiin, yksi IoT:n ominaispiirteistä on itsenäisyys etenkin virran suhteen. Esimerkiksi Palattella ym. 2016 mukaan IoT-sensorit voivat sijaita syrjäseuduilla, joissa akun lataaminen tai vaihtaminen infrastruktuurin puutoksen vuoksi on hankalaa tai taloudellisesti kannattamatonta. Lisäksi miniaturisensorien pienen koon vuoksi myös akkujen koon täytyy olla pieni mikä ei ole suotuisaa akunkeston kannalta. 5G:n toivotaankin mahdollistavan laitteiden akun kestävän yli vuosikymmenen jatkuvilla datalähetyksillä ilman latauksia (Palattella ym. 2016, s. 6).

5G:n mahdollistama nopeampi tiedonsiirtokyky ja kapasiteetti tuovat langattomille laitteil-

le mahdolliseksi entistä korkealaatuisempaa kuvantoistoa. Vaikka jo nykyiset 4G yhteydet riittävät hyvin HD-kuvanlaadun suoratoistoon, 5G mahdollistaa yhä useammalle käyttäjälle myös korkealaatuisen virtuaalitodellisuussisällön suoratoiston. Nopeus yhdistettynä matalaan latenssiin auttaa mahdollistamaan langattoman virtuaalitodellisuussisällön yleistymisen. Tällaista langatonta virtuaalitodellisuussisältöä voitaisiin soveltaa esimerkiksi terveydenhoitoon, pelaamiseen ja liikuntaan. Koska tällaiset sovelluskohteet vaativat reaaliaikasta vuorovaikutusta käyttäjien välillä, latenssi on tärkeä vaatimus 5G:ssä (Akyildiz ym. 2016, s. 2).

IoT-laitteiden määrän kasvun vuoksi myös verkon täytyy pysyä mukana. Esimerkiksi itseohjautuvassa liikenteessä ajoneuvojen välinen kommunikaatio on vilkasta. Ruuhkaisilla alueilla langattoman verkon korkea skaalautuvuus on välttämätöntä, jotta vakaa kommunikaatio laitteiden välillä voidaan taata (Akyildiz ym. 2016, s. 3). Tämä on johtanut 5G:n vaatimukseen laajan skaalautuvuuden osalta. Laajalla skaalautuvuudella tarkoitetaan tukiasemien kykyä tukea useita tukiaseman kautta toisilleen tai internettiin kommunikoivia laitteita. Käytännössä tällainen skaalautuvuus vaatii päivitystä jokaisen verkkokerroksen osalta (Akyildiz ym. 2016, s. 3).

Eräs ratkaisu skaalautuvuutta varten on ns. massiivinen MIMO:n (engl. Multiple-Input and Multiple-Output) (Akyildiz ym. 2016, s. 12). MIMO-tekniikkaa käyttävien tukiasemien antennit olisi suunniteltu palvelemaan niiden toimintaympäristöä. Esimerkiksi rakennusten sisällä tapahtuvaan verkkoliikenteeseen olisi käytössä juuri sisätiloihin optimoitu antennirakenne. MIMO mahdollistaa myös laitteen käyttämää useampaa antennia tiedon lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Antennien ei tarvitse olla jatkuvasti aktiivisena, mikä johtaa myös matalaan virrankulutukseen ja verkon skaalautumiseen tilanteen mukaisesti (Akyildiz ym. 2016, s. 12). MIMO-tekniikassa tukiasemat voisivat siis hyödyntää satoja antennia yhtäaikaan pienellä virrankulutuksella palvelen lukuisten päätelaitteiden kanssa yhtäaikaan (Larsson ym. 2013, s. 1).

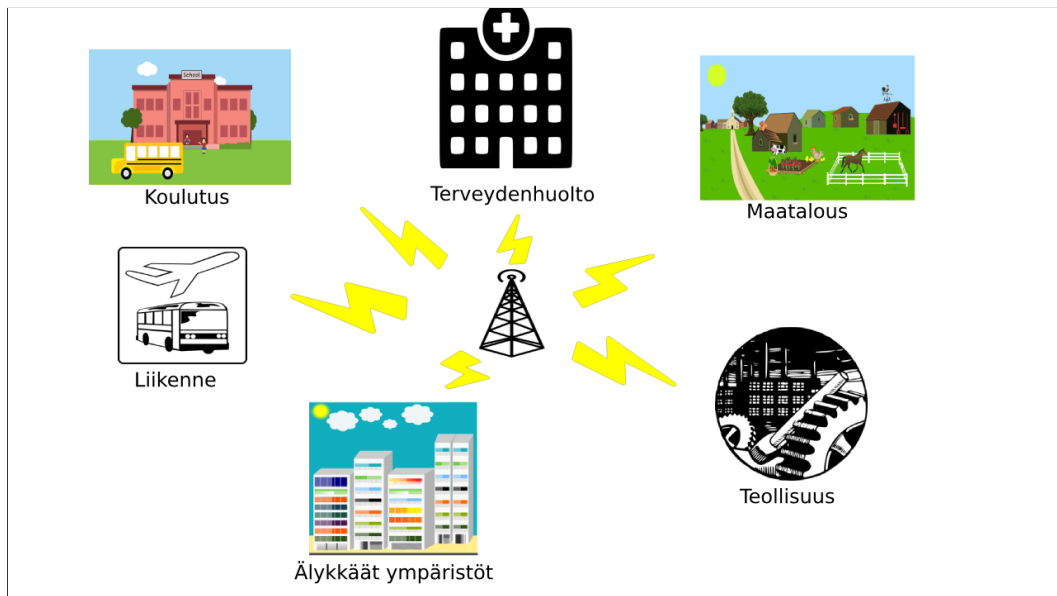
On kuitenkin hyvä muistaa, että esineiden internet on vain yksi monista 5G:n lukuisista sovelluskohteista. 5G:tä tullaan käyttämään pääsääntöisesti matkapuhelimissa vastaamaan kuluttajien ja yritysten alati kasvavia tiedonsiirtotarpeita. 5G-verkot ovat käytössä jo pienessä skaalassa osassa maailmaa, etenkin länsi- ja itämaissa. Suomessa teleoperaattorit ovat pi-

lotoineet 5G-verkkoa viime vuonna ja varsinainen käyttöönotto on jo tapahtunut (Väisänen 2018; Telia 2018; Elisa 2019). 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) organisaation kehittämät standardispesifikaatiot 5G:lle viimeistellään vuoteen 2020 mennessä (Akyildiz ym. 2016, s. 26). Näihin spesifikaatioihin viitataan nimellä ”Phase-1”. Phase-2 eli toisen tason spesifikaatioiden tutkimus ja niistä sopiminen alkoi vuonna 2018 ja päättyy 2020 luvun alkupuoliskolla (3GPP 2019).

3 Teknologioiden sovelluskohteita

Tässä luvussa keskitytään tutkielman keskeisempään kysymykseen: Mitä hyötyä esineiden internetille 5G:stä on? Luvussa 2.2 esitellyn 5G:n ja sen tuomien hyötyjen ajatellaan toimivan IoT:n omaksumisen voimana (3GPP 2019, s. 2).

5G:n käyttöönotto avaa tutkimusten mukaan useita mahdollisuuksia IoT:n näkökulmasta. Luvussa 2.1 mainittujen kuluttajien älylaitteiden lisäksi esineiden internetiä voidaan hyödyntää laajemmassa mittakaavassa lukuisissa erilaisissa ympäristöissä, kuten esimerkiksi liikenteessä, kaupungin infrastruktuurissa, teollisuudessa ja terveydenhuollossa (Akpakwu ym. 2018, s. 4). Erilaisia käyttömahdollisuuksia havainnollistaa kuvio 2.



Kuvio 2. 5G-IoT:n eri sovelluskohteita

5G-IoT:n mukanaan tuomat sovelluskohteet johtavat tiedon keräämiseen useilta eri sektoreilta. Tällaisesta tiedosta puhuttaessa käytetään usein nimitystä Big Data. 5G-IoT:n keräämä Big Dataa voitaisiin hyödyntää eteenpäin kone- ja syväoppimisessa. 5G-IoT laitteet keräämän tiedon perusteella tekoäly voisi ohjata älylaitteita suorittamaan tehtävät tilanteeseen parhaalla soveltuvalla tavalla (Wang ym. 2018).

3.1 Terveydenhuolto

Terveydenhuollon saralla 5G-IoT tulee näkymään esimerkiksi toistensa välillä kommunikoina, potilaan terveydentilaa seuraavina, puettavina laitteina. Tällaista langattomien, puettavien laitteiden välistä verkkoa kutsutaan BANiksi (engl. Body Area Network). Tällaiset puettavat laitteet keräisivät tietoja esimerkiksi potilaan verenpaineesta, ruumiin lämpötilasta ja kolesterolitasoista. Laitteet kykenevät itsenäisesti seuraamaan terveydentilan edistymistä ja huomaamaan terveydentilan poikkeavuudet. Havaitut poikkeavuudet ja kerätty tieto voitaisiin lähettää eteenpäin lääkärille, joka voisi antaa tarkempia ohjeita potilaalle tulosten perusteella (Akpakwu ym. 2018, s. 4).

Puettavia terveydentilajärjestelmiä on jo saatavilla, mutta tällä hetkellä BANin rajoitteena on langattomien verkkojen riittämätön kaistanleveys, sillä kehittyneiden BAN-järjestelmien vaatimuksena on datan välitön lähettäminen vakaalla verkkoyhteydellä sekä sen reaaliaikainen ja tehokas prosessointi (Oleshchuk ja Fensli 2011, s. 3–5). Tutkimusten mukaan 5G onnistuu vastamaan näihin haasteisiin. Langattomien 5G verkkojen myötä potilasseurantalaitteet voitaisiin ottaa käyttöön laajemmassa mittakaavassa (Agiwal, Roy ja Saxena 2016, s. 21).

Lisäksi 5G:tä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi robottivälineissä etäohjatuissa leikkauksissa, joissa verkon laadun ja nopeuden täytyy olla vakaa. Muita sovelluskohteita sairaalaympäristössä ovat mm. sairaalan lääkkeiden ja välineiden inventaario- ja laadunseuranta. 5G-IoT:ta voitaisiin myös hyödyntää potilaiden lääkityksen etämääräyksessä ja -annostelussa (Sodhro ja Shah 2017, s. 1).

3.2 Liikenne

5G-IoT:n hyödyntämisessä liikenteestä voidaan käyttää termiä IoV (engl. Internet of Vehicles). 5G:n mahdollistaman nopean ja laajan kaistan avulla liikenne voidaan sulauttaa osaksi älykästä ympäristöä (Agiwal, Roy ja Saxena 2016, s. 20). Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että ajoneuvot viestisivät langattomasti toistensa välillä. Tällainen itse-ajavien ajoneuvojen välinen pilviverkosto mahdollistaisi useita liikennettä helpottavia sovelluskohteita, kuten itsenäisesti liikkuvia ajoneuvoja, reaaliaikaista reitinsuunnittelua sekä tieverkoston kunnon seuraamista. Useat autonvalmistajat ovat kehittämässä tällaisia protokollia ajoneuvojen

väliseen kommunikoinnin standardisoimiseksi (Di Taranto ym. 2014, s. 9).

5G-IoT:n mahdollistamalla sijaintikommunikoinnilla erilaiset ajoneuvot kykenisivät keräämään tietoa ympäristöstään ja seuraamaan toisiaan reaaliajassa. Kerättyä tietoa voitaisiin hyödyntää nopeasti esimerkiksi tilannekohtaiseen reaaliaikaiseen reitinsuunnitteluun. Tällainen älykäs reitinsuunnittelu tehostaisi liikennettä ja loisi ympäristöstä turvallisemman esimerkiksi vähentämällä kolaritilanteita (Di Taranto ym. 2014, s. 9) (Akyildiz ym. 2016; Intelligence 2014; Di Taranto ym. 2014, s. 20).

IoT:n käyttökohteet näkyvät yksityis- yritys- ja valtiollisilla tasoilla, mikä näkyy erityisen hyvin IoV:stä puhuttaessa. Yksityishenkilöille itse-ajavat autot tuovat helpotusta arkeen ja yritykset voivat kuljettaa tavaroita automaattisesti. Hyödykkeiden ja työvoiman liikkuminen turvallisemmin ja nopeammin toisi säästöjä, vähentäisi polttoainekustannuksia (Wang ym. 2018, s. 5). Liikenneturvallisuus paranisi reitinsuunnittelun ja ajoneuvojen välisen viestinnän takia jonka johdosta liikenteen nopeutta voitaisiin myös kasvattaa (Intelligence 2014).

3.3 Maatalous

Maataloudessa 5G-IoT mahdollistaisi viljelykasvien terveydentilanseurannan ja viljelyn tehostamisen. Esimerkiksi (Wang ym. 2018, s. 6) mukaan viljelykasveja voitaisiin seurata ilmasta käsin lennokeilla. Lennokit voisivat hyödyntää erilaisia teknologioita analysoimaan viljelykasvien sen hetkistä tilannetta. Tämän analyysin perusteella tiedot voitaisiin lähettää automaattisesti ajoneuvoille, jotka kykenisivät lannoittamaan ja kastelemaan viljelyksiä tarpeen mukaan.

3.4 Teollisuus

Teollinen IoT eli IIoT (engl. Industry IoT) on vielä varsin varhaisessa kehitysvaiheessa liiketoimintamallien ja sovelluskohderatkaisujen osalta (Li, Xu ja Zhao 2018, s. 3). Useita erilaisia teollisuuden 5G-IoT sovellusratkaisuja on kuitenkin kartoitettu tutkimuksissa. Teollisen IoT:n tavoitteena on automatisoida yksinkertaisia teolliseen tuotantoon liittyviä tehtäviä, kuten tuotevalvontaa ja liikenteenohjausta. Nämä hajautetut automatisoidut prosessit toimi-

sivat ilman ihmisten apua, jolloin ihmisiä voitaisiin hyödyntää muissa tehtävissä (Palattella ym. 2016, s. 1).

Tapaustutkimuksia 5G-IoT:n hyödyntämisestä teollisuudessa on jo tehty. Esimerkiksi Ericssonin tapaustutkimuksessa mallinnettiin 5G:n hyödyntämistä kaivosteollisuudessa automatisoimalla kaivoksessa toimivia liikkuvia poraustelakoita. Kaivoksen tuotantoa haluttiin laajentaa, joka tarkoittaisi myös siihen tarvittavien laitteiden ja niiden kunnossapitoon vaadittavien resurssien lisäystä. Lisäksi kaivostöiden räjäytystöissä vapautuu myrkyllisiä kaasuja, joka estää ihmistyöntekijöiden välittömän toiminnan kaivosalueella heti räjäytysten jälkeen.

Ratkaisuksi viisi poraustelakkaa varustettiin viestintälaitteilla, kameroilla sekä etäohjausjärjestelmillä. Nämä laitteet suorittavat tehtäviä itsenäisesti, ja tarpeen vaatiessa niitä voitiin ohjata manuaalisesti etäyhteydellä. Ericsson arvioi automatisoinnin lisäävän poraustelakan käyttötunteja 5 000:sta tunnista 7 000 tuntiin. Lisäksi automatisointi vähentää tarvittavan henkilöstön ja liikenteen määrää, ja luo kaivosympäristöstä myös turvallisempaa. Ericssonin mukaan automatisointi on säästänyt 2,5 miljoonan euron kulut Aitikin kaivokselta. Suunnitelmissa on myös automatisoida kaivoksen kuorma-autot, mikä Ericssonin arvion mukaan johtaisi noin kymmenen prosentin polttoainesäästöihin.

Tapaustutkimus toteutettiin käyttäen Wi-Fi aallonpituuksia. Tästä seurasi ongelmia, sillä wi-fin kantavuutta ei ole suunniteltu ulkoilmatoimintaan. Lisäksi Wi-Fin käyttö rajoitti automatisoitujen laitteiden lisäämistä. Näiden haivattujen haasteiden perusteella Ericsson asetti vaatimuksia kaivoksen tulevaisuuden mobiilikommunikaatiolle, jotka 5G:n on tarkoitus ratkaista. Kaivosverkoston pitäisi pystyä käsittelemään useita kolmiulotteista videokuvaa sekä suorittamaan monimutkaisia tehtäviä autonomisesti tai etäohjattuna. Lisäksi älylaitteiden tulee olla sopeutuvia kaivoksen jatkuvasti muuttuvaan ympäristöön (IndustryLab 2018).

Luvussa 2.2 mainitusta MIMO:sta voisi olla hyötyä juuri tällaisessa kaivostoiminnassa. Laitteet voivat käyttää useita antennia sopeutumaan erikseen ulko- ja kaivosympäristöihin. Tukiasemia voitaisiin liittää poratelakoihin ja muualle ympäristöön, mikä mahdollistaisi tehokkaan tietoliikenteen alueella.

3.5 Äly-ympäristöt

5G:n mahdollistaman laajan skaalautuvuuden myötä erilaiset äly-ympäristöt tulevat mahdolliseksi. Esimerkiksi kaupunkiympäristössä älykkäiden ratkaisujen yhdistymäinen loisi niin sanotun älykaupungin (engl. smart city). Älykaupungissa aiemmin mainitut liikenne ja terveydenhuolto sekä muu infrastruktuuri kommunikoisi langattomasti ja reaaliaikaisesti toistensa välillä. Reaaliaikasta informaatiota voitaisiin hyödyntää esimerkiksi ympäristön seurantaan, jätekesittelyyn ja älykkääseen sähköverkkoon (engl. smart grid) (Akpakwu ym. 2018, s. 4).

Fang ym. 2011 luettelevat useita uusia ominaisuuksia joita nykyisellä ”analogisella” sähköverkolla ei pystyttäisi toteuttamaan. Älysähköverkossa sensorit keräisivät jatkuvasti tietoa sähköjakelun tilanteesta, virrankulutuksesta ja mahdollisista riski- ja ongelmatilanteista. Sähköverkosta kommunikoisi tietoa keräävien sensoreiden kanssa ja kyykenisi hyödyntämään kerättyä dataa laadunvalvonnassa ja sähköjakelussa. Älykäs sähköverkko olisi tätä myöten ylläpidettävämpi, vakaampi ja säästäisi energiaa (Fang ym. 2011, s. 1–2).

4 Haasteet 5G-IoT ympäristöjen suunnittelussa

5G-IoT:n käyttöönotolle ja sen sovelluskohteille on tutkimuksissa lueteltu joitakin merkittäviä ongelmakohtia. Tässä luvussa esitellään lyhyesti tutkimuksissa ilmenneitä keskeisimpiä ongelmia 5G-IoT ympäristössä. Keskeisimmän haasteet tutkimuksissa ovat keskittyneet erityisesti 5G-IoT:n standardisointiin, 5G:n käyttämään mataliin radioaallonpituuksiin sekä IoT:n tietoturvallisuuteen. Nämä ongelmat liittyvät etenkin 5G-IoT:n standardisoimiseen sekä 5G:n käyttämään mataliin radioaallonpituuksiin. Myös luvussa 2.2 mainittu verkon laaja skaalautuminen on myös toistaikseksi haastellista toteuttaa (Li, Xu ja Zhao 2018; Palattella ym. 2016, s. 8, s. 9).

4.1 Standardisointi

Eräs merkittävimmistä haasteista 5G-IoT ympäristössä on standardisointiin liittyvät ongelmat. Esimerkiksi turvallisuusaspektit, langattomien yhteyksien toiminta ja teknologioiden käyttämät verkkorpotokollat vaativat vielä hiomista. Kuten aiemmin on todettu, 5G ja IoT ovat monimutkaisia kokonaisuuksia. Tämä johtaa luonnollisesti vaikeuksiin teknologioiden yhdistämisessä. Li, Xu ja Zhao 2018, s. 7 ryhmittävät 5G-IoT standardisointiongelmat neljään kategoriaan:

- IoT-laitteiden ja big datan analysointityökalujen suunnittelun standardisointi
- IoT:tä koskevien verkkoprotokollien standardointi
- Markkinoiden liiketoimintamallien yhtenäistäminen
- ”Killer apit” eli jokin sovellus joka toteuttaa datan keräyksen ja sen analysoimisen erityisen hyvällä tavalla

Koska IoT-laite voi olla mitä tahansa yksinkertaisesta lämpötilasensorista monimutkaiseen teollisuuskoneeseen, niiden IoT-laitteiden standardisointi on jäänyt niiden kehittäjien vastuulla. Tällainen menettely aiheuttaa ongelmia eri valmistajien sensorien välisessä kommunikaatiossa. Koska tavoitteena 5G-IoT ympäristössä on kerätä ja käsitellä dataa mahdollisimman tehokkaasti, tällainen standardivaje aiheuttaa hidasteita sen omaksumiselle. (Akyildiz ym. 2016, s. 18)

Merkittävä vaikuttaja 5G-IoT arkkitehtuurin standardisoinnissa on jo luvussa 2.2 mainittu 3GPP. Organisaation tehtävänä on antaa spesifikaatiot ja määritelmät tietoliikenteeseen liittyville teknologioille. 3GPP Release 14 ja 15 käsittelevät juuri näitä spesifikaatioita, ja niiden ajoituksen mukaan Phase-1 saadaan valmiiksi tämän vuoden lopussa.

4.2 Millimetrialueen kantavuus

5G:n nopean tiedonsiirron mahdollistaa sen käyttämät matalammat radioaallonpituudet. Tätä aallonpituusaluetta kutsutaan millimetrialueeksi (engl. mm-wave Spectrum). Matalien aallonpituuksien käytössä on kuitenkin ongelmia etenkin datahävikissä. Esimerkiksi radioaaltojen kulkiessa seinien läpi tietohävikki on suurempaa kuin 4G-taajuuksilla (Akyildiz ym. 2016, s. 9–11). Millimetrialueen aallonpituuksiin liittyy myös monia muita ongelmia juuri datahävikkiin liittyen. Hävikin vuoksi 5G-mastoja joudutaan todennäköisesti rakentamaan ympäristöön tiheällä kaavoituksella, etenkin urbaanialueilla joissa tiedonsiirtonopeuksien täytyy pystyä palvelemaan monien ihmisten ja yritysten tarpeita (Palattella ym. 2016, s. 9). Tiivistettynä 5G:n datankäsittely on tehokasta, mutta sen kantama on heikko 5G:n vaatiman millimetrialueen aallonpituuksien takia.

4.3 Turvallisuus

5G:n yhtenä vaatimusluokkana on tietoturva. Tietoturvallisuus on tärkeä osa jokaista tietoteknistä ratkaisua. 5G-IoT:n näkökulmasta uhkana on erityisesti tiedonurkinta sekä laitteiden fyysinen turvallisuus. Kuten luvussa 2.2 on mainittu, IoT:n vahvuutena on autonomia, eli laitteet voidaan kyetä jättämään toimimaan ilman suurempaa valvontaa. Tämän vuoksi laitekokonaisuuksien suunnittelijoiden täytyy ottaa huomioon myös paikalliset tunkeutumisyrittäykset itse fyysisiin laitteisiin. (Li, Xu ja Zhao 2018, s. 7).

Myös aiemmin mainittu 5G-IoT ympäristön keräämä Big Data tuo omia haasteitaan turvallisuuden näkökulmasta. Koska niiden keräämä data voi sisältää henkilötietoja, tai niillä voidaan kontrolloida monimutkaisia järjestelmiä esimerkiksi kaupunkiympäristössä, on tiedon joutuminen väärin käsiin tai sen mahdollinen manipulointi otettava huomioon tällaisia ympäristöjä suunnitellessa. (Wang ym. 2018, s. 6).

Yhteenvetona voidaan todeta, että 5G-IoT:n suurin ongelma on sen standardisointi. Koska 5G on suhteellisen tuoretta teknologiaa, sen standardisointi ei ole kerennyt täysin ajankohtaiselle tasolle. Lisäksi matalat radioaallonpituudet luovat ongelmia datahävikin näkökulmasta. Myös tietoturvallisuus on iso ja ajankohtainen ongelma ratkaistavaksi.

5 Yhteenveto

Tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että 5G-IoT arkkitehtuuri tulee olemaan isossa roolissa lähitulevaisuuden äly-ympäristöissä. Esineiden internetinä tunnetut laitteet ovat jo tälläkin hetkellä saatavilla sekä kuluttajien käyttöön että teollisuuden ratkaisuihin. 5G tulee tuomaan monia ratkaisuja IoT:n tämänhetkisiin omaksumisen haasteisiin.

Luvussa 2.2 esitelty 5G tuo mukanaan tärkeitä voimia esineiden internetille. Etenkin nopeus, kaistanleveys ja matala virrankulutus ovat merkittävässä roolissa 5G-IoT sovelluskohdeissa. Näiden sovellusten keskeisimpänä tarkoituksena on tehostaa jo olemassa olevien palveluiden toimintaa. Tällä hetkellä esimerkiksi teollisuuden aloilla on useita yksinkertaisia tehtäviä, joiden suoritukseen vaaditaan ihmisen ketteryyttä ja riipeyttä. 5G-IoT pyrkii mahdollistamaan tällaisten prosessien etäohjattavuuden ja jopa automatisoinnin. Tämänkaltainen äyllistämisen luo turvallisempia ja hyötysuhteeltaan tehokkaampia ympäristöjä niin yrityskuin yksityismaailmassa.

5G:n on jo alkanut useilla kotimaisillakin palveluntarjoajilla. Teleoperaattorit markkinoivat 5G:tä tehokkaampana ja nopeampana vaihtoehtona 4G:hen verrattuna. On kuitenkin pidettävä mielessä, että 5G on suunniteltu paljon laajempi mittakaava mielessä, ja 4G:n tarjoamat nopeudet riittävät tavallisille kuluttajille ainakin toistaiseksi. Sen käyttöönotto auttaa uusien IoT-sovelluskohdeiden käyttöönottoa. Erinäköisiä kokeiluja on jo tehty esimerkiksi kaivos-teollisuuden saralla.

Toistaiseksi 5G-IoT sovelluskohteiden kokeilu on jäänyt varsin pienelle mittakaavalle johon 5G:n vielä varsin pienestä käyttöönotosta. Varsinaisia ”älykkäitä ympäristöjä” joissa useat eri käyttötarkoitukseen tarkoitettut älylaitteet kommunikoivat toistensa välillä, ei ole vielä nähty. Uskon kuitenkin, että luvussa 3 mainitut sovelluskohteet tulevat näkymään elämässämme ennemmin kuin myöhemmin. Teknologialla on tapana hiipiä arkeemme ikäänkuin vaivihkaa.

Ongelmatonta 5G-IoT ei kuitenkaan ole. Esimerkiksi luvussa 4 esitellyt standardisointiongelmat kaipaavat lisää työtä ja tutkimusta. Vaikka 3GPP onkin tuomassa lopullisia 5G:n standardeja jo tämän vuoden lopulla, se ei tarkoita, että eri laitevalmistajat toimivat yhteistyössä

eri laitteiden välisen tehokkaan kommunikaation eteen. Myöskin IoT:n tietoturvallisuus on herättänyt huomiota aivan valtakunnallisessa mediassa asti.

Lähitulevaisuuden tutkimuksissa tulisi perehtyä 5G-IoT:n haasteisiin. Luvussa 4 mainittujen haasteiden lisäksi luvussa 2.2 mainittujen 5G:n vaatimusten vieminen toteutuksen tasolle vaatii vielä hiukan työtä. Myös 5G-IoT:n lukuisat sovelluskohteet ovat tärkeä tutkimusaihe. Teknologian koko potentiaalia ei ole varmasti vielä ymmärretty täysin. Kotimaassamme voitaisiin keskittyä kehittämään esimerkiksi puettavia potilasseurantajärjestelmiä. Tällaiset innovaatiot helpottaisivat suuresti väestörakenteen muutosta niin Suomessa kuin maailmalakin.

Lähteet

Wang, Dan, Dong Chen, Bin Song, Nadra Guizani, Xiaoyan Yu ja Xiaojiang Du. 2018. “From IoT to 5G I-IoT: The Next Generation IoT-Based Intelligent Algorithms and 5G Technologies”. *IEEE Communications Magazine* 56 (10): 114–120. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8519960>.

3GPP. 2019. Release-15. Tekninen raportti. <https://www.3gpp.org/release-15>.

Agiwal, M., A. Roy ja N. Saxena. 2016. “Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey”. *IEEE Communications Surveys Tutorials* 18 (3): 1617–1655. ISSN: 1553-877X. doi:10.1109/COMST.2016.2532458. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7414384>.

Akpakwu, G. A., B. J. Silva, G. P. Hancke ja A. M. Abu-Mahfouz. 2018. “A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges”. *IEEE Access* 6:3619–3647. ISSN: 2169-3536. doi:10.1109/ACCESS.2017.2779844.

Akyildiz, Ian F., Shuai Nie, Shih-Chun Lin ja Manoj Chandrasekaran. 2016. “5G roadmap: 10 key enabling technologies”. *Computer Networks* 106:17–48. ISSN: 1389-1286. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.06.010>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128616301918>.

Dastjerdi, Amir Vahid, ja Rajkumar Buyya. 2016. “Fog computing: Helping the Internet of Things realize its potential”. *Computer* 49 (8): 112–116. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7543455>.

Di Taranto, R., S. Muppisetty, R. Raulefs, D. Slock, T. Svensson ja H. Wymeersch. 2014. “Location-Aware Communications for 5G Networks: How location information can improve scalability, latency, and robustness of 5G”. *IEEE Signal Processing Magazine* 31, numero 6 (marraskuu): 102–112. ISSN: 1053-5888. doi:10.1109/MSP.2014.2332611.

Elisa. 2019. “Mikä Ihmeen 5G?” Viitattu 5. maaliskuuta. <https://elisa.fi/asiakaspalvelu/aihe/mobiililaajakaista/ohje/5g/>.

Fang, Xi, Satyajayant Misra, Guoliang Xue ja Dejun Yang. 2011. "Smart grid—The new and improved power grid: A survey". IEEE communications & surveys tutorials 14 (4): 944–980.

Gartner. 2017. "Gartner Says 8.4 Billion Connected 'Things' Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016". Viitattu 28. maaliskuuta 2019. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07-gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016>.

Hossain, Ekram, ja Monowar Hasan. 2015. "5G cellular: key enabling technologies and research challenges". arXiv preprint arXiv:1503.00674.

IndustryLab, Ericsson Consumer &. 2018. A case study on automation in mining. Viitattu 6. maaliskuuta 2019. https://www.ericsson.com/assets/local/trends-and-insights/consumer-insights/reports/5g_for_mining_report_aw_screen.pdf.

Intelligence, GSMA. 2014. Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile. Tekninen raportti. <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download>.

Larsson, Erik G, Ove Edfors, Fredrik Tufvesson ja Thomas L Marzetta. 2013. "Massive MIMO for next generation wireless systems". arXiv preprint arXiv:1304.6690. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6736761>.

Li, Shancang, Li Da Xu ja Shanshan Zhao. 2018. "5G Internet of Things: A survey". Journal of Industrial Engineering 10:1–9. ISSN: 2452-414X. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.01.005>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452414X18300037>.

Lueth, Knud Lasse. 2018. "State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating". <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>.

- Minerva, Roberto, Abyi Biru ja Domenico Rotondi. 2015. "Towards a definition of the Internet of Things (IoT)". https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Issue1_14MAY15.pdf.
- Oleshchuk, Vladimir, ja Rune Fensli. 2011. "Remote patient monitoring within a future 5G infrastructure". Wireless Personal Communications 57 (3): 431–439.
- Palattella, Maria Rita, Mischa Dohler, Alfredo Grieco, Gianluca Rizzo, Johan Torsner, Thomas Engel ja Latif Ladid. 2016. "Internet of things in the 5G era: Enablers, architecture, and business models". IEEE Journal on Selected Areas in Communications 34 (3): 510–527. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7397856>.
- Sodhro, Ali Hassan, ja Madad Ali Shah. 2017. "Role of 5G in medical health". Teoksessa 2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT), 1–5. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7916586>.
- Telia. 2018. "DNA avaa 5G-verkon Helsingissä". Viitattu 5. maaliskuuta 2019. <https://www.telia.fi/5g/5g-verkko>.
- Väisänen, Pekka. 2018. "DNA avaa 5G-verkon Helsingissä". Viitattu 5. maaliskuuta 2019. <https://corporate.dna.fi/lehdistotiedotteet?type=stt2&id=69849105>.
- Xu, Teng, James B. Wendt ja Miodrag Potkonjak. 2014. "Security of IoT Systems: Design Challenges and Opportunities". Teoksessa Proceedings of the 2014 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design, 417–423. ICCAD '14. San Jose, California: IEEE Press. ISBN: 978-1-4799-6277-8. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2691365.2691450>.
- Zhang, Zhi-Kai, Michael Cheng Yi Cho, Chia-Wei Wang, Chia-Wei Hsu, Chong-Kuan Chen ja Shiuhyng Shieh. 2014. "IoT security: ongoing challenges and research opportunities". Teoksessa 2014 IEEE 7th international conference on service-oriented computing and applications, 230–234. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6978614>.