

Antti Kallio

**5G ENNAKOIVAAN TERVEYDENHUOLTOON  
SIIRTYMISEN MAHDOLLISTAJANA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2018

# TIIVISTELMÄ

Kallio, Antti

5G ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtymisen mahdollistajana

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2018, sivumäärä s. 30

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Kollanus, Sami

Laadukkaan tiedonsiirtoverkon tarve on viime vuosikymmenen aikana ollut jatkuvassa kasvussa. Tarkoituksena on selvittää kirjallisuuskatsauksella viidennen sukupolven tietoverkkoteknologian (5G-tekniikan) mahdollisuudet ennakoivalle terveydenhuollolle ja sen sovellutuksille. 5G-tekniikkaa kehitetään parhaillaan ja sen oletetaan tulevan laajasti käyttöön vuoteen 2021 mennessä. Viidennen sukupolven verkon toteuttamisessa käytettyjen uusien teknologioiden innovaatioiden odotetaan mahdollistavan aiempaa laadukkaamman tiedonsiirron, mikä mahdollistaa myös uusien sovellutuksien käyttöönoton varsinkin terveydenhuollon toimialalla. Tutkielman tavoitteena on käydä läpi 5G:lle asetetut vaatimukset sekä sen mahdollistavat uudet teknologiat, minkä lisäksi tavoitteena on avata ennakoivan terveydenhuollon käsitettä sekä sen mahdollistavia sovelluksia. Tulosten perusteella todettiin 5G:n kaltaisen laadukkaan tiedonsiirron olevan avainasemassa ennakoivan terveydenhuollon sovellutuksien mahdollistamisessa ja osoitettiin myös tarve reaaliaikaiselle terveydenseurannalle sekä sen laajemmalle käytölle.

Asiasanat: 5G, mobiiliverkot, ennakoiva terveydenhuolto, langaton teknologia

# **ABSTRACT**

Kallio, Antti

5G as an enabler for proactive healthcare

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2018, 30 p.

Information Systems Science, Bachelor's Thesis

Supervisor: Kollanus, Sami

The need for a high-quality data transmission network has been steadily increasing over the last decade. The purpose is to find out the possibilities of the fifth-generation network technology (5G-technology) with a literature review on proactive healthcare and its applications. 5G-technology is currently under development and is expected to become widely available by 2021. The new technological innovations used in the implementation of the fifth-generation network are expected to enable higher quality data transfer, which will also enable the introduction of new applications, especially in the healthcare sector. The aim of this thesis is to go through the requirements for 5G and open up the concept of proactive healthcare and its applications. Based on the results, a high-quality data transfer of the 5G was found to be key in enabling proactive healthcare applications and also the need for real-time health monitoring and its wider use.

Key words: 5G, mobile networks, proactive healthcare, wireless technology

## **Taulukot**

Taulukko 1: Ominaisuuksien esiintyminen terveydenhuollon käsitteitä tutkivassa kirjallisuudessa, jossa käytetään hyväksi teknologiaa. ....	16
--	----

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
TAULUKOT .....	4
1 JOHDANTO.....	6
2 5G-TEKNOLOGIAT.....	9
2.1 Verkon kehittyminen .....	9
2.2 Vaatimukset.....	10
2.3 Toteutustavat.....	12
3 ENNAKOIVA TERVEYDENHUOLTO .....	15
3.1 Määritelmä ja käsitteet .....	15
3.2 Ennakoivan terveydenhuollon tarve .....	17
3.3 Vaatimukset.....	17
4 TIETO- JA VIESTINTÄTEKNOLOGIA JA ENNAKOIVA TERVEYDENHUOLTO .....	19
4.1 Tieto- ja viestintäteknologian käyttö terveydenhuollossa.....	19
4.2 Puettava terveydenseurantateknologia.....	20
4.3 Terveydenseurantateknologiasta saatavan informaation käyttö taudintunnistuksessa .....	21
4.4 Uusi terveydenseurantajärjestelmä.....	22
5 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSTARPEET .....	24
LÄHTEET .....	26

# 1 Johdanto

Viidennen sukupolven langattomien tiedonsiirtoteknologioiden mahdollistavat uudet huippunopeat mobiiliverkot ovat tulossa laajempaan käyttöön muutaman vuoden sisällä. Nykyisellä 4G-tekniikalla toteutetulla mobiiliverkolla ei ole kykyä vastata nyky-yhteiskunnan asettamiin tiedonsiirtovaatimuksiin, kun mobiilidatan käyttö on jatkuvassa kasvussa. Mobiilidatan eksponentiaalisen kasvun syitä ovat siirrettävän datan määrän kasvu, käyttäjien määrän kasvu sekä mobiiliverkkoja käyttävien laitteiden määrän kasvu. Mobiiliverkkoja käyttävien laitteiden määrän kasvun suurimpia tekijöitä ovat IoT-laitteiden yleistyminen ja älykaupunkien rakentaminen sekä niihin liittyvät sovellutukset (El Hassani & Haidine, 2015).

Vuodesta 2011 vuoteen 2016 siirrettävän mobiilidatan määrä on 18-kertaistunut ja tämän hetkisten arvioiden mukaan mobiiliverkkoja käyttävien laitteiden määrän uskotaan nousevan 1,5/henkilö vuoteen 2021 mennessä. Suuresta tarpeesta huolimatta 5G-verkon kuitenkin uskotaan kattavan vasta puolitoista prosenttia kaikesta tietoliikenteestä vuoteen 2021 mennessä (Cisco, 2017). 5G-tekniikoiden kehittämistä ja tutkimista motivoi myös se, ettei nykyisiin 4G-tekniikoihin ole tulossa näillä näkymin suuria parannuksia (Andrews ym., 2014; Lee, Han & Zhang, 2009).

Tavoitteena on selvittää, mitä 5G-tekniikoilla tarkoitetaan sekä sitä, millaisia toteutustapoja sille on esitetty. 5G-tekniikasta on jo paljon julkaisuja, vaikka sille ei ole vielä virallista standardia, minkä takia 5G-tekniikoista tehdyt julkaisut sisältävät spekulatiota, minkä takia tutkielmassa verrataan 5G-tekniikaa nykyiseen 4G-tekniikkaan. Tämän lisäksi perehdytään 5G-tekniikkaan siirtymisen vaikutuksiin ennakoivassa terveydenhuollossa sekä tarkastellaan 5G-tekniikoille asetettujen vaatimusten kautta hyötyjä, joita uuden sukupolven verkot tarjoavat terveydenseurantatekniikoille ja sitä kautta mahdollistavat ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtymistä.

Tarkastelussa jätetään terveydenseurantatekniikan käyttäjän omaksuminen sekä tietosuojaan liittyvät kysymykset tarkkailun ulkopuolelle ja keskitytään nimenomaan tekniikkaan, joka mahdollistaa ennakoivaan

terveydenhuoltoon siirtymisen ja terveydenseurantateknologialaitteiden laaja-alaisen käytön.

Tutkielman toinen luku käsittelee 5G-verkkoa. Viidennen sukupolven mobiiliverkoille ei ole vielä standardia, mutta sille kuitenkin on jo esitetty yleisesti hyväksytyjä vaatimuksia. Vaatimukset on asetettu tulevaisuuden skenaarioita silmällä pitäen verkon käyttäjän näkökulmasta (Popovski ym., 2013). Tärkeimpiä näistä vaatimuksista ovat suurempi datansiirtonopeus, lyhyempi viiveaika, energiatehokkuus sekä tiedonsiirron hinta (Andrews ym., 2014). Näiden lisäksi on esitetty myös vaatimuksena mahdollisuus suurempiin määriin verkkoon liittyneitä laitteita (Chen & Zhao, 2014).

Uusia eri kehitysvaiheissa olevia mahdollisia tekniikoita on tarjolla useita 5G-verkon toteuttamiseksi, sekä sen tavoitteiden ja vaatimusten saavuttamiseksi. Niistä potentiaalisimpia ovat massiivinen-MIMO-teknologia, kognitiivinen verkko, moniradiotekniikka, edistynyt laitteelta laitteelle kommunikointi sekä muutokset verkon soluarkkitehtuurissa, joista keskeisimpiin perehdytään luvussa 2.2. Lisäksi uusien taajuusalueiden löytäminen ja tehokas käyttö ovat avainasemassa 5G-verkon kapasiteettivaatimusten täyttämässä. 5G poikkeaa aikaisemmasta 4G-verkosta, kun 4G:n kehitys pääasiassa keskittyi makrosoluihin, tulee 5G:n kehitys keskittymään enemmän pienempiin ja paikallisiin soluihin, kuten esimerkiksi mikrosoluihin (Chen & Zhao, 2014). Pienempien solujen hyödyistä on näyttöä jo aikaisempien mobiilisukupolviverkkojen ajoilta, ja solujen koko on kutistunut jatkuvasti (Andrews ym., 2014).

Kolmannessa luvussa esitellään ennakoiva terveydenhuollon käsite, sen tarve ja siihen johtanut kehitys, sekä terveydenseurantateknologiat, jotka liittyvät oleellisena osana ennakoivaan terveydenhuoltoon. Luvussa tuodaan myös esille sitä, miten ennakoiva terveydenhuolto voi alentaa kustannuksia, vähentämään potilaiden määrää sekä parantaa hoitoa ja tautien havaitsemista. Tämän jälkeen luvussa osoitetaan verkon kehittymisen tarve ja sen merkitys ennakoivalle terveydenhuollolle. Tarpeet käydään läpi peilaten viidennen sukupolven verkoille asetettuja vaatimuksia, joita ovat datansiirtonopeus, datansiirtomäärä, latenssi sekä lisääntynyt yhdistyneiden laitteiden määrä.

Neljännessä luvussa perehdytään tieto- ja viestintäteknologian käyttöön terveydenhuollossa, esitellään puettava terveydenseurantateknologia ja sen merkitys ennakoivalle terveydenhuollolle. Tämän jälkeen osoitetaan laitteista saatavan informaation hyödyt taudintunnistuksessa ja osoitetaan tarve uudelle terveydenseurantajärjestelmälle.

Tulokset kootaan kirjallisuudessa esille tulleiden tulevaisuudennäkymien pohjalta, jotka yhdistivät tutkimuksissaan tietoliikenteen ja terveydenhuollon. Tulosten perusteella todetaan, ettei verkon kehitys ole se, mikä suoranaisesti auttaa terveydenhuollon ongelmiin, vaan palvelut, joita laadukas verkko tukee ja mahdollistaa. Erityisesti reaaliaikainen terveydenseuranta ja sen hyödyt nähdään merkittävänä tekijänä terveydenhuollon uudistamisessa ja se myös hyötyy erittäin paljon langattoman verkon kehityksestä. Viidennen luvun

yhteenvedon ja tuloksien perusteella 5G-teknologia mahdollistaa reaaliaikaisen terveydenseurannan ja yhä laadukkaammat terveydenhuoltopalvelut. Tämä tuo potilaat lähemmäksi hoitoketjua, kuin koskaan aikaisemmin. Teknologiset innovaatiot tulevat edesauttaa tiedonjakamista, helpottamaan päätöksentekoa ja tuovat joustavuutta terveydenhuoltoon. Kuitenkin tietyt rajoitteet vähentävät uusien innovaatioiden omaksumista ja vaikutusta ja tällaisia ovat esimerkiksi eettiset, oikeudelliset sekä tietosuojongelmat. Myös terveydenhuoltoalan työntekijät voivat vastustaa uusien innovaatioiden tuomista toimialalle, jos vaikutuksia hoidon laatuun ei pystytä näyttämään (Cowie ym., 2015).



## 2 5G-teknologiat

Tämän luvun ensimmäisessä alaluvussa kuvataan verkon kehitystä aikaisemmista verkoista kehitteillä olevaan 5G-verkkoon sekä motivoidaan aihetta verkkoon kohdistuvien odotuksien perusteella. Toisessa alaluvussa esitellään verkolle asetettuja teknisiä vaatimuksia, jotka ovat yleisesti hyväksytyjä, niin, akateemisesti, kuin yritysmaailman puolella, vaikka tarkemmat tekniset määrittelyt asetetaan vasta lähivuosien aikana. Kolmannessa alaluvussa käydään läpi 5G-verkon keskeisimmät teknologiset mahdollistajat. Alaluvussa kuvataan ensin verkon nykytilaa ja motivoidaan millimetriaaltojen käyttöä sekä kuvataan millimetriaaltojen vaikutukset verkon kehitykseen. Tämän jälkeen kuvataan solutukiasemien käyttöä, joita millimetriaaltojen hyödyntäminen todennäköisesti vaatii ja viimeiseksi avataan massiivisen syötteen ja tulosteen käyttöä ja vaikutuksia ja esitellään myös kognitiivisen verkon käsite.

### 2.1 Verkon kehittyminen

Langattomat tiedonsiirtoverkot ovat kehittyneet nopeasti 3G-verkoista 4G-verkkoihin ja voidaankin todeta, että äänensiirtoon keskittyneestä verkon kehityksestä ollaan siirrytty yhä enemmän datansiirtoon keskittyneeseen verkonkehitykseen. Kolmannen sukupolven verkko (3G) on yleiseurooppalainen matkapuhelinverkko, joka on ollut käytössä vuodesta 1999 eteenpäin. Sen tiedonsiirtonopeus mahdollisti ensimmäisenä multimediasovellukset, kuten MMS-viestit (*eng. Multimedia Messaging Service*). 3G-verkko on edelleen käytössä sellaisilla alueilla, joita seuraavan eli neljännen sukupolven verkko (4G) ei tue. 4G-verkko on jo maailmanlaajuinen langaton tiedonsiirtojärjestelmä, jonka tiedonsiirtonopeudet mahdollistavat hyvälaatuisen liikkuvan kuvan siirtämisen. 4G-verkon yleistymisen on lisännyt suuresti langattomien palveluiden ja siirrettävän tiedon määrää. 4G-verkossa välitettiin aluksi vain tiedonsiirtoliikennettä, mutta vuodesta 2014 lähtien 4G-verkko on kyennyt välittämään myös puheluita. 5G-verkon eli maailmanlaajuisen viidennen sukupolven matkapuhelinverkon määrittely on vasta alkamassa standardointijärjestöissä ja sen on tarkoitus tulla laajempaan käyttöön vuonna 2021 ja sen tulee vastata voimakkaasti kehittyvän ja kasvavan liikkuvan tiedonsiirtomarkkinan vaatimukseen (Rodriguez, 2015).

Langattomat tiedonsiirtoverkot ovat kehittyneet nopeasti 2G verkoista 4G verkkoihin ja nyt, kun 5G verkko tekee tuloaan, aikoo se muuttaa maailmaa siten, että kaikki olisivat yhteydessä kaikkeen (Gupta & Jha, 2015).

Viidennen sukupolven verkon omaispiirteiksi on kuvattu esimerkiksi nopeaa datansiirtokykyä, alhaista latenssia, suurta datansiirtokapasiteettia, jotta se voi vastata eri toimialojen vaatimukseen ja tulevaisuuden skenaarioihin. (Chen,

Zhang, Li, Mao, & Leung, 2015; Din, Paul, Ahmad & Rho, 2016). Kuitenkin radikaaleimmat ratkaisut on tehtävä verkon arkkitehtuureissa, jotta ne vastaavat kasvavaan kysyntään ja laitteiden määrään.

Viime vuosina viidennen sukupolven langattomia verkkoja on tutkittu yhä enemmän niin akateemisella kuin teollisuuden tahoilla. Viidennen sukupolven langattomien verkkojen odotetaan ratkaisevan monia nykyisten verkkojen ongelmia sekä mahdollistavan lukuisia uusia sovellutuksia. Tällä hetkellä langattomaan verkkoon on yhdistyneenä yli viisi miljardia langatonta laitetta ja verkon kautta kulkee ääntä ja dataa. Mobiilidatan eksponentiaalista kasvua selittää lähivuosina yleistyneiden älylaitteiden ja älypuhelimien määrän lisääntyminen, jotka käyttävät runsaasti dataa. Älylaitteiden siirtämän datan uskotaan kasvavan tulevina vuosina entisestään ja verkkoa käyttävät uudet sovellutukset vaativat viidennen sukupolven verkoilta yhä laadukkaampaa tiedonsiirtoa (Andrews ym., 2014).

5G-verkko on siis mahdollistamassa tien langattomaan maailmaan ilman esteitä mahdollistaen samalla monet uudet sovellutukset eri toimialoilla. Teknologian uskotaan mahdollistavan massiivisten datamäärien käsittelyä hyödyntämällä esimerkiksi pilviteknologiaa (Nkosi & Mekuria, 2010; Duarte, Cerqueira, & Villas, 2015) ja siten verkon uskotaan mahdollistavan yhä interaktiivisempia ja yksilöidymiä palveluita. (Chen ym., 2015).

Terveydenhuoltoon liittyvien skenaarioiden johdosta verkkoa laajennetaan haastavammille alueille terveystietojen keräämiseksi, jotta esimerkiksi terveydenhuollon tarpeen arviointia voidaan ennakoida paremmin (Ntareme, Zennaro, & Pehrson; Wang & Wu, 2006). Monet haasteet, kuten terveydenhuoltoon liittyvät kommunikaatio-ongelmat sekä terveydenhuollon rajallinen saatavuus syrjäisemmällä seuduilla, ovat ongelmia, joita edelleen esiintyy nykypäivänä (Varshney, 2007).

## 2.2 Vaatimukset

METIS-projekti (Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society) on Euroopan komission rahoittama hanke, jonka tavoitteena oli luoda perusta tulevaisuuden langattomalle viestinnälle vuodelle 2020 ja sen jälkeen. Viidennen sukupolven verkolle asetetut vaatimukset on asetettu verkon käyttäjän näkökulmasta. Suorituskyvyn mittaamiselle on asetettu kuusi indikaattoria, joiden avulla mitataan sitä, kuinka hyvin verkko vastaa sille asetetuille vaatimuksille (Popovski ym., 2013). METIS-projektin indikaattoreille asetetut vaatimuksia käytetään laajalti myös muissa 5G-teknologiaa tutkivissa tutkimuksissa (Chen & Zhao, 2014). Asetetut indikaattorit ovat siirrettävän datamäärän kasvu tietyllä alueella, käyttäjän kokemaa suoritusnopeutta, verkkoon yhdistyneiden laitteiden määrän kasvu, energiatehokkuus sekä latenssin alentuminen, jotka käydään seuraavaksi yksityiskohtaisemmin läpi.

Ensimmäinen indikaattori on datamäärän kasvu tietyllä alueella. Sen avulla mitataan datan kokonaismäärää, joka tietyllä alueella siirtyy tietyn ajan kuluessa. Datansiirron määrälle asetettu vaatimus on tuhat kertainen verrattuna nykyisen verkon datansiirtomäärään. Asetettu vaatimus pohjautuu mobiililaitteiden määrän jatkuvaan kasvuun, joilla on suuret datansiirtovalmiudet. Tämän lisäksi datansiirron tarvetta kasvattaa multimediaspalvelujen lisääntyminen sekä videoiden yhä korkeammat resoluutiot (Popovski ym., 2013).

Toinen indikaattori on käyttäjän kokemus suoritusaste, jolla tarkoitetaan käyttäjän saamaa suorituskykyä tietyssä mitattuna aikana. Käyttäjän saamaan suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat verkon ympäristö eli saman verkon käyttäjien määrä sekä se, kuinka paljon dataa käyttäjät vievät, koska se kuormittaa verkon tukiasemaa ja lisää mahdollisia häiriöitä lähellä olevissa tukiasemissa. Tämän indikaattorin vaatimukseksi on asetettu 10-100 kertainen parannus nykyiseen verkkoon verrattuna (Popovski ym., 2013).

Kolmas indikaattori on verkkoon samanaikaisesti yhdistyneiden laitteiden määrä. Vaatimukseksi on asetettu, että verkkoon pitäisi pystyä yhdistymään jopa 10-100-kertainen määrä laitteita, kuin mitä siihen nykyisellään pystyy (Popovski ym., 2013). Laitteiden määrän oletetaan kasvavan valtavasti varsinkin IoT-laitteiden ja älypuhelimien osalta. Tällä hetkellä langattomaan verkkoon yhdistyneitä laitteita on noin 7,8 miljardia ja Ciscon (2017) arvion mukaan määrä kasvaa 11,6 miljardiin vuoteen 2021 mennessä. Arvio perustuu laitteiden määrän kasvuun aikaisempina vuosina ja pelkästään vuonna 2016 yhteensä 429 miljoonaa uutta laitetta yhdistettiin verkkoon, joista suurin osa oli älypuhelimia (Cisco, 2017).

Neljäs indikaattori on energiatehokkuus. Energiatehokkuudelle on asetettu vaatimukseksi kymmenen kertaa pidempi akunkesto. Vaatimus pohjautuu laitteiden määrän lisääntymiseen, jolloin energiatehokkuudesta tulee keskeinen vaatimus viidennen sukupolven verkolle.

Viides indikaattori on verkon luotettavuus ja se kuvaa verkon yhteyden laatua ja sitä, miten se riittää tiettyyn palvelutasoon. Verkon luotettavuus on erityisen tärkeä sovelluksille, joissa yhteyden täytyy olla koko ajan reaaliaikainen ja yhteyden häiriöt ja katkokset aiheuttavat dramaattisia vahinkoja.

Viimeinen eli kuudes indikaattori on latenssi, jolla viitataan vasteaikaan, joka kuuluu käyttäjän antamasta käskystä laitteelle, siihen kun käsky on toimeenpantu. Tällä hetkellä vasteaika 4G verkossa on noin 15-20 millisekuntia (Andrews ym., 2014). Se on riittävä aika esimerkiksi äänen siirtämiselle, sähköpostin lähettämiseksi sekä normaalille internetikäytölle. Viidennen sukupolven verkolle on asetettu vaatimus latenssin putoamista 1-8 millisekuntiin (Popovski ym., 2013). Latenssin huomattava aleneminen tarkoittaa, että verkon käyttäjän käyttökokemukset parantuvat ja tavalliset verkkosivut ja applikaatiot latautuvat pienemmällä viiveellä. Alentunut latenssi avaa myös mahdollisuuksia uusille palveluille ja sovellutuksille eri toimialoilla, joiden uudet sovellutukset vaativat viiveetöntä ja virheetöntä tiedonsiirtoa. Eriten hyötyviä toimialoja ovat esimerkiksi terveydenhuolto, logistiikka, teollisuus sekä viihde. Esimerkiksi terveydenhuollateknologiassa, jopa

pienetkin viiveet voivat aiheuttaa katastrofaalisia vaikutuksia, kun esimerkiksi sydänkohtausta ei huomata verkon viiveiden takia (Lema ym., 2017).

Käyttökokemus vaikuttaa myös hyvin paljon teknologian omaksumiseen, minkä vuoksi terveydenseurantateknologisten mittauslaitteiden tulisi olla erittäin luotettavia ja toimia mahdollisimman virheettömästi, jotta niitä käytettäisiin (Fonkych & Taylor, 2005, s. 49). Teknisten vaatimusten saavuttamiseksi myös viidennen sukupolven verkon arkkitehtuurille on asetettu vaatimuksia, jotta dataliikenteen ohjaaminen ja tukiasemien valinta olisi tehokkaampaa. Arkkitehtuurin toiminnalliset vaatimukset on asetettu palvelujen näkökulmasta. Uudessa arkkitehtuurimallissa tulisi olla kyky ohjata laitteita halutulla tavalla, jotta signaointi ja hallintakustannukset vähentyisivät. Näin uusi arkkitehtuurin myös tarjoaisi saumattoman vuorovaikutuksen ja liikkumisen 5G- ja LTE-verkon välillä (Hossain, Rasti, Tabassum & Abdelnasser, 2014; Osseiran ym., 2014; Andrews ym., 2014). Näiden lisäksi myös eri verkkojen integrointi ja energiankulutus vaatimuksia sekä kustannustehokkuusvaatimuksia (Chandrashekar ym., 2016).

## 2.3 Toteutustavat

Tällä hetkellä lähes kaikki mobiiliverkkoja käyttävät laitteet toimivat kolmensadan ja kolmen tuhannen megahertsin välillä. Tätä väliä pidetään ideaalisimpana taajuusalueena sen suotuisien etenemisominaisuuksiensa takia eli ne ovat hyviä läpäisemään erilaisia materiaaleja kuten esimerkiksi rakennusten seiniä (Pi & Khan, 2011). Nykyinen taajuusalue on kuitenkin liian kapea ja verkko ruuhkautuu helposti varsinkin, kun verkkoa runsaasti käyttävien laitteiden määrä kasvaa (Andrews ym., 2014). Taajuusalueen ongelmaan vastaaminen onkin yksi viidennen sukupolven verkoille asetetuista vaatimuksista (Ezhilarasan & Dinakaran, 2017).

Yksi mahdollisesti merkittävä ja paljon tutkittu uudistus viidennen sukupolven verkkoja kehittäessä on tiedonvälitykseen käytettävän taajuusalueen spektrin kasvattaminen millimetriaaltoihin. Millimetriaalloilla tarkoitetaan aaltoja, jotka sijoittuvat 3-300GHz välille. Millimetriaalloille asetettiin ensimmäinen standardi vuonna 2011 (Baykas ym., 2011)

Millimetriaaltoja ei ole ennen käytetty langattomien verkkojen datanvälityksessä, koska korkeammilla taajuusalueilla myös aallonpituus tihenee. Tiheämmästä aallonpituudesta johtuen millimetriaalloilla on huonommat läpäisevyysominaisuudet ja millimetriaallon etenemisominaisuuksiin vaikuttaa myös esimerkiksi sateinen ilma (Andrews ym., 2014). Tämän lisäksi millimetriaallon läpäisykyky riippuu suuresti läpäistävästä materiaalista ja sen pinnasta. Millimetriaallot eivät läpäise esimerkiksi rakennusten kiinteitä seiniä kovinkaan hyvin. Mittaustulosten perusteella millimetriaaltojen on lähes mahdotonta läpäistä tiili tai betoniseiniä, mutta puurakenteet tai ikkunat eivät ole este aallon etenemiselle. Kiinteiden esteiden aiheuttamia haittoja millimetriaallolle on kuitenkin tutkittu ja

läpäisyongelmaan on kehitetty ratkaisuja ja esimerkiksi puolijohdeiden yleistymisen ja puolijohdemateriaalien hinnan aleneminen tekevät millimetriaaltojen hyödyntämisen tutkimisesta jälleen mielenkiintoisen. (Rappaport ym., 2013) Millimetriaallot kuitenkin vaativat toimiakseen myös tiheämmän tukiasemaverkon ohjaamaan säteen energiaa sekä keräämään ne johdonmukaisesti (Wang ym., 2014). Tämä asettaa myös verkon tukiasemien arkkitehtuurin eli soluarkkitehtuurin uudelleensuunnittelun tutkimuksen kohteeksi.

5G:n kaltainen langaton verkko tarvitsee toimiakseen tukiasemia, jotta tietyn alueen laitteet pystyvät yhdistymään verkkoon. Tukiasemien tehtävänä on yhdistää verkkoa käyttävät laitteet päätukiasemiin ja nykyisellään käytössä olevat tukiasemat ovat melko suuria. Ezhilarasan ja Dinakaran (2017) esittelevät solutukiaseman käsitteen, jolla tarkoitetaan langattoman verkon solua eli tukiasemaa, jolla on perinteistä tukiasemaa pienempi tehokas kantama. Solut on jaoteltu tehokkaan kantamansa mukaan suurimmasta pienimpään makro-, mikro-, piko- ja femtosoluihin. Makrotukiaseman kantama vaihtelee 30-35 kilometrin välillä, kun taas mikrotukiaseman kantama on vain kaksi kilometriä. Mikrosolun kantama on noin kaksisataa metriä ja femtotukiaseman kantama on vain muutamien kymmenien metrien luokkaa. Myös soluun yhdistyneiden laitteiden määrä pienenee merkittävästi siirryttäessä pienempiin soluihin, minkä vuoksi niiden käyttö tulee suunnitella soluun yhdistyneiden laitteiden määrän pohjalta (Ezhilarasan & Dinakaran, 2017) Tukiasemien lisäämistä on kuitenkin kritisoitu sen vuoksi, että tukiasemien määrän kasvattaminen kuluttaa enemmän energiaa kasvavan laskentatehon tarpeen vuoksi (Ge, Yang, Gharavi & Sun, 2017). Li, Zhang ja Letaief (2014) ovat myös osoittaneet tukiasemien lisäämisen lisäävän verkon suorituskykyä ja vähentävän verkossa ilmenevien katkokkien määrää.

Wang ym. (2014) esittelevät tutkimuksessaan myös kognitiivisen verkon käsitteen, jota pidetään yhtenä lupaavana ratkaisuna taajuusalueen rajallisuudesta johtuvalle ongelmalle. Kognitiivisella verkolla tarkoitetaan, että verkolla on toissijainen alisteinen järjestelmä, joka on ohjelmistolla ohjattu ja se jakaa ensisijaiselle järjestelmälle taajuusaluetta reaaliaikaisesti. Taajuusalueen jakaminen maksimoi taajuusalueen hyödyntämistä, jolloin verkko havaitsee taajuusalueet, joita ei sillä hetkellä käytetä tehokkaasti (Wang ym., 2014).

Kuten aikaisemmin todettiin, laitteiden määrän uskotaan kasvavan valtavasti tulevina vuosina. Mitä enemmän laitteita on yhteydessä langattomaan verkkoon, sitä enemmän yksittäisillä tukiasemilla on käsiteltävänä syötteitä ja tulosteita. Syötteiden ja tulosteiden määrän kasvaessa on tärkeää, ettei tukiasema tukkiudu liian suuresta dataliikenteestä. Tällä hetkellä olemassa oleva verkko käyttää MIMO-teknologiaa (*eng. Multiple-Input and Multiple-Output*), jolla tarkoitetaan sitä, kun datan lähetyksessä ja vastaanottamisessa käytetään useampaa kuin yhtä antennia samanaikaisesti (Andrews ym., 2014). MIMO-teknologiaan pohjautuen viidennen sukupolven verkon merkittävänä mahdollistajana pidetään massiivista MIMO:a (*eng. massive MIMO*). Massiivisen

MIMO:n perusajatuksena on tukiasemissa olevien antennien määrän huomattava kasvattaminen.

Antennien määrän kasvattaminen Boccardin ym. (2014) tutkimuksen mukaan kasvattaa spektristä tehokkuutta, joka taas kasvattaa tiedonsiirron nopeutta. He pitävät tutkimuksessaan antennien lisäämistä hyvänä toteutustapana, sillä tukiasemiin on mahdollista lisätä antennia lähes rajattomasti (Boccard ym., 2014). Myös Larssonin ym. (2014) tutkimusryhmä on tutkinut massiivisen MIMO:n hyödyntämistä signaalien välityksessä. Heidän mukaansa sen pohjalta voi kehittää energiatehokkaita ja turvallisia verkkoja, mutta satojen antennien hyödyntäminen edellyttää, että signaalit tukiasemasta ohjataan niihin kohtiin solua, jossa päätelaitteet kulloinkin ovat. Tämä edellyttää tukiasemilta edistyneitä algoritmeja, suhteellisen raskasta laskentaa sekä hyvää tietämystä lähetyskanavista, jotta osataan laskea mahdollisimman hyvä lähetysreitti (Larsson ym., 2014).

### 3 Ennakoiva terveydenhuolto

Tässä luvussa käsitellään ennakoivaa eli proaktiivista terveydenhuoltoa sekä sen mahdollistavia teknologioita. Luvussa määritellään ennakoiva terveydenhuolto, esitellään sen tarve sekä sen vaatimukset. Lisäksi esitellään terveydenseurantateknologian sovellutuksia, jotka mahdollistavat ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtymisen sekä peilataan 5G:n tarjoamia mahdollisuuksia verraten verkkoa nykyiseen 4G verkkoon.

#### 3.1 Määritelmä ja käsitteet

Terveydenhuollon muodot voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, jotka ovat reagoiva ja ennakoiva terveydenhuolto. Reagoivalla terveydenhuollolla tarkoitetaan perinteisempää käsitystä terveydenhuollosta, jossa sairauteen, vamman tai oireeseen reagoidaan silloin, kun se potilaalla ilmenee. Reagoivaan terveydenhuoltoon usein yhdistetään myös potilaan itsehoito eli potilas voi itse hoitaa itseään tai vamman vakavuudesta riippuen potilas voi mennä sairaanhoitajan tai lääkärin vastaanotolle. Ennakoiva terveydenhuolto eroaa reagoivasta terveydenhuollosta siten, että tautia tai vammaa pyritään ennaltaehkäisemään jo ennen sen syntymistä (Summit, 2015).

Ennakoivaa terveydenhuoltoa voidaan pitää yläkäsitteenä terveydenhuollolle, jossa pyritään ennaltaehkäisemään ja ennakoimaan tulevaa potilaasta saatavien mittaustuloksien avulla, joita saadaan käyttämällä teknologiaa. Tarkastellessa terveydenhuoltoa käsittelevää kirjallisuutta ja tutkimusta, jossa käytetään apuna teknologisia ratkaisuja, tulee esille monia erilaisia alakäsitteitä. Alakäsitteitä ei ole määritelty tismalleen samalla tavalla, joten eroavaisuuksien selvittäminen on oleellista käsiteltäessä ennakoivaa terveydenhuoltoa. Kirjallisuudessa käytettyjen käsitteiden ominaispiirteitä pyritään havainnollistamaan taulukon avulla ja käsitteet käydään seuraavaksi yksityiskohtaisemmin läpi (Taulukko 1).

E-health on laajalti käytetty uudissana 1990-luvun kirjallisuudessa ja tutkimuksessa, jolloin useat käsitteet saivat e-etuliitteen, jolla viitataan elektronisuuteen (*eng. electronic*). Oh, Rizo, Enkin ja Jadad (2005) löysivät 51 toisistaan eroavaa määritelmää e-health -käsitteelle eikä sille ole yksiselitteistä määritelmää, mutta keskeisessä osassa on elektronisten laitteiden käyttö terveydenhuollossa ja terveydenhuollossa tapahtuvassa kommunikaatiossa (Oh ym., 2005). Kirjallisuudessa esille tuleva liikkuvan tai mobiiliterveydenhuollon käsite (*eng. mobile health*), eroaa muista käsitteistä siten, että siinä korostetaan terveydenhuoltopalvelun riippumattomuutta maantieteellisestä paikasta (Silva ym., 2015). Älykkään terveydenhuollon käsite (*eng. smart health*) sivuaa mobiiliterveydenhuollon käsitettä, mutta korostaa nimenomaan älykkäiden laitteiden, kuten esimerkiksi älypuhelimien mahdollisuuksia terveydenhuollolle


(Lee, 2011). Älykkään terveydenhuollon käsitettä käytetään myös silloin, kun tarkastelussa on terveydenhuolto, jossa käytetään esimerkiksi älykkäitä robotteja tai älykkäitä sensoreita (Bamiah, Brohi & Chuprat, 2012). Personalisoidun terveydenhuollon (*eng. personalized health*) käsite asettaa käyttäjän, tai ennakoivan terveydenhuollon tapauksessa potilaan, henkilökohtaiset tarpeet, tyypillisen hoitoryhmäluokittelun edelle. Käsite on siis paljon käyttäjäkeskeisempi kuin muut käsitteet (Hiremath, Yang & Mankodiva, 2014). Käsitteestä on myös käytetty termiä adaptiivinen terveydenhuolto (*eng. adaptive health*) (Germanakos, Mourlas & Samaras, 2005).

Kaikkein lähimpänä ennakoivan terveydenhuollon käsitettä on Varshneyn (2007) määrittelemä kaikkialla läsnä oleva terveydenhuolto (*eng. pervasive health*), jolla tarkoitetaan terveydenhuoltoa, joka on kaikkien saatavilla riippumatta ajasta, paikasta tai muista rajoitteista ja sen saavuttamiseksi käytetään teknologisia ratkaisuja. Hänen mukaansa se lisää terveydenhuollon kattavuutta sekä parantaa terveydenhuollon laatua. (Varshney, 2007). Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että teknologiaa on käytetty jo pitkään terveydenhuollossa ja käytetyt käsitteet vaihtelevat ajanjakson näkökulman mukaan. Voidaan myös todeta uusien teknologioiden kuten älykkyyden lisäämisen vaikuttavan käytettävän käsitteen nimeämiseen.

Taulukko 1: Ominaisuuksien esiintyminen terveydenhuollon käsitteitä tutkivassa kirjallisuudessa, jossa käytetään hyväksi teknologiaa.

	Ominaisuudet				
	Tieto- ja viestintäteknologia	Internet	Mobiiliyhteys	Älylaitteet ja jatkuva seuranta	Käyttäjakeskeisyys
E-health					
Mobile health					
Personalized health					
Smart health					
Pervasive health					

Terveydenhuoltoon liitetyt teknologiaa hyväksikäyttävät käsitteet

 = Ominaisuus esiintyy usein käsitettä tutkivassa kirjallisuudessa



### 3.2 Ennakoivan terveydenhuollon tarve

Terveydenhuollon tarve on ollut jo pitkään suuressa kasvussa, minkä vuoksi myös terveydenhuollon kustannukset ovat kasvaneet. Terveydenhuollon kustannusten kasvun yhtenä keskeisimmistä syistä voidaan pitää maailman väestön ikääntymistä, joka on varsinkin Suomessa hyvin ajankohtaista suurten ikäluokkien vanhetessa.

Suomessa terveydenhuollon menojen kasvu on viime vuosina tasoittunut, mutta tarkastellessa pidempää aikaväliä, vuodesta 2000 vuoteen 2016, huomataan terveydenhuollon vuosittaisten kustannusten nousseen noin kolmestatoista miljardista reiluun kahteenkymmeneen miljardiin euroon. Menot ikääntyneiden potilaiden palveluiden osalta kasvoivat huomattavasti 1,66 miljardista 3,55 miljardiin euroon vuodessa, mitä selittää väestöllisen huoltosuhteen kasvu (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2018). Terveydenhuoltoalan asiantuntijat etsivät jatkuvasti uusia tapoja kustannusten alentamiseen.

Terveydenhuollon kasvava tarve vaatii uusia ratkaisuja, joista yhtenä merkittävimmistä pidetään siirtymistä reagoivasta terveydenhuollosta ennakoivaan terveydenhuoltoon. Parhaimmillaan ennakoiva terveydenhuolto parantaa terveydenhuollon tasoa, koska ihmiset pääsevät aikaisemmin hoitoon ja samalla se alentaa terveydenhuollon kustannuksia. Kustannusten aleneminen ja parempi hoito myös omalta osaltaan mahdollistavat taloudellista kasvua (Patil & Seshadri, 2014).

Ennakoivan terveydenhuoltoon siirtymisen mahdollistamiseen kuuluu toimijoita ja yrityksiä useilta eri toimialoilta, kuten esimerkiksi terveydenseurantalaitteiden valmistajia, ohjelmistojen tuottajia, sovelluskehittäjiä sekä julkisen puolen terveydenhuollon ammattilaisia eikä muutos onnistu ilman toimijoiden yhteistyötä (Lema ym., 2017). Suomessa terveyskeskuskäyntien yleisimmät syyt ovat verenpainetauti, ylähengitysteiden infektiot, selkäsärky, aikuistyyppin diabetes sekä vatsa- ja lantiikipu. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2018). Edellä mainittuja sairauksia ja oireita aiheuttavia tekijöitä ovat potilaan huomattava ylipaino, tupakointi, alkoholin käyttö sekä liikkumattomuus. Ennakoiva terveydenhuolto ja sen sovellutuksista saatava informaatio antaa myös terveydenseurantateknologian käyttäjälle paljon tietoa omasta terveydentilastaan ja sen uskotaan vaikuttavan myös käyttäjän omiin päätöksiin.

### 3.3 Vaatimukset

Kommunikaatiolla on merkittävä rooli terveysalan ammattilaisten päivittäisessä työssä ja se toteutuu potilaiden ja ammattilaisten sekä hoitohenkilökunnan välisessä yhteistyössä. Kommunikaatio terveysalalla kattaa terveyteen liittyvien tietojen välittämisen sekä vuorovaikutuksen erilaiset muodot.

Terveydenhuoltoalan tieto- ja viestintäteknologiat tarjoavat keinon edesauttaa tiedon saatavuutta ja tiedon jakamista, jotka yhdessä saavat aikaan terveydenhuoltopalvelujen yleisen laadun paranemista (Alpay, Toussaint & Zwetsloot-Schonk, 2004).

Nopea kehitys teknologian ja terveydenhuollon toimialalla on tehnyt digitaalisesta informaatiosta yhä keskeisemmän tekijän. Verkon välityksellä tapahtuvalla kommunikaatiolla on selvästi parhaimmat mahdollisuudet parantaa tietojen saatavuutta ja jaettavuutta sekä saada aikaan muutoksia terveydenhuollon toteutustapaan (Podichetty, Booher, Whitfield, & Biscup, 2006).

Internet on myös parantanut lääketieteellisten tietojen saatavuutta, mikä on vaikuttanut potilaiden ja lääkärin välisiin suhteisiin ja yhä useammin potilaat etsivät lääketieteellistä tietoa internetistä. Vaikka lääketieteellisen tiedon saatavuus on parantunut, niin ongelmaksi on tullut potilaan vaihtelevat kyvyt löytää laadukasta lääketieteellistä tietoa sekä tiedon oikeanlainen tulkinta eikä tiedon saatavuuden parantaminen ole vähentänyt terveydenhuollon tarvetta (Perera, 2012).

Langattoman tiedonsiirron käytön tehostaminen vaatii verkoilta riittävän suorituskyvyn, jotta se voi vastata massiivisen tiedonsiirron tarpeeseen ja sitä pidetään kulmakivenä siihen, että terveydenhuollon sovellutukset voivat kehittyä (Karrer, Matyasovszki, Botta & Pescapé, 2006). Verkon suorituskyky ja luotettavuus ovat siis keskeisiä tekijöitä ennakoivan terveydenhuollon, jossa terveydenhuolto on laajalle levinnyt, kaikille saatavilla oleva, eikä sillä ole aika-tai paikkarajoitusta ja se myös lisää terveydenhuollon kattavuutta ja laatua.

Mobiiliverkkojen käyttö terveydenhuollossa mahdollistaa potilaiden pääsyn terveydenhuollon piiriin syrjäisiltä alueilta ja samalla se lisää tuottavuutta, parantaa käytettävyyttä ja siten lieventää ongelmia, joita terveydenhuollon rajallinen saatavuus aiheuttaa syrjäisemmilla alueilla, joita silti on edelleen olemassa maailmanlaajuisesti. Käyttöönoton myötä mobiiliverkot parantavat siis terveydenhuollon sovellutuksien kehittyviä teknologioita (Varshney, 2007).

## 4 Tieto- ja viestintäteknologia ja ennakoiva terveydenhuolto

Kuten aikaisemmin osoitettiin, sekä tieteellinen kirjallisuus, että markkinoiden kehitys osoittaa, terveydenhuoltoalalla on hyvin suuri potentiaali hyväksikäyttää tieto- ja viestintäteknologiaa. Vaikka teknologian määrää on jatkuvasti kasvatettu terveydenhuoltoalalla, vaatii ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtyminen silti suuria muutoksia nykyisessä terveydenhuollossa. Tässä luvussa esitellään tieto- ja viestintäteknologian käyttöä terveydenhuollossa sekä tehdään katsaus tulevaisuuden skenaarioihin, joita kirjallisuudessa ilmenee ja luodaan kirjallisuuden perusteella kattava kuva siitä, millaista tulevaisuuden terveydenhuollon tulisi olla ja osoitetaan 5G-verkon tarve.

### 4.1 Tieto- ja viestintäteknologian käyttö terveydenhuollossa

Kirjallisuudessa on paljon osoituksia siitä, kuinka tieto- ja viestintäteknologiat tukevat lukuisia lääketieteen sovellutuksia, jotka liittyvät esimerkiksi telepatologiaan eli taudintunnistamiseen etäältä käyttäen hyväksi viestintäteknologiaa. Ensimmäiset havainnot etäseurannasta ovat peräisin 1980-luvulta, jolloin Weinsteinin tutkimusryhmä pyrki havainnollistamaan viestintäteknologian mahdollisuuksia telepatologiassa (Weinstein, Bhattacharyya, Graham, & Davis, 1997).

Nykyisen potilastietojärjestelmän heikkoutena pidetään potilastietoihin hidasta pääsyä, johtuen hitaasta verkkoyhteydestä tai huonosti toimivasta järjestelmästä. sekä heikentynyttä vuorovaikutusta potilaan ja hoitohenkilökunnan välillä (WHO, 2013).

Kulkarni ja Ozturk (2011) uskovat, että tuleva järjestelmä toteutetaan pilvipalveluna. He uskovat sen jopa korvaavan tai ainakin täydentävän nykyistä terveydenhuoltojärjestelmää. Gia ym. (2015) ja Shi ym. (2015) tutkimusryhmät ehdottavat myös uuden sumu -konseptin (*eng. fog computing*) hyödyntämisen terveydenhuollossa, jolla tarkoitetaan sitä, että pilven toimintoja siirretään lähemmäs käyttäjää eli "pilven reunalle" sumuun. Pilvipohjaisten ratkaisujen hyödyntämistä pidetään helposti mukautuvana ja edullisena ratkaisuna, mutta pilvipohjaiset ratkaisut edellyttävät toimivaa ja luotettavaa verkkoyhteyttä (Andriopoulou, Dagiuklas & Orphanoudakis, 2017; Lema ym., 2017). Pilvipalvelupohjaisten ratkaisujen odotetaan parantavan informaation saatavuutta, mahdollistavan tuen laitteiden suurelle määrälle, parantavan liikuteltavuutta sekä omalta osaltaan alentavan latenssia huomattavasti. Lema ym. (2017) myös pitää pilvipalvelupohjaisia ratkaisuja tulevaisuuden ratkaisuina, mutta pilvipalvelupohjaisten ratkaisujen avaintekijöitä ovat toimivat ja luotettavat verkkoyhteydet (Lema ym. 2017).

Ennakoiva terveydenhuolto hyötyy hyvin paljon erilaisista teknologisista ratkaisuksista, joilla voidaan seurata potilaan terveydentilaa ja elintoitintoja. Myös kirjallisuus osoittaa, kuinka esimerkiksi terveydenseurantalaitteet voivat tukea terveydentilan seurantaan tarjoamalla informaatiota terveydentilasta (Laplante & Laplante, 2015). Merkittävää on se, miten terveydenseurantalaitteiden hyödyntämistä pidetään merkittävänä tekijänä myös terveydenhuollossa tehtävien virheiden määrän laskun kannalta, verrattuna manuaalisiin keinoihin (Darshan & Anandakumar, 2015). Ennakoivassa terveydenhuollossa käytetyt laitteet ovat kuitenkin usein nimenomaan laitteita, joilla on tarkoitus mitata potilaan terveydentilaa.

Terveydenhuoltoalalla verkkojen käytön vallankumous on jo nähtävissä ja terveydenhuoltoa pyritään ohjaamaan pois sairaaloista hyväksikäyttäen etäseurattavia terveydenseurantateknologioita sekä lisäämällä kotihoitoa. Terveyttä seuraavien laitteiden yleistymisen myös edesauttaa siirtymistä ennakoivaan terveydenhuoltoon ja potilaiden etäseurantaan. Terveydenseurasta saatava tieto myös mahdollistaa henkilökohtaisemman hoitosuunnitelman tekemisen ja hoidon laadun parantumisen (Lema ym. 2017).

## 4.2 Puettava terveydenseurantateknologia

Puettavalla terveydenseurantateknologialla tarkoitetaan mitä tahansa laitetta, joka kerää ja tallentaa käyttäjän terveyttä kuvaavaa informaatiota. Terveydenseurantalaitteesta saatavaa informaatiota voidaan käyttää hyödyksi henkilön terveydentilaa arvioidessa. Puettavat terveydenseurantateknologialaitteet voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka eroavat toisistaan siten, että toisen ryhmän laitteet on implementoitu esimerkiksi vaatteisiin.

Ennakoiva terveydenhuolto hyötyy puettavista terveydenseurantateknologiasta, koska niiden avulla tietoa voidaan kerätä potilaiden arkielämästä sairaalaolosuhteiden ulkopuolella (Bonato, 2009). Laitteet tarjoavat hoitohenkilökunnalle arvokasta informaatiota vaikeasti havaittavien sairauksien ensioireista, mikä parantaa terveydenhuollon tehokkuutta (Oleshchuk & Fensli, 2011). Patelin ym. (2012) mukaan potilaiden langaton ja jatkuva terveydenseuranta koostuu kolmesta eri osasta, jotka ovat potilasdataa keräävät ja tallentavat laitteet, kommunikaatiolaitteet ja -ohjelmistot, jotka välittävät tiedon sekä datasta, joka analysoidaan, jotta siitä saatava tieto on relevanttia terveydenhuollon kannalta (Patel ym., 2012). Potilasdatan elektronisen keräämisen hyötyjä on monia ja niistä tärkeimpinä pidetään helpompaa pääsyä potilasdataan, kommunikaation parantamista hoitoketjun eri toimijoiden välillä, mikä saa aikaan hoitohenkilökunnan tehokkuuden lisääntymisen. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksena myös oikean diagnoosin tekeminen ja asiakastyytyväisyys parantuvat (Oleshchuk & Fensli, 2011).

### 4.3 Terveysteureantateknologiasta saatavan informaation käyttö taudintunnistuksessa

Terveysteureantateknologiaa käyttävät laitteet voivat mitata useita eri asioita potilaasta. Laitteet voivat keskittyä mittaamaan peruselintoimintoja, kuten esimerkiksi potilaan asentoa, ruumiinlämpötilaa, hengityksen tiheyttä tai EKG:tä eli sydänkäyrää, käyttäen erilaisia antureita tai laitteet voivat keskittyä yhteen tiettyyn seurattavaan elintoimintoon tai tietyn sairauden etenemisen seurantaan.

Terveysteureantateknologialaitteista saatavan informaation avulla voidaan myös mitata potilaan liikuntatottumuksia, unen laatua ja määrää, minkä perusteella voidaan arvioida potilaan elämäntapoja. Tämä mahdollistaa myös elämäntapasairauksien ennaltaehkäisemisen. Elämäntapasairauksien ehkäiseminen tietenkin vaatii potilaalta elämäntapojen muutosta, mutta laitteista saatavan informaation avulla potilaalle saadaan realistinen kuva terveydentilastaan.

Alalla on paljon tutkimusta, joista osa pyrkii luomaan geneerisen kehyksen, joka sopii suurimmalle osalle sairastapauksista ja niiden seurannasta, kuten esimerkiksi Chakraborty, Gupta & Ghosh (2013), kun taas osa tutkimuksista keskittyy johonkin tiettyyn sairauteen. Sydän- ja verisuonitautien tunnistamista käyttäen etäseurantaa on tutkinut Jin, Oresko, Huang & Cheng (2009), diabeteksen tunnistamista käyttäen etäseurantaa on tutkinut Wang ym. (2013), Parkinsonin taudin etäseurantaa on tutkinut Keränen ym. (2013) sekä Rastegari ym. (2017). Edellisten lisäksi Parkinsonin taudin eri vaiheiden tunnistamista on tutkittu potilaan askellusta tutkimalla. Parkinsonin taudin tutkimus on osoittanut, että varsinkin taudin keskivaiheen oireita voidaan havaita nykyistä aikaisemmin käyttämällä terveysteureantateknologiaa (Pervez Khan, Hussain & Kwak, 2009).

Myös sydänsairaudet ovat melko yleisiä ja yhtenä erittäin potentiaalisena mitattavana asiana pidetään sydänkäyrää eli EKG:tä. EKG:n jatkuvaa seurantaa pidetään merkittävänä parannuksena rytmihäiriöiden, sydämen vajaatoiminnan tai sydänkohtauksen havaitsemiselle (Fensli ym., 2010). Rytmihäiriöiden havaitseminen voi olla vaikeaa, jos EKG:ta mitataan lyhyellä aikavälillä, sillä rytmihäiriöt voivat esiintyä hyvinkin harvoin. Tämän vuoksi ympärivuorokautista ja reaaliaikaista EKG:n seurantaa pidetään merkittävänä parannuksena, jonka 5G:n tiedonsiirto tarjoaa terveysteureantateknologialle (Oleshchuk & Fensli, 2011). Terveysteureantalaiteista saatavalle informaatiolle on siis hyvin laajasti eri mahdollisuuksia.

Nykyisellään laitteet tallentavat informaation tai lähettävät sen käyttäjän henkilökohtaiseen tietovarastoon esimerkiksi pilveen (Thilakanathan ym., 2014). Laajemmassa käytössä laitteet kuitenkin voisivat lähettää datan yleiseen terveysteureantajärjestelmään hoitohenkilökunnan analysoitavaksi.

Mobiiliteknologian sekä terveysteureantateknologialaitteiden kehitys yhdistettynä viidennen sukupolven tiedonsiirtoverkkoon tarjoaa ennennäkemättömiä mahdollisuuksia terveyden ja hyvinvoinnin hallinnan

uudistamiselle. Kuten äsken todettiin, on terveydenseurantalaitteista saatavalle informaatiolle laajasti käyttökohteita taudintunnistuksessa. Jotta ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtyminen olisi mahdollista, täytyisi käytössä olla kattava terveydenseurantajärjestelmä, joka tuo terveydenseurantalaitteista saatava informaation hoitohenkilökunnan käyttöön.

#### 4.4 Uusi terveydenseurantajärjestelmä

Kuten aikaisemmin todettiin, kasvavat terveydenhuollon kustannukset ja maailman väestön ikääntyminen tarjoavat mahdollisuuden teknologian käytön lisäämiselle terveydenhuollossa. Tässä alaluvussa kuvataan uutta terveydenseurantajärjestelmää tutkimuksissa esiin tulleiden visioiden pohjalta niitä yhdistäen, jotta saadaan kattava kuva siitä, millainen uuden järjestelmän tulisi olla ja mitä kaikkia käyttötapauksia sen tulisi mahdollistaa.

Atkins ja Cullen (2013) ovat tunnistaneet suuntauksia informaatioteknologian käytölle terveydenhuollossa. Näistä tärkeimpinä ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtymisen kannalta voidaan nostaa terveystietojen keskittyneisyys, reaaliaikaista terveydenseuranta, saatavilla olevien tietojen määrän kasvua sekä potilaan ohjaaminen terveellisempään elämään (Atkins & Cullen, 2013). Batesin ja Bittonin (2010) mukaan nykyisillä elektronisilla potilastietojärjestelmällä ei ole kykyä tehdä hoidosta tarpeeksi sujuvaa eikä tietoja voida jakaa tarpeeksi sujuvasti hoitohenkilökunnan kesken, joten tarvitaan uusi kattava terveydenseurantajärjestelmä tukemaan tiedon keräystä, saatavuutta ja käyttöä (Bates & Bitton, 2010).

Terveydenseurantateknologioista saatava informaatio integroituna uuteen terveydenseurantajärjestelmään mahdollistaa pääsyn käyttäjän terveystietoihin, kun laitteista saatava informaatio voidaan siirtää langattomasti hoitohenkilökunnan käyttöön. Terveydenseurantalaitteiden avulla hoitohenkilökunta voi seurata potilasta riippumatta sijainnista tai ajasta. Terveydenseurantalaitteista kerättyjä laajempia ja kattavampia terveystietoja voidaan näin käsitellä yhä tehokkaammin ja samalla terveydentilan arvioinneista saadaan yhä tarkempia, jolloin oikean diagnoosin tekeminen helpottuu. Laajempien terveystietojen keräämistä tukee myös Atkinsin ja Cullenin (2013) tutkimus.

Reaaliaikaisen informaation avulla sairauksia voidaan myös ennakoida, jolloin hoitopäätös aika lyhentyy. Hoitopäätösaikojen lyhentyminen tarjoaa mahdollisuuden nopeammalle paranemiselle ja sairauden pysäyttämiseksi on tällöin paremmat mahdollisuudet. Edellä kuvatun kaltainen älykäs terveydenhuoltojärjestelmä tarjoaa Boulemtafes ja Badachen (2016) mukaan uusia tapoja diagnoosin tekemiseen, kroonisten sairauksien hoitoon sekä potilaiden terveydentilan seurantaan ja reaaliaikainen potilaasta saatava informaatio edistää potilaiden toipumista tai taudin etenemisen seurantaan. Varshney (2007) uskoo myös kattavampien potilastietojen keräämisen vähentävän hoitovirheiden määrää.

Useat sairaudet eivät vaadi sairaalaympäristöä, mutta vaativat jatkuvaa seurantaa, jonka älykäs terveydenhuoltojärjestelmä mahdollistaa. Esimerkiksi toipumisjaksot sairaalaoiloissa saattavat olla hyvinkin pitkiä ja niitä voitaisiin lyhentää (Patel ym., 2012). Etäseurannan avulla potilasta voidaan pitää jatkuvassa seurannassa, kuitenkin rajoittamatta potilaan normaalia elämää ja näin alentaa myös pitkäaikaisen hoidon kustannuksia. Myös Sneha & Varshney (2009) ovat tutkineet potilaiden reaaliaikaisen terveydenseurannan lyhentävän sairaalajaksoja, minkä lisäksi se myös tekisi avohoidosta toimivampaa ja tehokkaampaa kuin mitä se nykyisellään on.

## 5 Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

Terveydenhuollon kysynnän jatkuva kasvu, väestön ikääntymisen seurauksena asettaa niin yhteiskunnallisia kuin taloudellisiakin haasteita. Tieto- ja viestintäteknologiaa pidetään ensisijaisena ratkaisuna näihin haasteisiin vastaamiseksi. Tässä tutkielmassa perehdyttiin uuteen 5G-verkkoon, sille asetettuihin vaatimuksiin sekä keskeisimpiin verkon teknologisiin mahdollistajiin. Teknologisista mahdollistajista esiteltiin keskeisimpinä millimetriaallot, verkon soluarkkitehtuuri sekä massiivinen MIMO.

Toisessa luvussa todettiin viidennen sukupolven langattoman verkon tuovan käyttäjille huomattavasti nopeamman, luotettavamman ja kattavamman verkon, jos se pystytään toteuttamaan vaatimusten mukaisesti. Uuden verkon tuomien tiedonsiirtoon liittyvien parannusten odotetaan ratkaisevan ongelmia erityisesti terveydenhuollon alalla. Tutkielman kolmas luku keskittyi ennakoivaan terveydenhuoltoon ja sen tarpeen esittelyyn, jonka perusteella saatiin kiistattomia tuloksia siitä, ettei terveydenhuolto nykyisellään pysty vastaamaan tulevaisuuden asettamiin vaatimuksiin.

Neljännessä luvussa käytiin läpi tieto- ja viestintäteknologian käyttöä terveydenhuollossa sekä tehtiin kattava tarkastelu siitä, millaiseksi terveydenhuoltoa täytyy muuttaa. Tarkasteluun tuotiin myös mukaan puettava terveydenseurantateknologia ja osoitettiin siitä saatavan informaation käytön laajat mahdollisuudet tutkimusten perusteella ja osoitettiin hyödyt erityisesti taudintunnistuksessa. Tämän jälkeen kuvailtiin tulevaisuuden terveydenseurantajärjestelmää yhdistämällä tutkimuksien visioita.

Reaaliaikaisen terveydenseurannan hyödyt todettiin kiistattomiksi, mutta todettiin myös, että kuvatus kaltainen jatkuva ja kattava tarkkailu vaatii valtavien datamäärien keräämistä, tallentamista sekä suurta tiedonsiirtokapasiteettia, jotka ovat osoittautuneet nykyisen neljännen sukupolven verkon ongelmaksi. (Agiwal, Roy & Saxena, 2016; Lee, Han & Zhang, 2009). Terveydenseurantateknologian laaja-alainen käyttö tulee myös lisäämään yksittäiseen tukiasemaan yhteydessä olevien laitteiden määrää, kun terveydenhuollossa lisätään potilaiden etäseurantaa. Yksittäiset terveydenseurantalaitteet eivät nykyisellään vaadi suurta tiedonsiirtoa, mutta vaatimuksena onkin laitteiden määrän suuri kasvu sekä muun liikenteen lisääntyminen samanaikaisesti (Oleshchuk & Fensli, 2011). Uuden 5G-verkon kuitenkin uskotaan lisäävän huomattavasti tiedonsiirtokapasiteettia ja mahdollistavan datan siirtämisen lähes reaaliaikaisesti (Gohil, Modi & Patel, 2013) Terveydenseurantalaitteiden käytössä myös latenssin merkitys korostui merkittävänä tekijänä (Lema ym. 2017).

Tämän tutkielman kaltainen kirjallisuuskatsaus sopi hyvin tulevaisuuden terveydenhuollon korkeamman tason kuvaamiseen, sillä kirjallisuudessa tuli esille erilaisia näkemyksiä, joita yhdistämällä, saatiin kattava kuva siitä, millaista tulevaisuuden terveydenhuollon tulisi olla. Yksittäisiä osa-alueita tulee kuitenkin tutkia vielä tarkemmalla tasolla.



Tulosten ja terveydenhuollon tulevaisuudennäkymien pohjalta on perusteltua jatkaa ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtymisen mahdollistavien sovellutusten tutkimista ja voidaankin todeta, ettei verkon kehitys ole se, mikä suoranaisesti auttaa yhteiskuntamme ongelmia, vaan ne palvelut, joita verkon "päälle" rakennetaan. Erityisesti reaaliaikainen terveydenseuranta, puettavien terveydenseurantalaitteiden avulla, tarjoaa keinon vähentää kustannuksia sekä sairaalahoitoa ja näiden mahdollistamiseksi tarvitaan 5G:n kaltainen laadukas tiedonsiirtoverkko. Kokonaisuudessaan uuden paremman tiedonsiirtoverkon integroiminen nykyisiin ja uusiin terveydenhuollon rakenteisiin edistäisi tietoyhteiskunnan kehittymistä ja vastaisi paremmin jatkuvaan väestön kasvuun ja ikääntymiseen.

## LÄHTEET

- Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617-1655.
- Alpay, L., Toussaint, P., & Zwetsloot-Schonk, B. (2004, June). Supporting healthcare communication enabled by information and communication technology: Can HCI and related cognitive aspects help?. In *Proceedings of the Conference on Dutch Directions in HCI* (p. 12). ACM.
- Atkins, D., & Cullen, T. (2013). The future of health information technology: implications for research. *Medical care*, 51, S1-S3.
- Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C. K. & Zhang, J. C. (2014). What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1065-1082.
- Andriopoulou, F., Dagiuklas, T., & Orphanoudakis, T. (2017). Integrating IoT and fog computing for healthcare service delivery. In *Components and Services for IoT Platforms* (pp. 213-232). Springer, Cham.
- Bamiah, M., Brohi, S., & Chuprat, S. (2012, December). A study on significance of adopting cloud computing paradigm in healthcare sector. In *Cloud Computing Technologies, Applications and Management (ICCCTAM), 2012 International Conference on* (pp. 65-68). IEEE.
- Bates, D. W., & Bitton, A. (2010). The future of health information technology in the patient-centered medical home. *Health affairs*, 29(4), 614-621.
- Baykas, T., Sum, C. S., Lan, Z., Wang, J., Rahman, M. A., Harada, H., & Kato, S. (2011). IEEE 802.15. 3c: the first IEEE wireless standard for data rates over 1 Gb/s. *IEEE Communications Magazine*, 49(7).
- Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 74-80.
- Bonato, P. (2009, September). Clinical applications of wearable technology. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE* (pp. 6580-6583). IEEE.
- Boulemtafes, A., & Badache, N. (2016). Design of Wearable Health Monitoring Systems: An Overview of Techniques and Technologies. In *mHealth Ecosystems and Social Networks in Healthcare* (pp. 79-94). Springer, Cham.
- Chakraborty, C., Gupta, B., & Ghosh, S. K. (2013). A review on telemedicine-based WBAN framework for patient monitoring. *Telemedicine and e-Health*, 19(8), 619-626.

- Chandrashekar, S., Maeder, A., Sartori, C., Höhne, T., Vejlgard, B., & Chandramouli, D. (2016, May). 5G multi-RAT multi-connectivity architecture. In *Communications Workshops (ICC), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 180-186). IEEE.
- Chen, M., Zhang, Y., Li, Y., Mao, S., & Leung, V. C. (2015). EMC: Emotion-aware mobile cloud computing in 5G. *IEEE Network*, 29(2), 32-38.
- Chen, S., & Zhao, J. (2014). The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication. *IEEE communications magazine*, 52(5), 36-43.
- Cisco. (2017, 28. maaliskuuta). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper. Haettu 10.10.2018 osoitteesta <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>
- Cowie, M. R., Bax, J., Bruining, N., Cleland, J. G., Koehler, F., Malik, M., ... & Vardas, P. (2016). e-Health: a position statement of the European Society of Cardiology. *European heart journal*, 37(1), 63.
- Darshan, K. R., & Anandakumar, K. R. (2015, December). A comprehensive review on usage of Internet of Things (IoT) in healthcare system. In *Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT), 2015 International Conference on* (pp. 132-136). IEEE.
- Din, S., Paul, A., Ahmad, A. & Rho, S. (2016). Emerging Mobile Communication Technologies for Healthcare System in 5G Network. Teoksessa *2016 IEEE 14th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 14th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 2nd Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech)*, Auckland, New Zealand, August 8-12, 2016.
- Duarte, J. M., Cerqueira, E., & Villas, L. A. (2015, July). Indoor patient monitoring through Wi-Fi and mobile computing. In *New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2015 7th International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- El Hassani, S., & Haidine, A. (2015, October). Roadmap towards beyond 4G: Key technologies and challenges for 5G. In *Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), 2015 International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- Ezhilarasan, E. & Dinakaran, M. (2017). A Review on Mobile Technologies: 3G, 4G and 5G. Teoksessa *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)* pp.369-373, Tindivanam, India, February 3-4, 2017.
- Fensli, R., Dale, J. G., O'Reilly, P., O'Donoghue, J., Sammon, D., & Gundersen, T. (2010). Towards improved healthcare performance: examining technological

possibilities and patient satisfaction with wireless body area networks. *Journal of medical systems*, 34(4), 767-775.

- Fonkych, K., & Taylor, R. (2005). *The state and pattern of health information technology adoption*. Rand Corporation.
- Ge, X., Yang, J., Gharavi, H., & Sun, Y. (2017). Energy efficiency challenges of 5G small cell networks. *IEEE Communications Magazine*, 55(5), 184-191.
- Germanakos, P., Mourlas, C., & Samaras, G. (2005, July). A mobile agent approach for ubiquitous and personalized eHealth information systems. In *Proceedings of the Workshop on Personalization for e-Health'of the 10th International Conference on User Modeling (UM'05)*. Edinburgh (pp. 67-70).
- Gia, T. N., Jiang, M., Rahmani, A. M., Westerlund, T., Liljeberg, P., & Tenhunen, H. (2015, October). Fog computing in healthcare internet of things: A case study on ecg feature extraction. In *Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 356-363). IEEE.
- Gohil, A., Modi, H., & Patel, S. K. (2013, March). 5G technology of mobile communication: A survey. In *Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP), 2013 International Conference on* (pp. 288-292). IEEE.
- Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies. *IEEE access*, 3, 1206-1232.
- Hiremath, S., Yang, G., & Mankodiya, K. (2014, November). Wearable Internet of Things: Concept, architectural components and promises for person-centered healthcare. In *Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), 2014 EAI 4th International Conference on* (pp. 304-307). IEEE.
- Hossain, E., Rasti, M., Tabassum, H., & Abdelnasser, A. (2014). Evolution toward 5G multi-tier cellular wireless networks: An interference management perspective. *IEEE Wireless Communications*, 21(3), 118-127.
- Jin, Z., Oresko, J., Huang, S., & Cheng, A. C. (2009, April). HeartToGo: a personalized medicine technology for cardiovascular disease prevention and detection. In *Life Science Systems and Applications Workshop, 2009. LiSSA 2009. IEEE/NIH* (pp. 80-83). IEEE.
- Karrer, R. P., Matyasovszki, I., Botta, A., & Pescapé, A. (2006, September). Experimental evaluation and characterization of the magnets wireless backbone. In *Proceedings of the 1st international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation & characterization* (pp. 26-33). ACM.
- Keranen, N., Sarestoniemi, M., Partala, J., Hamalainen, M., Reponen, J., Seppanen, T., ... & Jamsa, T. (2013, July). IEEE802. 15.6-based multi-accelerometer WBAN system for monitoring Parkinson's disease. In *Engineering in Medicine and*

*Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 1656-1659). IEEE.

- Kulkarni, P., & Ozturk, Y. (2011). mPHASiS: Mobile patient healthcare and sensor information system. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(1), 402-417.
- Laplante, P. A., & Laplante, N. L. (2015, December). A Structured approach for describing healthcare applications for the Internet of Things. In *Internet of Things (WF-IoT), 2015 IEEE 2nd World Forum on* (pp. 621-625). IEEE.
- Larsson, E. G., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. L. (2014). Massive MIMO for next generation wireless systems. *IEEE communications magazine*, 52(2), 186-195.
- Lee, J., Han, J. & Zhang, J. (2009). MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009, 3.
- Lee, J. (2011, September). Smart health: Concepts and status of ubiquitous health with smartphone. In *ICT Convergence (ICTC), 2011 International Conference on* (pp. 388-389). IEEE.
- Lema, M. A., Laya, A., Mahmoodi, T., Cuevas, M., Sachs, J., Markendahl, J., & Dohler, M. (2017). Business case and technology analysis for 5g low latency applications. *IEEE Access*, 5, 5917-5935.
- Li, C., Zhang, J., & Letaief, K. B. (2014). Throughput and energy efficiency analysis of small cell networks with multi-antenna base stations. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 13(5), 2505-2517.
- Nkosi, M. T., & Mekuria, F. (2010, November). Cloud computing for enhanced mobile health applications. In *Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2010 IEEE Second International Conference on* (pp. 629-633). IEEE.
- Ntareme, H., Zennaro, M., & Pehrson, B. (2011, September). Delay tolerant network on smartphones: Applications for communication challenged areas. In *Proceedings of the 3rd Extreme Conference on Communication: The Amazon Expedition* (p. 14). ACM.
- Oh, H., Rizo, C., Enkin, M., & Jadad, A. (2005). What is eHealth (3): a systematic review of published definitions. *Journal of medical Internet research*, 7(1).
- Oleshchuk, V., & Fensli, R. (2011). Remote patient monitoring within a future 5G infrastructure. *Wireless Personal Communications*, 57(3), 431-439.
- Osseiran, A., Boccardi, F., Braun, V., Kusume, K., Marsch, P., Maternia, M., ... & Tullberg, H. (2014). Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. *IEEE Communications Magazine*, 52(5), 26-35.

- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1), 21.
- Patil, H. K., & Seshadri, R. (2014, June). Big data security and privacy issues in healthcare. In *Big Data (BigData Congress), 2014 IEEE International Congress on* (pp. 762-765). IEEE.
- Perera, C. (2012). The evolution of E-Health—mobile technology and mHealth. *Journal of Mobile Technology in Medicine*, 1(1), 1-2.
- Pervez Khan, M., Hussain, A., & Kwak, K. S. (2009). Medical applications of wireless body area networks. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 3(3), 185-93.
- Pi, Z., & Khan, F. (2011). An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems. *IEEE communications magazine*, 49(6).
- Podichetty, V. K., Booher, J., Whitfield, M., & Biscup, R. S. (2006). Assessment of internet use and effects among healthcare professionals: a cross sectional survey. *Postgraduate Medical Journal*, 82(966), 274-279.
- Popovski, P., Braun, V., Mayer, H., Fertil, P., Ren, Z., Gonzales-Serrano, D., Ström, E., Svensson, T., Taoka, H., Agyapong, P., Benjebbour, A., Zimmermann, G., Meinilä, J., Ylitalo, J., Jämsä, T., Kyösti, P., Dimou, K., Fallgren, M., Selén, Y., Timus, B., Tullberg, H., Schellmann, M., Wu, Y., Schubert, M., Kang, D. H., Markendahl, J., Beckman, C., Uusitalo, M., Yilmaz, O., Wijting, C., Li, Z., Marsch, P., Pawlak, K., Vihriala, J., Gouraud, A., Jeux, S., Boldi, M., Dell'aera, G. M., Melis, B., Schotten, H., Spapis, P., Kalokylos, A. & Chatzikokolakis, K. (2013, 29. huhtikuuta). Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless System. Haettu 11.11.2018 osoitteesta <https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/9/317669/080/deliverables/001-METISD11v1pdf.pdf>
- Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., ... & Gutierrez Jr, F. (2013). Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!. *IEEE access*, 1(1), 335-349.
- Rastegari, E., Marmelat, V., Najjar, L., Bastola, D., & Ali, H. H. (2017, November). Using gait parameters to recognize various stages of Parkinson's disease. In *Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), 2017 IEEE International Conference on* (pp. 1647-1651). IEEE.
- Rodriguez, J. (Ed.). (2015). *Fundamentals of 5G mobile networks*. John Wiley & Sons.
- Silva, B. M., Rodrigues, J. J., de la Torre Díez, I., López-Coronado, M., & Saleem, K. (2015). Mobile-health: A review of current state in 2015. *Journal of biomedical informatics*, 56, 265-272.
- Shi, Y., Ding, G., Wang, H., Roman, H. E., & Lu, S. (2015, May). The fog computing service for healthcare. In *Future Information and Communication Technologies*

for *Ubiquitous HealthCare (Ubi-HealthTech)*, 2015 2nd International Symposium on (pp. 1-5). IEEE.

- Sneha, S., & Varshney, U. (2009). Enabling ubiquitous patient monitoring: Model, decision protocols, opportunities and challenges. *Decision Support Systems*, 46(3), 606-619.
- Summit. (2015, 28. heinäkuuta). Proactive vs Reactive Healthcare: What's The Difference? Haettu 1.12.2018 osoitteesta <http://www.summitchirocare.com/proactive-vs-reactive-healthcare-whats-the-difference/>
- Thilakanathan, D., Chen, S., Nepal, S., Calvo, R., & Alem, L. (2014). A platform for secure monitoring and sharing of generic health data in the Cloud. *Future Generation Computer Systems*, 35, 102-113.
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. (2018, 28. toukokuuta). Terveydenhuollon menot ja rahoitus 2016. Haettu 15.12.2018 osoitteesta [http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136604/Tr20\\_18.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136604/Tr20_18.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. (2018, 21. toukokuuta). Perusterveydenhuollon ja suun terveydenhuollon avohoitokäynnit 2017. Haettu 15.12.2018 osoitteesta [http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136379/Tr14\\_18.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136379/Tr14_18.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Varshney, U. (2007). Pervasive healthcare and wireless health monitoring. *Mobile Networks and Applications*, 12(2-3), 113-127.
- Wang, C. X., Haider, F., Gao, X., You, X. H., Yang, Y., Yuan, D., ... & Hepsaydir, E. (2014). Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 122-130.
- Wang, J., Zhang, Z., Yang, X., Zuo, L., & Kim, J. U. (2013). A novel three-tier diabetes patients monitoring architecture in hospital environment. In *Proceedings, The 2nd international conference on computer and applications CCA* (pp. 168-174).
- Wang, Y., & Wu, H. (2006, March). Replication-Based efficient data delivery scheme (RED) for Delay/Fault-Tolerant mobile sensor network (DFT-MSN). In *Pervasive Computing and Communications Workshops, 2006. PerCom Workshops 2006. Fourth Annual IEEE International Conference on* (pp. 5-pp). IEEE.
- Weinstein, R. S., Bhattacharyya, A. K., Graham, A. R. & Davis, J. R. (1997). Telepathology: A ten-year progress report. *Human Pathology*, 28(1), 1-7.
- World Health Organization (WHO). (2013). *Management of Patient Information: Trends and Challenges in Member States: Based on the Findings of the Second Global Survey on E-Health*. World Health Organization.