

Topias Koski

IOT:N HYÖDYNTÄMINEN TERVEYDENHUOLLOSSA



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2019

TIIVISTELMÄ

Koski, Topias

IoT:n hyödyntäminen terveydenhuollossa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2019, 33 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatin tutkielma

Ohjaaja: Seppänen, Ville

Tämä kirjallisuuskatsauksena toteutettu tietojärjestelmätieteen kandidaatintutkielma tutkii IoT:n, eli esineiden internetin, hyödyntämistä terveydenhuollossa. Aihe on ajankohtainen ja lähdemateriaali onkin lähes kokonaisuudessaan 2010-luvulta. Tutkielma tarkastelee ensin IoT:n ja terveydenhuollon terminologiaa ja tämänhetkistä tilaa sekä terveydenhuollon tarvetta muutoksille, minkä jälkeen vastataan tutkimuskysymyksiin: mitä uusia mahdollisuuksia IoT tarjoaa terveydenhuollolle ja mitä haasteita liittyy IoT:n hyödyntämiseen terveydenhuollossa. IoT:n tarjoamia uusia mahdollisuuksia ovat tutkimuksen mukaan muun muassa uudet sovellukset ja palvelut, tehokkuuden lisääminen terveyden ja kroonisten sairauksien seurannassa sekä vanhusten hoidossa, terveydenhuollon kustannusten ja laitteiden häiriöaikojen vähentäminen, sekä tehokkaampi tilastojen koonti ja vaarallisten käyttäytymispoikkeamien esiasteiden tunnistaminen. IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämiseen liittyviä haasteita puolestaan ovat ongelmat liittyen muun muassa standardointiin, teknologian siirtymiseen, epäyhtenäisiin laitteisiin, uusien sairauksien tutkimisen tarpeeseen, riittävään liikkuvuuteen, vähentyneeseen kontaktiin potilaiden ja hoitohenkilökunnan välillä, käyttöönottoon sekä tärkeimpänä tietosuojaan ja yksityisyyteen. Tutkimuksessa päädyttiin johtopäätökseen, että aiheeseen liittyvät haasteet vaativat lisätutkimusta. Tämä tutkimus on hyödyllinen niille, jotka ovat kiinnostuneet IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämisen nykytilasta, sekä etenkin tulevaisuudesta, mahdollisuuksista ja haasteista.

Asiasanat: IoT, esineiden internet, terveydenhuolto

ABSTRACT

Koski, Topias

Utilizing IoT in health care

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2019, 33 pp.

Information systems science, Bachelor's Thesis

Supervisor: Seppänen, Ville

This bachelor's thesis fulfilled as a literature review researches the utilizing of IoT in health care. The topic is suitable for the moment and the source material is almost entirely from 2010s. The thesis first surveys the terminology and current state of IoT and health care, and the need for changes in health care sector, and then answers to the research questions: what new opportunities does IoT offer for health care and what challenges are involved in utilizing IoT in health care. The new opportunities offered by IoT include, among other things, new applications and services, increasing efficiency in the monitoring of individuals health and chronic diseases as well as in the care of the elderly, reducing the number of downtimes as well as the cost of health care, and more efficient compilation of statistics and identification of precursors of dangerous behavioral anomalies. The challenges associated with the use of IoT in healthcare include problems related to, among other things, standardization, technology transition, heterogeneous devices, the need to study new diseases, sufficient mobility, reduced contact between patients and nursing staff, implementation, and, above all, security and privacy issues. It was also concluded that the related challenges require further research. This research is useful for those interested in the current state of utilization of IoT in healthcare, and especially in the future, opportunities and challenges.

Keywords: IoT, health care, smart health

TAULUKOT

TAULUKKO 1 IoT:n luomia uusia mahdollisuuksia	14
TAULUKKO 2 IoT-pohjaisen terveydenhuollon haasteita	19

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
TAULUKOT	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TERVEYDENHUOLTO JA IOT	8
2.1 Terveydenhuolto.....	8
2.2 IoT	9
2.3 IoT:n mahdollistavia teknologioita	10
2.4 IoT:n rooli terveydenhuollossa	11
3 IOT TERVEYDENHUOLLOSSA: MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET..	13
3.1 IoT:n luomat uudet mahdollisuudet.....	13
3.1.1 IoT:n mahdollistamat palvelut terveydenhuollossa	16
3.1.2 IoT:n mahdollistamat sovellukset terveydenhuollossa	17
3.2 IoT:n hyödyntämiseen liittyvät haasteet	19
3.2.1 Haasteet liittyen turvallisuuteen ja yksityisyyteen	21
3.2.2 Muut haasteet	23
4 TULOKSET JA POHDINTAA.....	25
5 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSAIHEITA	28
LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

IoT (lyhenne sanoista Internet of Things; suom. esineiden internet tai teollinen internet) voidaan nähdä kiinteän internetin ja mobiili-internetin kehittämisen jälkeen internetin kehittämisen kolmantena aaltona. Kiinteä internet yhdisti toisiinsa 1990-luvulla miljardi käyttäjää ja mobiili-internet 2000-luvulla kaksi miljardia lisää. IoT ei kuitenkaan yhdistä toisiinsa ainoastaan käyttäjiä, vaan sillä on tutkimusten mukaan mahdollisuus yhdistää internetiin vuoteen 2020 mennessä 28 miljardia asiaa (Jankowski, Covello, Bellini, Ritchie & Costa, 2014). Terveysthuolto on yksi IoT:n houkuttelevimmista hyödyntämisalueista (Pang, 2013; Islam, Kwak, Kabir, Hossain & Kwak, 2015). Mistä tämä sitten johtuu? Ainakin on yleisesti tunnustettua, että väestön ikääntymisen ja hoitohenkilökunnan vajauksen yhteisvaikutukset voivat loppujen lopuksi johtaa nykyisten terveydenhuoltojärjestelmien romahdukseen (Mann, 2004; Redondi, Chirico, Borsani, Cesana & Tagliasacchi, 2013). Voisiko IoT vastata väestön ikääntymisen ja hoitohenkilökunnan vajauksen luomiin tarpeisiin? Redondi ym. (2013) esittävät terveydenhuollon järjestelmien ja infrastruktuurin parantamisen olevan yksi nyky-yhteiskunnan haastavimmista ja pakottavimmista tavoitteista. IoT on varsin uusi konsepti, jonka tutkimuksessa on edelleen aukkoja. Jatkotutkimuksille liittyen etenkin IoT:n haasteisiin on osoitettu tarvetta (Sundmaeker, Guillemin, Friess & Woelfflé, 2010; Miorandi, Sicari, De Pellegrini & Chlamtac, 2012; Islam ym., 2015). Tutkimus itsessään on suuri IoT:n konseptiin liittyvä haaste. Tämä tietojärjestelmätieteen kandidaatintutkielma käsittelee IoT:n hyödyntämistä terveydenhuollossa mahdollisuuksien, haasteiden ja yleisten näkömien osalta.

IoT:n hyödyntäminen terveydenhuollossa on ajankohtainen tutkimuksen aihe, jota on tutkittu 2010-luvulla suhteellisen paljon ja kiihtyvällä tahdilla. Et-simällä esimerkiksi IEEE Xplore -tietokannasta tutkimuksia yhdistämällä hakusanat "IoT" ja "health care" löytyvät ensimmäiset kolme tutkimusta vuodelta 2010. Vielä vuodelta 2013 tutkimuksia löytyy vain viisi kappaletta, mutta seuraavalta vuodelta jo 45, ja vuodelta 2017 peräti 321 kappaletta. Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on koota yhteen laajan lähdeaineiston tutkimustuloksia.

Tutkielman lähdeaineisto koostuu 54 lähteestä, joista lähes kaikki ovat tieteellisiä vertaisarvioituja artikkeleita. Lähdeaineistoa etsittiin Google Scholar -, IEEE Xplore - ja Scopus -tietokannoista käyttäen suurimmaksi osaksi hakusanojen "IoT", "health care" ja "smart health" yhdistelmiä. Lähdeaineiston etsimisessä ja sen luotettavuuden arvioimisessa on huomioitu viittausten määrä, julkaisuvuosi ja julkaisukanava. Aluksi tutustuttiin laajempaan määrään tutkimuksia, jotta saatiin yleiskuva käsiteltävästä aiheesta, mikä puolestaan helpotti tutkimuskysymysten muodostamista. Tässä tutkielmassa lähteinä käytettäviä tutkimuksia valikoitaessa painotettiin viittausten määrää sekä paikoitellen myös julkaisuvuotta, jotta tutkielma ei sisällä vanhentunutta tietoa. Myös hyviksi havaittujen tutkimusten lähdeluetteloita on hyödynnetty materiaalinkeuruussa. Suurimmaksi osaksi lähteiksi on valittu 2010-luvun puolivälissä julkaistuja arvonsa jo osoittaneita tutkimuksia, mutta myös sitä vanhempia ja uudempiä tutkimuksia on otettu tietoisesti mukaan paremman kokonaiskuvan aikaansaamiseksi.

Kuten edellä mainittiin, tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Tutkielman rakenne koostuu tiivistelmästä, johdannosta, analyysistä, synteesistä ja yhteenvedosta. Johdannon jälkeen, toisessa luvussa, määritellään tutkielman kannalta oleellinen terminologia ja kuvataan lyhyesti terveydenhuollon nykytilaa, tulevaisuuden tarpeita sekä IoT:n roolia terveydenhuollossa. Kolmannessa luvussa paneudutaan IoT:n luomiin mahdollisuuksiin ja muodostetaan lähdeaineiston avulla kuva siitä, kuinka IoT:a voitaisiin teoriassa hyödyntää terveydenhuollossa. Tämän jälkeen kuvataan IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämiseen liittyviä haasteita ja riskejä. Kolmas luku vastaa laajasti tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä uusia mahdollisuuksia IoT tarjoaa terveydenhuollolle?
2. Mitä haasteita liittyy IoT:n hyödyntämiseen terveydenhuollossa?

Neljännessä luvussa, Tulokset ja pohdintaa, vastataan tiivistetysti tutkimuskysymyksiin ja pohditaan tulosten merkitystä. Tämä luku tiivistää myös tutkielman synteesin. Yhteenvedo ja jatkotutkimusaiheita -luvussa kerrataan tutkimuksen lähtökohdat, vaiheet ja tulokset, sekä esitetään perustellusti aiheita jatkotutkimuksille.

2 TERVEYDENHUOLTO JA IOT

Tässä luvussa määritellään tutkielman kannalta oleellinen terminologia ja kuvataan terveydenhuollon nykytilaa ja tulevaisuuden tarpeita. Luvussa 2.1 määritellään terveydenhuolto, jotta tiedetään, missä ympäristössä IoT:n hyödyntämistä tutkitaan. Selvitetään myös ero terveydenhuollon ja lääketieteen välillä. Luvussa 2.2 puolestaan määritellään IoT-käsite ja kerrotaan lyhyesti IoT:n tyypillisistä hyödyntämisalueista. Tämän jälkeen, luvussa 2.3, määritellään muita teknologioita ja käsitteitä, jotka auttavat ymmärtämään IoT:n toimintaperiaatteen. Luvussa 2.4 kuvataan terveydenhuollon tämän päivän tilaa ja tulevaisuuden tarpeita sekä IoT:n roolia tulevaisuuden terveydenhuollossa. IoT-käsitteestä on olemassa suomenkielinen vastine, esineiden internet, mutta tässä tutkielmassa käytetään vakiintuneempaa englanninkielistä termiä.

2.1 Terveydenhuolto

Oxfordin sanakirja (Oxford English Dictionary, 2019) määrittelee terveydenhuollon (engl. health care) seuraavasti:

”organisoitu lääketieteellisen hoidon tarjoaminen yksilöille tai yhteisölle” (Oxford English Dictionary, 2019a).

Maailman terveysjärjestö WHO:n mukaan hyvä terveydenhuoltojärjestelmä tarjoaa laadukkaita palveluja kaikille ihmisille silloin, kun he niitä tarvitsevat. Terveydenhuoltopalvelujen tarkka rakenne vaihtelee valtioiden välillä, mutta kaikissa tapauksissa vaaditaan vakaa rahoitusjärjestelmä, koulutettu ja riittävän hyvin palkattu työvoima, luotettavat tiedot, joihin päätökset ja menettelytavat voidaan perustaa sekä hyvin kunnossapidettävät laitteistot ja logistiikka laadukkaiden lääkkeiden ja teknologioiden tuottamiseksi (WHO, 2019). Lääketiede puolestaan määritellään Oxfordin sanakirjassa seuraavasti:

”diagnoosin, hoidon ja taudin ehkäisemisen tiede tai käytäntö” (Oxford English Dictionary, 2019b).

Tutkielman lähdeaineisto tutkii monilta osin IoT:n hyödyntämistä lääketieteessä. Tämä tutkielma ei kuitenkaan huomioi kaikkia lääketieteen osa-alueita.

2.2 IoT

IoT:lle ei ole yhtä vakiintunutta määritelmää. Morganin (2014) mukaan IoT:n ajatuksena on, että käytännössä mikä tahansa laite, jossa on virtakytkin, voidaan yhdistää internetiin. Jankowski ym. (2014) toteavat, että IoT on ilmiö, joka yhdistää internetverkkoon asioita jokapäiväisistä kuluttajatuotteista teollisuuslaitteisiin, ja mahdollistaa täten informaation keräämisen ja edellä mainittujen laitteiden hallinnan ohjelmistojen välityksellä tehokkuuden lisäämiseksi, uusien palveluiden mahdollistamiseksi sekä muiden terveyteen, turvallisuuteen tai ympäristöön liittyvien etujen saavuttamiseksi. Islam ym. (2015) puolestaan toteavat, että IoT mahdollistaa lähes minkä tahansa laitteen, asian, henkilön tai palvelun yhdistämisen internetiin sekä myös edellä mainittujen yhdistämisen toisiinsa. Täten IoT:n hyödyntäminen on mahdollista kaikilla aloilla. Havainnollistavina esimerkkeinä osa-alueista, joille IoT tarjoaa hyödyllisiä ratkaisuja, mainittakoon älykkäät kaupungit, liikenneuhkien ehkäiseminen, jätehuolto, logistiikka, vähittäismyynti sekä turvallisuus-, terveydenhuolto- ja ensiapupalvelut (Islam ym., 2015). Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari ja Ayyash (2015) esittävät tutkimuksessaan, että koko ajan kasvava määrä fyysisiä esineitä kytketään internetiin ennennäkemättömällä nopeudella realisoiden IoT:n ajatuksen. Esimerkkeinä mainitaan termostaatit sekä LVI:n valvonta- ja hallintajärjestelmät, jotka mahdollistavat älykotien (engl. smart homes) olemassaolon ja kehittämisen. Muita aloja ja ympäristöjä, joissa IoT:lla voi olla merkittävä rooli ja joissa se voi parantaa elämänlaatua, ovat jo edellä mainittujen lisäksi teollinen automaatio sekä luonnon ja ihmisen aiheuttamiin katastrofeihin reagointi tilanteissa, jotka voivat ihmisellä tuottaa ongelmia päätöksenteon suhteen (Al-Fuqaha ym., 2015).

Tutkimusten mukaan jokaista ihmistä kohti oli vuonna 2013 kaksi internetiin yhteydessä olevaa laitetta, ja vuonna 2025 tuo luku tulee olemaan kuusi (Skiba, 2013; Laplante & Laplante, 2016). Jankowskin ym. (2014) mukaan IoT voidaan nähdä internetin kehittämisen kolmantena aaltona. 1990-luvun kiinteän internetin aalto yhdisti miljardi käyttäjää toisiinsa ja 2000-luvun mobiili-internetin aalto kaksi miljardia lisää. IoT voi yhdistää vuoteen 2020 mennessä lähes kymmenkertaisen määrän, 28 miljardia asiaa toisiinsa (Jankowski ym., 2014). Huomioitavaa on, että kolmannessa aallossa ei puhuta käyttäjistä, vaan asioista.

2.3 IoT:n mahdollistavia teknologioita

Al-Fuqaha ym. (2015) toteavat tutkimuksessaan, että IoT:n käytön mahdollistavat älykkäiden sensorien, RFID:n (radiotaajuinen etätunnistus, engl. radio frequency identification), kommunikaatioteknologioiden ja internetprotokollien kehitys. Seuraavissa kappaleissa kuvataan näitä IoT:n toimintaan oleellisesti liittyviä käsitteitä. Näiden käsitteiden ymmärtäminen auttaa ymmärtämään IoT:n periaatteita tänä päivänä. On kuitenkin mahdollista, että jokin kehittyneempi teknologia korvaa tulevaisuuden IoT-ympäristössä jonkin näistä teknologioista. Ensimmäisenä kuvataan sensorit, jotka ovat olennaisessa roolissa lähes kaikissa IoT:n sovelluksissa ja palveluissa.

Potilaihin kiinnitettävät sensorit mittaavat elintoimintoja ja muuta biometristä informaatiota, ja mitatun informaation avulla ongelmat voidaan diagnosoida nopeammin, hoidon laatua voidaan parantaa ja resursseja voidaan käyttää tehokkaammin (Laplante & Laplante, 2016). Amendola, Lodato, Manzari, Occhiuzzi ja Marrocco (2014) toteavat tutkimuksessaan, että perinteisen lääketieteen kehitystä kohti osallistavaa lääketiedettä voidaan edistää IoT:lla, ja siihen olennaisesti kuuluvat ympäristössä olevat, puettavat ja implantoidut sensorit, jotka levittäytyvät kotitalouksiin tarkoituksenaan valvoa käyttäjien terveyttä ja aktivoida tarvittaessa etäavustus. Samassa tutkimuksessa todetaan, että IoT ja yhä halvemmat sensorit voivat luoda henkilökohtaisia Smart-Health -järjestelmiä, jotka ylläpitävät uusia yhteyksiä ihmisen luonnollisen elinympäristön, hänen kehonsa ja internetin välillä. Tällaisen järjestelmän tarkoituksena on tuottaa ja hallita osallistavaa lääketieteellistä tietoa (Amendola ym., 2014). Joissain tapauksissa perusedellytys kuitenkin on, että älykkäät sensorit toimivat välittömässä yhteistyössä ilman ihmisen osallistumista, ja täten mahdollistavat uusien sovelluksien kehittämisen (Al-Fuqaha ym., 2015).

Perera, Zaslavsky, Christen ja Georgakopoulos (2014) toteavat tutkimuksessaan markkinatutkimuksen osoittaneen merkittävää kasvua sensorien käyttöönotossa viimeisen kymmenen vuoden (julkaisuhetkellä 2004-2014) aikana ja ennustaneen merkittävää kasvua tulevaisuudessa. Nämä sensorit tuottavat jatkuvasti valtavia määriä dataa. Jotta datasta saataisiin lisäarvoa, sitä on ymmärrettävä ja osattava käsitellä (Perera ym., 2014). Chiuchisan, Costin ja Geman (2014) esittävät, että vuonna 2020 Euroopassa ollaan paljon lähempänä älykkäiden ympäristöjen implementointia. Tulevien kymmenen vuoden aikana (julkaisuhetkellä 2014-2024) esitetään toimitettavan jopa biljoonia sensoreita, jotka mittaavat lähes kaikkea: muiden muassa energiankäyttöä, terveysolosuhteita, ilmansaasteita, kiihtyvyyttä ja sijaintia. IoT-teknologioiden soveltaminen ympäristöllisiin ja terveydenhuollon sovelluksiin onkin tutkimuksen mukaan yksi rohkaisevimmista markkinasegmenteistä (Chiuchisan ym., 2014).

RFID on Wantin (2006) mukaan viivakoodiin verrattava teknologia, joka kuitenkin mahdollistaa identifioinnin ilman näköyhteyttä. RFID-teknologia tukee suurempaa määrää yksilöllisiä tunnisteita kuin viivakooditeknologia ja voi rekisteröidä lisätietoja kuten valmistajan ja tuotetyypin sekä voi myös mitata

ympäristötekijöitä kuten lämpötilaa. RFID-järjestelmät voivat ilman ihmisen apua havaita monia eri tunnisteita, jotka sijaitsevat samassa tilassa (Want, 2006). Al-Fuqahan ym. (2015) mukaan RFID-tunnisteet voivat olla aktiivisia, passiivisia, tai puolipassiivisia tai -aktiivisia. Aktiiviset tunnisteet toimivat akulla, kun taas passiiviset toimivat ilman akkua; puolipassiiviset tai -aktiiviset käyttävät virtaa tarvittaessa (Al-Fuqaha ym. 2015). Amendola ym. (2014) kuvaavat passiivisen RFID-järjestelmän koostuvan digitaalisesta laitteesta, jota kutsutaan tunnisteeksi (engl. tag) ja joka sisältää antennin ja IC-sirun yksilöllisellä tunnustuskoodilla, sekä radioskannerista, jota kutsutaan lukijaksi (engl. reader). Vaikka RFID-teknologiaa sovelletaan toistaiseksi eniten logistiikan alalla, viimeaikaiset tutkimukset tutkivat muita polkuja, joilla on yhteinen tavoite määrittää fyysistä informaatiota tunnisteista ja lähiympäristöistä tunnisteiden vastaanottamien sähkömagneettisten signaalien käsittelyllä. RFID-järjestelmät voisivat siten, yksinkertaisella ja tehokkaalla tavalla, mahdollistaa viimeiset metrit IoT:n täytäntöönpanossa koskien henkilön ja tämän ympäristön välistä kaiken kattavaa vuorovaikutusta. Saman tutkimuksen mukaan RFID-järjestelmät voivat olla akuttomien tunnisteiden johdosta keskeinen mahdollistava osatekijä IoT:a hyödyntävien terveydenhuoltojärjestelmien luonnissa. Lisäksi niiden alhaiset kustannukset sopivat yhteen yleisen jakelun ja kertakäyttöisten sovellusten kanssa (Amendola ym., 2014).

Al-Fuqahan ym. (2015) mukaan IoT:n kommunikaatioteknologiat yhdistävät heterogeeniset objektit toisiinsa erityisten älykkäiden palvelujen tuottamiseksi. Tyypillisesti IoT:n nivelien tulisi toimia pienellä teholla häviöllisten ja meluisien kommunikaatioyhteyksien läsnä ollessa. Esimerkkejä IoT-alalla hyödynnettävistä teknologioista ovat WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4, Z-Wave ja LTE-Advanced, sekä erityisemmät kuten edellä mainittu RFID, NFC (near field communication) ja UWB (ultra-wide bandwidth). Jotta kommunikaatio epäyhtenäisten asioiden (elävät asiat, ajoneuvot, puhelimet, laitteet) välillä toimisi, tarvitaan kuitenkin myös uusia teknologioita (Al-Fuqaha ym., 2015).

2.4 IoT:n rooli terveydenhuollossa

Vuonna 2016 11% maailman väestöstä oli yli 60-vuotiaita, ja vuonna 2050 tuon osuuden on ennustettu olevan 22% (Kanasi, Ayilavarapu & Jones, 2016). Euroopassa yli 60-vuotiaita on vielä keskimääräistä enemmän. Erään tutkimuksen mukaan eurooppalaisista peräti neljäsosa on yli 60-vuotiaita jo vuonna 2020 (Kor ym., 2016). Redondi ym. (2013) toteavat, että terveydenhuollon järjestelmien ja infrastruktuurin parantaminen on yksi nyky-yhteiskunnan haastavimmista ja pakottavimmista tavoitteista. Itse asiassa on yleisesti tunnustettua, että väestön ikääntymisen ja hoitohenkilökunnan vajauksen yhteisvaikutukset voivat loppujen lopuksi johtaa nykyisten terveydenhuollon järjestelmien romahdukseen (Mann, 2004; Redondi ym., 2013). Catarinuccin ym. (2015) mukaan, paitsi terveydenhuollon infrastruktuurien, myös biolääketieteellisten järjestelmien tehokkuuden parantaminen on yksi nykyisen yhteiskunnan haastavim-

mista tavoitteista. Tarve tarjota potilaille laadukasta hoitoa ja samalla vähentää terveydenhuollon kustannuksia ja ryhtyä toimiin hoitohenkilökunnan vajauksen suhteen on ensisijainen (Catarinucci ym., 2015). Redondin ym. (2013) mukaan potilaan seurannan, hoidon, käsittelyn ja valvonnan merkittävin haittapuoli tämän hetkisissä malleissa on, että hoitohenkilökunta suorittaa vaaditut toimenpiteet usein manuaalisesti, mikä muodostaa tehokkuuden pullonkaulan. Toisin sanoen tämä estää järjestelmän toimimisen täydellä kapasiteetilla. Lääketiede ja terveydenhuolto muodostavatkin yhden IoT:n houkuttelevimmista hyödyntämisalueista (Pang, 2013; Islam ym., 2015).

Elinajanodotteen kasvu, ja siitä seuraava progressiivinen ikääntyminen, sekä kroonisten sairauksien yleisyys herättävät huolta hoidon tarjoamisen roolista ja toimintatavoista ihmisarvoisen elämänlaadun takaamiseksi siten, että tottumuksissa ja ympäristössä ei tapahdu traumaattisia muutoksia (Amendola ym., 2014). Tutkijat ympäri maailmaa ovat alkaneet tutkia erilaisia teknologisia ratkaisuja terveydenhuollon parantamiseksi siten, että olemassa olevia palveluita täydennetään IoT:n potentiaalin mobilisoimisella (Islam ym., 2015). IoT:a ei voida julistaa terveydenhuollon pelastajaksi, mutta ainakin IoT-teknologialla on potentiaalia tehostaa huomattavasti terveydenhuollon nykyistä infrastruktuuria.

3 IOT TERVEYDENHUOLLOSSA: MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET

Tämä luku alalukuineen vastaa tutkimuskysymyksiin: miten IoT:a voidaan hyödyntää terveydenhuollossa ja mitä haasteita sen hyödyntämiseen liittyy. Luvussa 3.1 kuvataan IoT:n luomia uusia terveydenhuollon mahdollisuuksia, palveluja ja sovelluksia. Taulukko 1 antaa kattavan kuvan IoT:n luomista mahdollisuuksista. Tämän jälkeen luvussa 3.1.1 esitellään tarkemmin IoT:n mahdollistamia palveluja ja luvussa 3.1.2 IoT:n mahdollistamia sovelluksia. Sekä palveluista että sovelluksista kuvataan tarkemmin kolmea havainnollistavaa esimerkkiä. Lisää havainnollistavia esimerkkejä voi löytää annetuista lähteistä. Luvussa 3.2 kuvataan IoT:n käytöstä aiheutuvia haasteita ja ongelmia terveydenhuollon alalla sekä myös IoT:n käyttöönottoon liittyviä haasteita. Taulukkoon 2 on koottu oleellimmat IoT-pohjaisen terveydenhuollon haasteet. Luvussa 3.2.1 kuvataan tietosuojaan liittyviä haasteita ja luvussa 3.2.2 muita haasteita.

3.1 IoT:n luomat uudet mahdollisuudet

IoT mahdollistaa monenlaisten terveydenhuollollisten sovellusten tehostamisen sekä täysin uusien palvelujen ja sovellusten luonnin. Shakeel, Baskar, Dhulipala, Mishra ja Jaber (2018) tuovat tutkimuksessaan esille, että IoT auttaa valvomaan ihmisten terveyttä ja mahdollistaa kiireelliset ilmoitukset esimerkiksi sykkeen tai verenpaineen muutoksissa. Hassanalieragh ym. (2015) esittävät, että IoT:n keräämä valtava määrä dataa on oikein analysoituna ja lääkäreille esitettynä aarrearkku, jolla on potentiaalia huomattaviin parannuksiin ja kustannusten vähentämiseen terveydenhuollossa.

Taulukossa 1 on lueteltu materiaalista esiin nousseita IoT:n luomia uusia mahdollisuuksia ja selitetty niitä lyhyesti. Mahdollisuudet ovat järjestyksessä käytettyjen lähteiden mukaan. Osa mahdollisuuksista liittyy jo olemassa olevien sovellusten tai palvelujen tehostamiseen; esimerkkinä tästä on tunnistau-

tuminen. Jotkin mahdollisuudet taas ovat täysin uudenlaisia sovelluksia tai palveluja; esimerkkinä tästä on automatisoitu datan kerääminen. Taulukossa 1 kuvataan uusia mahdollisuuksia varsin abstraktilla tasolla, kun taas alaluvuissa 3.1.1 ja 3.1.2 kuvataan uusia palveluja ja sovelluksia konkreettisten esimerkkien avulla.

TAULUKKO 1 IoT:n luomia uusia mahdollisuuksia

Mahdollisuus	Selitys (lähteet)
Terveyden etäseuranta	Uudenlaiset teknologiat mahdollistavat tehostamisen terveyden etäseurannassa (Islam ym., 2015).
Kunto-ohjelmat	Voidaan tehostaa suunnittelua (Islam ym., 2015).
Kroonisten sairauksien seuranta	Voidaan tehostaa, häiriöaikojen vähenemisellä merkittävä rooli (Islam ym., 2015).
Vanhustenhoito	Voidaan tehostaa, pitkälti etäseurannan ja ympäristöön sijoitettavan teknologian avulla (Islam ym., 2015).
Kustannukset	IoT:n odotetaan pienentävän terveydenhuollon kustannuksia (Islam ym., 2015).
Elämänlaatu	Voidaan parantaa (Islam ym., 2015).
Käyttäjäkokemus	Voidaan rikastuttaa (Islam ym., 2015). IoT-laitteissa tekoälyllä on suuri kapasiteetti (Metcalf, Milliard, Gomez & Schwartz, 2016).
Uudet palvelut (tarkemmin luvussa 3.1.1)	Ambient assisted living (AAL), m-IoT, adverse drug reaction (ADR), community healthcare (CH), children health information (CHI), wearable device access (WDA), semantic medical access (SMA), indirect emergency healthcare (IEH), embedded gateway configuration (EGC) ja embedded context prediction (ECP) (Islam ym., 2015).
Uudet sovellukset (tarkemmin luvussa 3.1.2)	Verensokerin tason havainnointi, sydänpainon seuranta, verenpaineen seuranta, ruumiinlämmön seuranta, happipitoisuuden seuranta, kuntoutusjärjestelmä, lääkityksen hallinta, pyörätuolin hallinta, välittömät terveydenhuollon ratkaisut ja terveydenhuollon ratkaisut älypuhelimilla (Islam ym., 2015).
Häiriöaikojen väheneminen	Terveyttä voidaan seurata vuorokauden ympäri (Islam ym., 2015).
Mahdollinen täydennys	IoT-laitteet voivat tunnistaa optimaaliset ajat laitteiden mahdollisesti tarvitsemien tarvikkeiden täydentämiseen, mikä edesauttaa niiden tasaista ja jatkuvaa käyttöä (Islam ym., 2015).
Sijainnin seuranta	Esineiden ja henkilöiden (hoitohenkilökunnan tai potilaiden) sijaintia voidaan seurata reaaliaikaisesti ja täten esimerkiksi estää pääsy kielletylle tai vaaralliselle alueelle (Atzori, Iera & Morabito, 2010).
Tunnistautuminen	Tehokkaampi tunnistautuminen auttaa välttämään entistä tehokkaammin esimerkiksi väärän annostuksen (Atzori ym., 2010).
Automatisoitu datan kerääminen	Pyrkimyksenä on vähentää erinäisten lomakkeiden ja prosessien käsittelyaikoja (Atzori ym., 2010).
Makroskooppinen käyttäytyminen	Käytettävissä olevan datan määrän kasvu ja sensorien asettaminen mahdollistavat makroskooppisen käyttäytymisen valvonnan (Amendola ym., 2014).

Tilastojen koonti	Voidaan tehostaa sensorien keräämän datan avulla (Amendola ym., 2014).
Käyttäytymispoikkeamien esiasteiden tunnistaminen	Voidaan tehostaa sensorien keräämän datan avulla (Amendola ym., 2014).
Hälytykset ja etätoiminnot	Voidaan mahdollistaa nopeammat hälytysten aktivoinnit ja etätoimintoihin kehottamiset (Amendola ym., 2014).
Viestintäominaisuudet	Erilaisia esineitä ja ympäristöjä voidaan kehittää viestintäominaisuuksilla. Esimerkiksi lääkepurkki voi hohtaa, kun on aika ottaa lääke (Storni, 2010).

IoT siis mahdollistaa monenlaisten terveydenhuollon sovellusten tehostamisen, joista Islam ym. (2015) mainitsevat esimerkkeinä terveyden seurannan etänä, kunto-ohjelmat, kroonisten sairauksien seurannan ja vanhusten hoidon. IoT:n käyttö ja terveyden etäseuranta vaativat etänä annettujen hoito-ohjeiden noudattamista. Terveyden seurannassa tärkeässä osassa ovat erilaiset terveydenhuollon älylaitteet, sensorit sekä diagnostiikka- ja kuvantamislaitteet. IoT:n odotetaan pienentävän terveydenhuollon kustannuksia, parantavan elämänlaatua ja rikastuttavan käyttäjäkokemusta. Terveydenhuoltopalvelujen tarjoajien näkökulmasta IoT mahdollistaa laitteiden häiriöaikojen vähenemisen; toisin sanoen seuranta voi tapahtua vuorokauden ympäri. Lisäksi IoT-laitteet voivat tunnistaa optimaaliset ajat laitteiden tarvitsemien mahdollisten tarvikkeiden täydentämiseen, mikä edesauttaa niiden tasaista ja jatkuvaa käyttöä (Islam ym., 2015). Atzorin ym. (2010) mukaan IoT:n luomia hyötyjä terveydenhuollon alalla ovat sijainnin seuranta (engl. tracking), tehokkaampi tunnistautuminen ja automatisoitu datan kerääminen.

Amendolan ym. (2014) tutkimuksen mukaan asettamalla sensoreita kodin sisällä vaatteisiin ja henkilökohtaisiin esineisiin voidaan valvoa - tavalla, joka säilyttää yksityisyyden - henkilön makroskooppista käyttäytymistä, koota tilastoja, tunnistaa vaarallisten käyttäytymispoikkeamien esiasteita sekä aktivoida hälytys tai kehottaa etätoimintoihin asianmukaisilla tavoilla. Tutkimuksessa myös todetaan, että IoT ja yhä halvemmat sensorit voivat luoda henkilökohtaisia Smart-Health -järjestelmiä, jotka ylläpitävät uusia yhteyksiä ihmisen luonnollisen elinympäristön, hänen kehonsa ja internetin välillä. Tällaisen järjestelmän tarkoituksena on tuottaa ja hallita osallistavaa lääketieteellistä tietoa (Amendola ym., 2014). Al-Fuqahan ym. (2015) mukaan joissain tapauksissa edellytyksenä kuitenkin on, että älykkäät sensorit toimivat välittömässä yhteistyössä ilman ihmisen osallistumista, ja täten mahdollistavat uusien sovellusten kehittämisen (Al-Fuqaha ym., 2015).

Seuraavissa alaluvuissa kuvataan lyhyesti IoT:n mahdollistamia palveluita ja sovelluksia terveydenhuollossa. Kahtiajako palveluihin ja sovelluksiin on sama kuin Islam ym. (2015) tutkimuksessa. Kumpikin alaluku sisältää myös kolme konkreettista esimerkkiä. AAL (lyhenne sanoista ambient assisted living, vapaasti suomennettuna ympäröivä avustettu eläminen), ADR-palvelu (lyhenne sanoista adverse drug reaction, vapaasti suomennettuna lääkkeen haittavaikutus) ja epäsuora hätäapu (engl. indirect emergency healthcare; IEH) ovat esimerkkejä IoT:n mahdollistamista terveydenhuollon palveluista. Verensoke-

rin tason havainnointi (engl. glucose level sensing), älykäs kuntoutusjärjestelmä (engl. smart rehabilitation system) ja liikkuva terveydenhuollon järjestelmä pyörätuolien käyttäjille puolestaan ovat esimerkkejä IoT:n mahdollistamista terveydenhuollon sovelluksista. Lisää esimerkkejä IoT:n mahdollistamista palveluista ja sovelluksista voi lukea esimerkiksi Islamin ym. (2015) tai Pawarin ja Ghumbren (2016) tutkimuksista.

3.1.1 IoT:n mahdollistamat palvelut terveydenhuollossa

Islamin ym. (2015) mukaan IoT:n odotetaan mahdollistavan useita erilaisia terveydenhuoltopalveluja, jotka tarjoavat erilaisia terveydenhuollon ratkaisuja. Terveydenhuollon alalla ei ole standardoitua määritelmää IoT-palveluille. Saattaa myös olla tapauksia, joissa palvelua ei voida objektiivisesti erottaa tietystä ratkaisusta tai sovelluksesta. Tutkimus esittääkin, että palvelu on luonnostaan jossain määrin geneerinen ja voi toimia kulmakivenä eri ratkaisuille ja sovelluksille. Palvelut ovatkin yleisesti sovellusten kehittämisen ympäristöjä. Lisäksi tulee huomata, että IoT-viitekehyksen vaatimat yleiset palvelut ja protokollat voivat vaatia pieniä muokkauksia asianmukaisen toiminnan varmistamiseksi terveydenhuollon skenaarioissa. Näitä yleisiä palveluja ja protokollia ovat ilmoituspalvelut, resurssien jakamispalvelut, internetpalvelut, heterogeenisten laitteiden yhdistettävyyssiippumattomat protokollat ja suuren yhdistettävyyden yhteysprotokollat. Luetteloon voidaan lisätä laitteiden ja palveluiden helppo, nopea, turvallinen ja matalatehoinen etsintä (Islam ym., 2015). Seuraavissa kappaleissa on kolme konkreettista ja relevanttia esimerkkiä IoT:n mahdollistamista palveluista terveydenhuollon alalla.

Älykotien sijaan kuvattavana on hieman toisenlainen mutta samankaltainen palvelu, joka liittyy läheisemmin IoT:n hyödyntämiseen terveydenhuollon alalla. Kuten Islam ym. (2015) toteavat, älykoteja tai tyypillisiä IoT-pohjaisia lääketieteellisiä palveluita ei ole suunniteltu tarjoamaan erikoistuneita palveluita iäkkäille henkilöille. Siksi erillinen IoT-palvelu on välttämätön. AAL:llä tarkoitetaan tekoälyllä toimivaa sovellusalustaa (engl. platform), joka kykenee käsittelemään ikääntyvien ja toimintakyvyttömiä henkilöiden terveydenhuoltoa. Tällaisen alustan tarkoitus on pidentää iäkkäiden tai toimintakyvyttömiä henkilöiden itsenäistä elämää omassa asuinpaikassaan kätevästi ja turvallisesti. AAL:n tarjoamat ratkaisut voivat lisätä iäkkäiden henkilöiden itsevarmuutta antamalla heille paremman itsenäisyyden ja tarjoamalla inhimillistä palvelua missä tahansa ongelmatilanteessa. Shahamabadi, Ali, Varahram ja Jara (2013) ehdottavat Islamin ym. (2015) mukaan IoT-pohjaisen AAL-järjestelmän automaatioon, turvallisuuteen, valvontaan ja kommunikaatioon modulaarista arkkitehtuuria. Tämä arkkitehtuuri toimii pohjimmiltaan viitekehyksenä terveydenhuoltopalvelujen tarjoamisessa iäkkäille ja työkyvyttömille henkilöille. Taustalla arkkitehtuurin toteuttamisessa ovat seuraavat teknologiat: 6LoWPAN aktiivisessa kommunikaatiossa ja RFID sekä NFC (near-field communications) passiivisessa kommunikaatiossa (Shahamadi ym., 2013; Islam ym. 2015). Kysymyksen, miten AAL-malli voidaan IoT:n suhteen toteuttaa, Dohr, Modre-Opsrian,

Drobics, Hayn ja Schreier (2010) argumentoivat, että KIT-älylaitteiden (lyhenne sanoista keep in touch) ja suljetun terveydenhuoltopalvelujen kierron yhdistelmä voi vähintäänkin helpottaa AAL:n toteuttamista. KIT käyttää älylaitteita ja teknologioita (RFID ja NFC) helpottamaan etävalvonnan prosesseja. Suljettu terveydenhuoltopalvelujen kierto käyttää KIT-teknologiaa ja kykenee käsittelemään relevanttia tietoa ja luomaan kommunikaatiokanavia iäkkäiden henkilöiden ja heidän ympäristönsä sekä eri hoitoa tarjoavien ryhmien, kuten lääkäreiden, sukulaisten ja liikkuvien hoitopalveluiden välille (Dohr ym., 2010).

Toinen läheisemmin tarkasteltava esimerkki on **ADR-palvelu**. ADR tarkoittaa jotain lääkityksen aiheuttamaa vahinkoa tai haittaa (Naranjo ym., 1981). Haittaa voi aiheutua kerta-annoksesta, pitkittyneestä hoidosta tai useamman lääkkeen yhdistelmästä. ADR-palveluilla tarkoitetaan suunniteltuja ja esitettyjä teknisiä kysymyksiä ja ratkaisuja lääkitysten aiheuttamiin haittoihin. ADR-palvelu siis pyrkii ehkäisemään lääkkeiden haittavaikutuksia. Jara ym. (2010) esittelevät tutkimuksessaan IoT-pohjaisen ADR-palvelun, jossa potilaan pääte-laite tunnistaa lääkkeen esimerkiksi viivakoodi- tai NFC-teknologian avulla, jolloin älykäs lääketieteellinen tietojärjestelmä kykenee tunnistamaan, onko lääke yhteensopiva potilaan allergiaprofiilin ja terveyshistorian kanssa.

On monia hätätilanteita, joissa terveydenhuoltoon liittyvät kysymykset ovat vahvasti mukana. Näitä ovat muiden muassa sääolosuhteisiin, liikenneonnettomuuksiin, savirakennelmien romahtamisiin ja tulipaloihin liittyvät tilanteet. Kolmantena esimerkkinä tarkasteltava **epäsuora hätäapu** voi tarjota Islamin ym. (2015) mukaan joukon ratkaisuja kuten tiedon saatavuuden, ilmoitusten muuttamisen, onnettomuuksien jälkeisen toiminnan ja kirjanpidon. On tarpeen ratkaista, miten asianmukaisia terveydenhuoltojärjestelmiä voidaan suunnitella (Islam ym., 2015). Xiao ym. (2013) ovat esittäneet savirakennelmien riskiarviolle mallin, joka tunnistaa epätavallisia ympäristötekijöitä ja hyödyntää vaaran merkkejä saadakseen kvantitatiivisen arvon rakennelmien terveydelliselle riskille. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että malli voi laskea tarkasti yksittäisten ympäristötekijöiden terveysriskit ja monien ympäristötekijöiden kokonaisriskin. Samalla tämä malli tarjoaa mahdollisuuden savirakennelmien ennaltaehkäisevälle suojelulle (Xiao ym., 2013).

3.1.2 IoT:n mahdollistamat sovellukset terveydenhuollossa

IoT-teknologiaan liitettävät palvelut ovat sovellusten kehittämisen ympäristöjä. Sovellukset ovat lähempänä potilasta siinä mielessä, että niitä potilaat käyttävät itsekkin. Kuten Islam ym. (2015) toteavat, siinä missä palvelut ovat kehittäjäkeskeisiä, sovellukset ovat käyttäjäkeskeisiä. Esimerkkejä IoT:n mahdollistamista sovelluksista ovat muiden muassa verenpaineen seuranta, ruumiinlämmön seuranta, happipitoisuuden seuranta sekä välittömät terveydenhuollon ratkaisut (Islam ym., 2015). Pawar ja Ghumbre (2016) jaottelevat sovellukset kahteen ryhmään: yksittäiseen ja klusteroituun. Yksittäisen tilan sovellukset on tarkoitettu tietyille taudille tai sairaudelle. Esimerkkejä tällaisista sovelluksista ovat tutkimuksen mukaan verensokerin tason havainnointi, sydänpölkyn seuranta ja

verenpaineen seuranta. Klusteroidun tilan sovelluksia voidaan käyttää usean eri taudin tai sairauden hoidossa. Esimerkkejä tällaisista sovelluksista ovat tutkimuksen mukaan kuntoutusjärjestelmä, lääkityksen hallinta ja pyörätuolin hallinta (Pawar & Ghumbre, 2016). Seuraavissa kappaleissa kuvataan tarkemmin kolmea erilaista IoT:n mahdollistamaa terveydenhuollon sovellusta. Näistä ensimmäisenä tarkastelussa oleva verensokerin tason havainnointi toimii myös esimerkkinä IoT:n mahdollistamasta kroonisen sairauden seurannasta.

Diabetes on ryhmä aineenvaihdunnallisia tauteja, joissa veren glukoosi- eli sokeripitoisuus on pitkittyneesti korkea. **Verensokerin tason havainnointi** paljastaa verensokerin vaihtelun yksilölliset kaavat ja auttaa ruokailu-, aktiviteetti- ja lääkitysaikojen suunnittelussa (Islam ym., 2015). Istepanian, Hu, Philip ja Sungoor (2011) esittävät tutkimuksessaan IoT-pohjaista menetelmää eihäiritsevälle glukoosin määrän muutoksien havainnoinnille reaaliaikaisesti. Tässä menetelmässä sensorit potilaista yhdistetään IPv6-yhteyden kautta relevantteihin terveydenhuollon tarjoajiin (Istepanian ym., 2011). Guanin (2013) hyötymallissa esitellään lähetyslaite verensokerista kerättyjen somaattisten tietojen siirtämiseksi perustuen IoT-verkkoihin. Tämä laite pitää sisällään verensokerin kerääjän, matkapuhelimen tai tietokoneen, sekä taustaprosessorin (Guan, 2013). Oleellisia IoT:n aikaansaamia muutoksia verensokerin seurannassa ovat myös taulukossa 1 mainitut häiriöaikojen väheneminen, tehokkaampi tilastojen koonti ja käyttäytymispoikkeamien esiasteiden tunnistaminen.

Toinen esimerkki IoT:n mahdollistamasta sovelluksesta on uudenlainen **kuntoutusjärjestelmä**. Kuntoutus voi parantaa tai palauttaa fyysisen toimintakyvyn invalideille ja vammautuneille. Fanin ym. (2014) mukaan IoT:lla on potentiaalia parantaa kuntoutusjärjestelmiä väestön ikääntymisen ja hoitohenkilökunnan vajaukseen liittyvien ongelmien lieventämiseksi. Samassa tutkimuksessa esitetään suunnittelumetodia IoT-pohjaisille älykkäille kuntoutusjärjestelmille. Tutkimus demonstroi, kuinka IoT voi olla tehokas lähtökohta kaikkien tarvittavien resurssien yhdistämisessä reaaliaikaisen tiedonvaihdon tarjoamiseksi. IoT-pohjaiset teknologiat voivat siten muodostaa arvokkaan infrastruktuurin tehokkaan etäkonsultoinnin tukemiseksi kattavassa kuntoutuksessa (Fan ym., 2014). Islam ym. (2015) mainitsevat olemassa oleviksi IoT-teknologioihin pohjautuviksi kuntoutusjärjestelmiksi vankiloiden ja toispuolihalvaantuneiden kuntoutusjärjestelmät, älykkäiden kaupunkien lääkekuntoutusjärjestelmät sekä järjestelmät autististen lasten kielen harjoittamiseksi.

Kolmas esimerkki IoT:n mahdollistamasta sovelluksesta on **liikkuva terveydenhuollon järjestelmä pyörätuolien käyttäjille**. Yang, Ge, Li, Rao ja Shen (2014) esittelevät artikkelissaan liikkuvan terveydenhuollon (engl. mobile healthcare; mHealth) järjestelmän, joka perustuu kehittyviin IoT-teknologioihin. Monet tutkijat ovat pyrkineet kehittämään älykkäitä pyörätuoleja, joissa on täysi automaatio kehitysvammaisille. IoT nopeuttaa kehitystä. Suunnitelma sisältää WBANit (Wireless Body Area Networks), jotka on integroitu erilaisiin sensoreihin, joiden toiminnot on räätälöity IoT:n vaatimusten mukaisiksi. Yksinkertaisuudessaan edellä kuvattu järjestelmä pystyy havaitsemaan pyörätuolin putoamisen, kaatumisen ja ympäristön esteet sekä seuraamaan käyttäjän ter-

veyttä reaaliaikaisesti. Reaaliaikaista sijaintia ja muita tietoja voidaan valvoa, ja poikkeavassa tilanteessa voidaan lähettää automaattinen hälytysviesti (Yang ym., 2014).

3.2 IoT:n hyödyntämiseen liittyvät haasteet

IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämiseen liittyy monia haasteita eikä kaikista olla välttämättä vielä edes tietoisia. Taulukkoon 2 on koottu lähdeaineistosta esille nousseita haasteita. Haasteet eivät ole tärkeysjärjestyksessä, vaan ne on järjestetty käytettyjen lähteiden mukaan, eli yhdessä tutkimuksessa tutkitut haasteet ovat peräkkäin. Useassa tutkimuksessa esille nousseita haasteita on kuitenkin määritelty tarkemmin taulukon jälkeen.

TAULUKKO 2 IoT-pohjaisen terveydenhuollon haasteita

Ongelma	Selitys (lähteet)
Tietosuoja	IoT-pohjaisten palveluiden onnistunut kehittäminen ja käyttöönotto edellyttävät takuita turvallisuudesta ja yksityisyydestä (Abie & Bala-singham, 2012).
Standardointi	Monenlaisia toimittajia, tuotteita ja laitteita. Standardisääntöjen noudat-tamatta jättäminen lisää yhteentoimivuuden ongelmia (Islam ym., 2015). Erästä standardimallia esitetään Bakerin, Xiangin ja Atkinsonin (2017) tutkimuksessa.
IoT-pohjaiset terveydenhuol-lon alustat (plat-forms)	Koska IoT-pohjaisen terveydenhuollon laitteiston arkkitehtuuri on ke-hittyneempää kuin tavallisten IoT-laitteiden ja vaatii reaaliaikaisen käyttöjärjestelmän tiukemmilla vaatimuksilla, tarvitaan mukautettua alustaa ajonaikaisilla kirjastoilla (Islam ym., 2015).
Kustannusana-lyysi	Tutkijat voivat nähdä IoT-pohjaiset terveydenhuoltopalvelut edullisena teknologiana, mutta vertaileva tutkimus ei tue tätä (Islam ym., 2015).
Sovelluskehitys-prosessi	Sovelluksen kehittämisessä on yleisesti neljä perusvaihetta, asennus, kehittäminen, debuggaus ja testaus sekä julkaiseminen. Terveydenhuol-lon sovelluskehityksen prosessissa edellytetään tyypillisesti valtuutetun elimen tai lääketieteellisen alan asiantuntijoiden yhdistyksen osallistu-mista hyväksyttävän laadun omaavan sovelluksen varmistamiseksi (Islam ym., 2015).
Teknologian siirtyminen	Terveydenhuollon organisaatiot voivat modernisoida olemassa olevia laitteitaan ja sensoreitaan terveydenhuollon alalla älykkäiksi resursseiksi sisällyttämällä IoT:n lähestymistavat olemassa olevaan verkon raken-teeseen. Siksi saumaton siirtyminen vanhasta järjestelmästä ja asennuk-sesta IoT-pohjaiseen rakenteeseen on suuri haaste. On tarve varmistaa yhteensopivuus taaksepäin ja joustavuus olemassa olevien laitteiden integroinnissa (Islam ym., 2015).
Matalatehoinen protokolla	IoT-terveydenhuollon skenaarioissa on monia laitteita, jotka yleisesti ovat epäyhtenäisiä, mitä tulee muiden muassa niiden uneen, syvään uneen, vastaanottamiseen, lähettämiseen ja yhdistelmätilaan (Islam ym., 2015).

Verkkotyypin	Suunnittelun lähestymistavan kannalta IoT-terveydenhuollon verkko voi olla data-, palvelu- tai potilaskeskeistä arkkitehtuuria. Datakeskeisessä järjestelmässä terveydenhuollon rakenteet voidaan yleisesti jakaa esineisiin perustuen kerättyyn terveystietoon. Palvelukeskeisessä järjestelmässä terveydenhuollon rakenteet allokoidaan niiden ominaisuuksien kokoonpanolla, jotka niiden on tarjottava. Potilaskeskeisessä järjestelmässä terveydenhuollon järjestelmät jaetaan potilaiden ja heidän läheistensä osallistumisen mukaan. Tältä osin, sopivan verkkotyypin valitseminen IoT-pohjaisiin ratkaisuihin on avoin kysymys (Islam ym., 2015).
Skaalautuvuus	IoT-terveydenhuollon verkkojen, sovellusten, palveluiden ja back-end-tietokantojen pitäisi olla skaalautuvia, koska niihin liittyvät toiminnot tulevat monimutkaisemmiksi yksilöiden ja terveysterveystietojen vaatimusten eksponentiaalisen kasvun aiheuttaman erilaisten sovellusten lisääntymisen seurauksena (Islam ym., 2015).
Jatkuva valvonta	Monissa tilanteissa potilaat tarvitsevat pitkäaikaista seuranta (esim. krooninen sairaus). Jatkuva seuranta on elintärkeää (Islam ym., 2015).
Uudet sairaudet ja häiriöt	Tutkimus ja tuotekehitys uudentilaisille sairauksille ja häiriöille on välttämätöntä, ja jo pitkään tärkeänä tehtävänä on ollut löytää menetelmiä, jotka voivat havaita harvinaisia sairauksia varhaisessa vaiheessa (Islam ym., 2015).
Tunnistautuminen	Terveydenhuollon organisaatiot toimivat yleensä ympäristöissä, joissa potilaita on monia, ja joissa monet hoitajat suorittavat velvollisuuksiaan. Näiden asianmukainen tunnistaminen on tärkeää (Islam ym., 2015).
Liiketoimintamalli	IoT-pohjaisen terveydenhuollon liiketoimintastrategia ei vielä ole vankka, koska siihen liittyy elementtejä uusilla vaatimuksilla. Näitä ovat uudet toimintaprosessit ja -politiikat, uudet infrastruktuurijärjestelmät, luokitellut kohdeasiakkaat sekä muutetut organisaatorakenteet. Lisäksi lääkärit ja sairaanhoitajat usein välttävät uusien teknologioiden käyttöä ja oppimista, joten tarvitaan uusi liiketoimintamalli (Islam ym., 2015).
Palvelun laatu	Terveydenhuollon palvelut ovat erittäin herkkiä ajalle ja vaativat laatuvaatimuksia tärkeissä parametreissa kuten luotettavuudessa, ylläpidettävyydessä ja palvelutasossa. Järjestelmän katastrofi voi vaarantaa henkiä (Islam ym., 2015).
Liikkuvuus	IoT-pohjaisen terveydenhuollon verkon on tuettava potilaiden liikkuvuutta niin, että he voivat olla kytkettynä missä ja milloin tahansa. Tämä liikkuvuusominaisuus on viime kädessä vastuussa eri potilasympäristöjen yhdistämisestä (Islam ym., 2015).
Reuna-analytiikka	Reuna-analytiikka on tärkeässä asemassa ja voi parantaa porttilaitteiden ominaisuuksia. On tutkittava terveydenhuollon analytiikkaa, jotta voidaan auttaa järjestelmän suunnittelijoita optimoimaan dataliikenne ja IoThNet-arkkitehtuuri (Islam ym., 2015).
Ekologinen vaikutus	IoT-pohjaisten terveydenhuoltojen täysimittainen käyttöönotto vaatii monia biolääketieteellisiä sensoreita, jotka upotetaan puolijohde-teollisiin laitteisiin. Nämä sensorit ja laitteet sisältävät myös harvinaisia maametalleja ja erittäin myrkyllisiä kemikaaleja. Tällä on merkittävän epäsuotuisia vaikutuksia ympäristöön, käyttäjiin ja ihmisten terveyteen. Tarvitaan ohjeistuksia laitteiden valmistukseen, käyttöön ja asianmukaiseen hävittämiseen (Islam ym., 2015).

Puettava tekno- logia	Toistaiseksi olemassa oleva puettava tunnistusteknologia on rajoittunut koon, reagoinnin, jatkuvan valvonnan, langattoman tiedonsiirron ja jarruttamattoman käyttäjäkokemuksen suhteen (Qi ym., 2017).
Yleinen tutki- muksen tarve	Tutkimuksia IoT:n sosiaalisista, käytöksellisistä, taloudellisista ja hallinnollisista näkökannoista on niukasti, koska IoT on vasta hiljattain kehittynyt ilmiö. Siksi terveydenhuoltopalveluiden on haastavaa tehdä tietoihin perustuvia päätöksiä IoT:n implementoinnin suhteen (Lee & Lee, 2015).
Vähentynyt kon- takti	Haasteena on kehittää potilaan hoitoa ilman, että piittaamattomuus potilaasta lisääntyy, mikä johtuu vähentyneestä kontaktista potilaiden ja hoitohenkilökunnan välillä (Laplante & Laplante, 2016).
Politiikka ja sää- dökset	Politiikka ja säädökset ovat tärkeitä terveydenhuollon alalla. Niille sekä niiden tutkimukselle on tarvetta (Rodrigues ym., 2018).
Implementoin- nin kustannuk- set	Implementointi vaatii järjestelmien uudistamista, mikä aiheuttaa suuria kustannuksia (Saha, Mandal & Sinha, 2017).

Kuten taulukko 2 osoittaa, haasteita on monenlaisia. Lähdeaineistona käytetyissä tutkimuksissa on tutkittu haasteita hyvin erilaisista näkökulmista. Tutkimuksilla on kuitenkin eräs yhteinen piirre; turvallisuuteen ja yksityisyyteen liittyvät haasteet nousevat esille kaikista lähdeaineistona käytettävistä haasteisiin kantaa ottavista tutkimuksista. Xu, He ja Li (2014) argumentoivat IoT:n käyttöä eri toimialoilla tutkivassa tutkimuksessaan, että turvallisuus ja yksityisyys ovat yleisesti ottaen IoT:n merkittävimmät haasteet. Edellä mainittujen seikkojen johdosta luku 3.2.1 on omistettu kokonaisuudessaan turvallisuuteen ja yksityisyyteen liittyville haasteille. Luvussa 3.2.2 puolestaan tarkastellaan muita haasteita.

3.2.1 Haasteet liittyen turvallisuuteen ja yksityisyyteen

IoT-pohjaisten palveluiden onnistunut kehittäminen ja käyttöönotto edellyttävät takuita turvallisuudesta ja yksityisyydestä (Abie & Balasingham, 2012). Islamin ym. (2015) mukaan eri sensoreista ja laitteista kerätyn terveydellisen tiedon suojaaminen luvattomalta käytöltä on ratkaisevaa. Siksi pitäisi ottaa käyttöön tiukat käytännöt ja tekniset turvallisuustoimenpiteet terveydellisten tietojen jakamiseksi valtuutettujen käyttäjien, organisaatioiden ja sovellusten välillä. Haasteena on optimaalisen algoritmin luominen suojaus-, havaitsemis- ja reaktiopalvelujen väliseen yhteistyöhön erilaisten hyökkäysten, uhkien ja haavoittuvuuksien estämiseksi (Islam ym., 2015).

O'Neill (2014) toteaa tutkimuksessaan, että yhdistettyjen laitteiden määrän kasvaessa ennennäkemättömästi, ei voida jättää huomioimatta mahdollista vaikutusta henkilökohtaiseen turvallisuuteen ja tietosuojaan. O'Neill keskittyy tutkimuksessaan pitkälti datahyökkäyksiin, mutta on huomioitavaa, että esimerkiksi Islamin ym. (2015) mukaan terveydenhuollossa IoT-laitteita käytettäessä potilaan lisäksi myös terveydenhuoltopalveluiden tarjoajilla on käsissään ennennäkemätön määrä henkilökohtaista dataa potilaasta. Perinteisessäkin terveydenhuollossa, aikakaudella ennen internetiä, terveydenhuoltopalvelujen

tarjoajilla on ollut käsissään potilaan terveyteen liittyvää dataa, mutta IoT:n aikakaudella datan määrä on moninkertainen ja etäseurannan johdosta reaaliaikaista dataa potilaan terveydestä, ja esimerkiksi sijainnista, muodostuu koko ajan lisää. Mitä tulee datahyökkäyksiin, hyökkääjä voi mahdollisesti kontrolloida kaikkia tietyn ympäristön IoT-laitteita (Notra, Siddiqi, Gharakheili, Sivaraman & Boreli, 2014) ja voi täten, paitsi saada käsiinsä arkaluontoista dataa, myös vaikuttaa laitteiden toimintaan. Gubbi, Buyya, Marusic ja Palaniswami (2013) esittävät esimerkeiksi datahyökkäysten tavoista verkon lamauttamisen, virheellisen datan siirtämisen verkkoon sekä henkilökohtaisiin tietoihin käsiksi pääsyn. RFID:n, erityisesti passiivisen, sanotaan olevan haavoittuvainen teknologia, koska se sallii sekä henkilön että esineen seurannan eikä siinä voida ottaa käyttöön korkealuokkaista tekoälyä (Gubbi ym., 2013). Uusia teknologioita kehitetäänkin jatkuvasti. Shakeel ym. (2018) toteavat tutkimuksessaan, ettei IoT:n avulla kerätty tieto yksinään ole merkityksellistä verrattuna täydelliseen terveydenhuollon pöytäkirjaan. Turvallisuus on yksi oleellisimmista haasteista, koska IoT-pohjainen terveydenhuoltojärjestelmä vaatii täydellisen tietosuojan: turvan tunkeutumisen, huijaushyökkäysten, palveluneston, haittaohjelmien, häirinnän ja salakuuntelun varalle (Shakeel ym., 2018).

Perera, Ranjan, Wang, Khan ja Zomaya (2015) kuvaavat tutkimuksessaan, että nykypäivänä verkkopalveluiden käyttäjät ovat tietoisia, että käyttäessään ilmaisia online-palveluita (esim. sähköposti, sosiaalinen media ja uutissyötteen) heistä tulee automaattisesti tietolähteitä yrityksille, jotka voivat analysoida näitä tietoja asiakastyytyväisyyden parantamiseksi. Vielä pahempaa on, että tiedot voidaan myydä kolmansille osapuolille lisäanalyysia varten. Kuitenkin tulevaisuudessa, IoT:n aikakaudella, on todennäköistä, että palveluiden tarjoajat ottavat käyttöön jommankumman seuraavista malleista: jotkut kuluttajat voivat halutessaan maksaa palveluille tietosuojansa turvaamiseksi, kun taas muut saattavat tarjoutua antamaan tietojaan pois, tietyin rajoituksin ja ehdoin, vastineeksi maksuttomista palveluista. Älykkäiden puettavien laitteiden ja älykkäiden kotien laitteiden kautta kerättyä dataa voidaan käyttää luomaan asiayhteydellisesti rikastettuja tietoja. Laitteiden omistajien tulisi aina pysyä vastuussa tällaisesta tiedosta, siinäkin tilanteessa, että he ovat antaneet tietoihinsa väliaikaisesti pääsyn ulkopuolisille osapuolille erityisen tehtävän suorittamiseksi. Näin ollen IoT:n aikakausi aiheuttaa merkittäviä yksityisyyttä koskevia haasteita (Perera ym., 2015). Euroopan komission IoT:a käsittelevässä raportissa (Sundmaeker ym., 2010) onkin todettu, että turvallisuus ja yksityisyys ovat IoT:hen liittyen merkittäviä tutkimuksellisia haasteita, jotka pitävät sisällään yksityisyyttä suojaavan teknologian heterogeenisille laitteille; hajautetun todentamisen ja luottamuksen mallit; energiatehokkaan salauksen; tietosuojateknologiat; turvallisuuden ja luottamuksen pilvipalveluihin; datan omistajuuden; oikeudelliset ja vastuuasiat; varaston tietojen hallinnan; käyttöoikeudet; säännöt lisäarvon jakamiseksi; vastuut; velvollisuudet; keinotekoiset immuunijärjestelmäratkaisut IoT:lle; turvalliset ja edulliset laitteet; integroinnin tai yhdistämisen yksityisyyttä tarjoaviin viitekehyksiin; ja tietosuojakäytäntöjen hallinnan (Sundmaeker ym., 2010).

3.2.2 Muut haasteet

Islamin ym. (2015) tutkimus kuvaa laajasti IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämiseen liittyviä tiedostettuja haasteita. Tutkimuksessa on lueteltu tutkittuja ja tutkimattomia ongelmia tai avoimia kysymyksiä liittyen IoT:n terveydenhuoltopalveluissa hyödyntämiseen. Joihinkin esitetyistä ongelmista on löydetty ratkaisuja, mutta joitain ei ole tutkittu tarpeeksi, jotta ratkaisuja voitaisiin esittää. Tutkimuksessa mainittuja haasteita ovat ongelmat liittyen standardointiin, IoT-pohjaisiin terveydenhuollon alustoihin (engl. platforms), kustannusanalyysiin, sovelluskehitysprosessiin, teknologian siirtymiseen, matalatehoiseen protokollaan, verkkotyyppeihin, skaalautuvuuteen, jatkuvaan valvontaan, uusiin sairauksiin ja häiriöihin, tunnistautumiseen, liiketoimintamalliin, palvelun laatuun, liikkuvuuteen, reuna-analytiikkaan ja ekologisiin vaikutuksiin (Islam ym., 2015). Muita taulukossa 2 jo esille tuotuja haasteita ovat puettavan teknologian rajoitteet (Qi ym., 2017), yleinen tutkimuksen tarve (Lee & Lee, 2015), vähentynyt kontakti potilaiden ja hoitohenkilökunnan välillä (Laplante & Laplante, 2016), politiikka ja säädökset (Rodrigues ym., 2018) sekä implementoinnin kustannukset (Saha ym., 2017).

Useat tutkimukset ovatkin viime vuosina vastanneet näihin haasteisiin. Esimerkiksi Rahmani ym. (2015) esittelevät tutkimuksessaan järjestelmän, joka pystyy selviytymään monista haasteista, kuten energiatehokkuudesta, skaalautuvuudesta ja luotettavuudesta. Kyseinen järjestelmä, Smart e-Health Gateway, mahdollistaa monenlaisten terveydenseurantajärjestelmien mittavan hyödyntämisen etenkin kliinisissä ympäristöissä (Rahmani ym., 2015). Pasluosta, Gassner, Winkler, Klucken ja Eskofier (2015) puolestaan ovat tutkineet Parkinsonin taudin hoitoa ja nykyteknologian hyödyntämistä kyseisellä alalla. Siihen kuuluu oleellisesti tarve kerätä tarkkaa ja puolueetonta dataa. Esimerkiksi sydänkäyrän seurannan tallenteet ovat puolueetonta dataa, joka on muunnettava sydän- ja verisuonifysiologian alan informaatioksi ja sitten tiedoksi. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi älykkäiden algoritmien on kyettävä käsittelemään suurta määrää dataa ja käyttämään laitteiston resursseja tehokkaasti (Pasluosta ym., 2015). Tutkimukset ja edistysaskeleet koneoppimisen ja tekoälyn aloilla esittävät lupaavia tulevaisuudennäkymiä edellä mainittujen haasteiden voittamiseksi (Arel, Rose & Karnowski, 2010; Jones, 2014).

Myös IoT:n käyttöönottoon terveydenhuollossa liittyy monia haasteita. Xu, B. ym. (2014) esittävät, että IoT-teknologian käyttö sovelluksissa on lisännyt valtavasti reaaliaikaisen datan määrää, mikä tekee informaation tallennuksesta ja siihen pääsystä haastavampaa. Tutkimuksessa on ehdotettu semanttista datamallia tallentamaan ja tulkitsemaan IoT:n keräämää dataa ja luonnosteltu resurssipohjainen tiedonhallintamenetelmä (engl. data accessing method) (UDA-IoT) hankkimaan ja käsittelemään IoT:n keräämää dataa kaikkialla IoT:n data-resurssien parantamiseksi. Tutkimuksessa myös esitetään IoT-pohjainen järjestelmä hätäpalveluille, jotta voidaan osoittaa, miten kerätä, integroida ja yhteensovittaa IoT:n keräämää dataa joustavasti, jotta voidaan tarjota tukea hätäpalveluille. Tulos osoittaa, että IoT:n resurssipohjainen tiedonhallintamenetelmä on

jaotellussa heterogeenisessä dataympäristössä tehokas tukemaan dataan käsiksi pääsyä oikea-aikaisesti ja kaikkialla pilvipalvelussa tai mobiilialustalla (B. Xu ym., 2014). Edellä kuvatun kaltaisten uusien mallien ja menetelmien käyttöön-otto luo omanlaisiaan haasteita terveydenhuollolle. Henkilöstön on osattava käyttää uusia järjestelmiä välittömästi. Lisäksi uudet teknologiat ainakin aluksi kasvattavat kustannuksia. Saha ym. (2017) käsittelevät tutkimuksessaan IoT:n trendejä ja esittävät kolme selkeää rajoitetta, joista yksi on implementoinnin kustannukset. Lee ja Lee (2015) esittävät tutkimuksessaan, että tutkimuksia IoT:n sosiaalisista, käytöksellisistä, taloudellisista ja hallinnollisista näkökan- noista on niukasti, koska IoT on vasta hiljattain kehittynyt ilmiö, ja siksi yritys- ten, tässä tapauksessa terveydenhuoltopalveluiden, on haastavaa tehdä tietoi- hin perustuvia päätöksiä IoT:n implementoinnin suhteen.

Kuten Laplante ja Laplante (2016) tutkimuksessaan toteavat, uusia IoT- järjestelmiä kehitettäessä haasteena on kehittää potilaan hoitoa ilman, että piit- taamattomuus potilaasta lisääntyy, mikä puolestaan johtuu vähentyneestä kon- taktista potilaiden ja hoitohenkilökunnan välillä. Tämä on yksi tulevaisuuden huolenaiheista terveydenhuollossa.

4 TULOKSET JA POHDINTAA

Edellä on etsitty vastauksia tutkimuskysymyksiin, joihin tässä luvussa vastataan tiivistetysti, minkä jälkeen vertaillaan niiden suhdetta ja tutkimuksen tarpeita. Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

1. Mitä uusia mahdollisuuksia IoT tarjoaa terveydenhuollolle?
2. Mitä haasteita liittyy IoT:n hyödyntämiseen terveydenhuollossa?

Vastauksena ensimmäiseen kysymykseen löydettyjä mahdollisuuksia on käsitelty taulukossa 1. Havaittuja mahdollisuuksia ovat ensiksikin tehokkuuden lisääminen terveyden etäseurannassa, kunto-ohjelmissa, kroonisten sairauksien seurannassa ja vanhustenhoidossa. Odotusarvona on myös terveydenhuollon kustannusten pienentäminen, elämänlaadun paraneminen ja käyttäjäkokemusten rikastuminen. Etenkin terveydenhuoltopalvelujen tarjoajien näkökulmasta IoT voisi mahdollistaa laitteiden häiriöaikojen vähenemisen, jatkossa seuranta voi tapahtua vuorokauden ympäri; sekä terveydenhuoltolaitteiden tasaisen ja jatkuvan käytön, sillä IoT-laitteet kykenevät itse tunnistamaan optimaaliset ajat mahdollisesti tarvitsemiensa tarvikkeiden täydentämiseen. Lisäksi hyötyjä ovat sijainnin seuranta ja sen hyödyntäminen, tunnistautumisen tehostaminen sekä automatisoitu datan kerääminen ja sen ansiosta terveydenhuollon prosessien suurempi tehokkuus. IoT myös mahdollistaa kohdehenkilön makroskooppisen käyttäytymisen seurannan, tehokkaamman tilastojen koonnin, vaarallisten käyttäytymispoikkeamien esiasteiden tunnistamisen sekä hälytyksen aktivoimisen tai etätoimintoihin kehottamisen asianmukaisilla tavoilla entistä tehokkaammin. IoT:n terveydenhuollon alalla mahdollistamista uusista palveluista ja sovelluksista tarkasteltiin kummastakin myös kolmea konkreettista esimerkkiä. AAL, eli ympäröivä avustettu eläminen, ADR-palvelu, eli lääkitysten haittavaikutuksia ehkäisevä palvelu, ja epäsuora hätäapu ovat esimerkkejä IoT:n mahdollistamista terveydenhuollon palveluista. Verensokeritason havaitseminen, eli menetelmä verensokerin muutoksien reaaliaikaiselle havainnoinnille, älykäs kuntoutusjärjestelmä ja liikkuva terveydenhuollon järjestelmä pyörätuolien

käyttäjille puolestaan ovat esimerkkejä IoT:n mahdollistamista terveydenhuollon sovelluksista.

IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämiseen liittyviä haasteita käsitellään kattavasti taulukossa 2. Lähdeaineiston perusteella tutkituimmat ja monien tutkimusten mukaan tärkeimmät haasteet liittyvät turvallisuuteen ja yksityisyyteen. Muut haasteet liittyvät muun muassa standardointiin, sovellusalojen kehittämiseen, kustannusanalyysien virheisiin, sovelluskehitysprosessin muutokseen, teknologian siirtymiseen, ominaisuuksiltaan epäyhtenäisiin laitteisiin, sopivan verkkotyypin valitsemiseen, skaalautuvuusvaatimukseen, jatkuvan valvonnan vaatimukseen, uusien sairauksien ja häiriöiden tutkimuksen tarpeeseen, tunnistautumiseen, liiketoimintastrategian kehittämiseen, palvelun laatuun ja nykypäiväisyyteen, riittävään liikkuvuuteen, reuna-analytiikkaan ja ekologisiin vaikutuksiin. Muita esille nousseita haasteita ovat vähentynyt kontakti potilaiden ja hoitohenkilökunnan välillä, puettavan teknologian rajoitteet, politiikka ja säädökset, implementoinnin kustannukset sekä yleinen tutkimuksen tarve. Turvallisuuden ja yksityisyyden haasteiden lisäksi yleinen tutkimuksen tarve tulee esille erityisen monissa lähdeaineiston tutkimuksista. Haasteiksi voidaan laskea myös käyttöönoton haasteet; IoT:n epäonnistuneella implementoinnilla terveydenhuollon avuksi voi olla terveydenhuoltoa heikentäviä seurauksia.

Miorandi ym. (2012) ovat esittäneet tutkimuksessaan silloisiksi IoT:n tulevaisuuden tutkimukselliseksi haasteiksi tietojenkäsittely-, viestintä- ja tunnistautumisteknologioita; hajautettujen järjestelmien teknologioita liittyen verkkojen luomiseen; ja hajautettua älykkyyttä liittyen älylaitteisiin. Tutkimuksessa myös painotetaan tietosuojaan liittyvien kysymysten olevan tutkimuksellisia haasteita (Miorandi ym., 2012). Tietosuojakysymyksiä onkin tämän jälkeen tutkittu laajasti, mutta toisaalta se on yhä edelleen tutkimuksellinen haaste. Internetin käyttäjät ovat entistä paremmin tietoisia tietosuojahaasteista. Tietosuojan merkitys korostuu entisestään terveydenhuollon alalla IoT-laitteiston kerätessä valtavasti arkaluontoista tietoa käyttäjistä.

IoT:n terveydenhuollolle tarjoamia mahdollisuuksia on tutkittu enemmän kuin IoT:n terveydenhuollolle synnyttämiä haasteita. Kuten Lee ja Lee (2015) tutkimuksessaan painottavat, tutkimuksia IoT:n sosiaalisista, käytöksellisistä, taloudellisista ja hallinnollisista näkökannoista on niukasti, koska IoT on vasta hiljattain kehittynyt, ja siksi yritysten on haastavaa tehdä tietoihin perustuvia päätöksiä IoT:n implementoinnin suhteen. Implementointi on suuri kertainvestointi, joten mikä tahansa organisaatio haluaa olla varma sen tuottamasta hyödyistä. Historian saatossa on tutkittu tuottavuusparadoksia. Käsitteen luojana pidetään Solowia (1987), joka kyseenalaisti aikanaan IT-investointien tuottavuuden. Tuottavuusparadoksiin liittyen Macdonald, Anderson ja Kimbel (2000) ovat esittäneet, että 1980-luvulla tietyt yritykset onnistuivat IT:n käyttöönotossa, mikä rohkaisi muita yrityksiä seuraamaan perässä. Nyt IoT-aikakaudella voidaan olla vastaavan tilanteen äärellä. Jos havaitaan, että tietyt yritykset tai organisaatiot pystyvät menestyksekkäästi siirtymään IoT-teknologian käyttöön, muiden on helpompi seurata perässä. Yksityisessä terveydenhuollossa palveluiden tarjoajien välinen kilpailu voi pakottaa implementoinnin toteuttamisen.

Terveydenhuolto kuitenkin on yhteiskunnallisesti kriittinen ala, ja siksi IoT:n implementoinnissa terveydenhuoltopalvelujen käyttöön ei kannata kiirehtiä. Väestön ikääntyessä terveydenhuolto toisaalta vaatii tehostamista, ja IoT voisi vastata näihin vaatimuksiin. Jotta voitaisiin olla varmoja, että hyödyn määrä on haittaa suurempi, olisi haasteita tutkittava enemmän.

Vaikka taulukossa 2 on enemmän eriteltyjä ongelmia kuin taulukossa 1 eriteltyjä mahdollisuuksia, ei tästä voi tehdä selkeitä johtopäätöksiä. Oleellisempaa on toteutuneen hyödyn tai haitan määrä, joka selkiytynee tulevaisuudessa. Useat tutkimukset (Sundmaeker ym., 2010; Islam ym., 2015) osoittavat tarpeen haasteiden tutkimukselle. Erityisen hyödyllisiä haasteiden tutkimuksen tuloksia ovat ratkaisut jo tiedostettuihin haasteisiin tai ennestään tiedostamattoman riskin olemassaolon todistaminen. Kuten taulukko 2 havainnollistaa, vain osaan ongelmista on tiedossa selkeä ratkaisu. Tosin lähteenä käytettiin pitkälti tutkimusta vuodelta 2015, ja on huomioitavaa, että IoT:sta sekä sen kehityksestä, tulevaisuudesta ja siihen liittyvistä terveydenhuollon sovelluksista valmistuu tutkimuksia kiihtyvällä tahdilla. Myös uusia IoT-pohjaisen terveydenhuollon teknologioita kehitetään jatkuvasti vanhojen teknologioiden puutteellisuuksien vuoksi. Tämän luvun pohdintaan perustuen tutkielman seuraavassa, eli viimeisessä, luvussa esitetään potentiaalisia aiheita tulevaisuuden jatkotutkimuksille.

5 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSAIHEITA

Tässä kirjallisuuskatsauksena toteutetussa kandidaatintutkielmassa tutkittiin IoT:n hyödyntämistä terveydenhuollossa. Ensimmäisessä sisältöluvussa määriteltiin tutkimuksen kannalta oleelliset käsitteet, tärkeimpinä terveydenhuolto ja IoT, ja kuvattiin terveydenhuollon tarpeita ja IoT:n potentiaalia terveydenhuollon tulevaisuudessa. Toisessa sisältöluvussa kerrottiin IoT:n terveydenhuollolle tarjoamista uusista mahdollisuuksista ja IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämiseen liittyvistä haasteista.

Aiheeseen liittyviä tutkimuksia käsiteltiin aluksi laajasti, minkä jälkeen Tulokset ja pohdintaa -luvussa koottiin selkeät vastaukset kysymyksiin ja verrattiin mahdollisuuksien ja haasteiden suhdetta ja tutkimuksen tilaa. Jo tutkimuskysymyksiä asetettaessa oletuksena oli, että mahdollisuuksista löytyy tutkimusta enemmän kuin haasteista, ja tutkielmaa laadittaessa tämä oli selkeästi huomattavissa. Tässä tutkimuksessa on kuitenkin kuvattu määrällisesti tasapuolisesti niin mahdollisuuksia kuin haasteita. Samasta tai melkein samasta aiheesta löytyy viime vuosilta paljon tutkimustietoa. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa tärkeänä lähteenä toiminutta Islamin ym. (2015) kattavaa tutkimusta on hyödynnetty myös tämän tutkimuksen jäsentelyssä. Tässä tutkimuksessa on tiivistetty IoT:n terveydenhuollossa hyödyntämisen keskeisimmät hyödyt ja haitat ytimekkääseen muotoon, jonka pitäisi olla kenen tahansa asiaan aiemmin perehtymättömän ymmärrettävissä.

Tutkimuksia IoT:n hyödyntämisestä ja sen terveydenhuollossa luomista mahdollisuuksista löytyi huomattavasti enemmän kuin tutkimuksia, jotka keskittyivät IoT:n luomiin haasteisiin. Ensimmäinen ehdotus jatkotutkimusaiheeksi on kattava tutkimus IoT:n terveydenhuollossa luomista haasteista tai tutkimus jostakin spesifistä riskistä. Toinen ehdotus jatkotutkimusaiheeksi on selvitys IoT:n terveydenhuoltoon implementoinnin haasteista tai siitä, miksi implementointi ei tapahdu, tai ole tapahtunut, nopeammin. Nämä olivat aihealueita, joiden tueksi tässä kandidaatintutkielmassa oli haastavinta löytää luotettavia tutkimuksia. Empiiristä tutkimusta IoT:n vaikutuksista terveydenhuoltoon voidaan todennäköisesti tehdä menestyksekkäämmin muutaman vuoden päästä.

LÄHTEET

- Abie, H. & Balasingham, I. (2012). Risk-based adaptive security for smart IoT in eHealth. (s. 269-275) ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M. & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376. doi:10.1109/COMST.2015.2444095
- Amendola, S., Lodato, R., Manzari, S., Occhiuzzi, C. & Marrocco, G. (2014). RFID technology for IoT-based personal healthcare in smart spaces. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(2), 144-152.
- Arel, I., Rose, D. C. & Karnowski, T. P. (2010). Deep machine learning-a new frontier in artificial intelligence research. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 5(4), 13-18.
- Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Baker, S. B., Xiang, W. & Atkinson, I. (2017). Internet of things for smart healthcare: Technologies, challenges, and opportunities. *IEEE Access*, 5, 26521-26544.
- Catarinucci, L., de Donno, D., Mainetti, L., Palano, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L. & Tarricone, L. (2015). An IoT-aware architecture for smart healthcare systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(6), 515-526. doi:10.1109/JIOT.2015.2417684
- Chiuchisan, I., Costin, H. & Geman, O. (2014). Adopting the internet of things technologies in health care systems. (s. 532-535) doi:10.1109/ICEPE.2014.6969965
- Dohr, A., Modre-Opsrian, R., Drobics, M., Hayn, D. & Schreier, G. (2010). The internet of things for ambient assisted living. (s. 804-809) *Ieee*.
- Fan, Y. J., Yin, Y. H., Da Xu, L., Zeng, Y. & Wu, F. (2014). IoT-based smart rehabilitation system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1568-1577.
- Guan, Z. J. (2013). 'Somatic data blood glucose collection transmission device for internet of things. Chinese Patent, 202(838), 653.

- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (2013). Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Hassanalieragh, M., Page, A., Soyata, T., Sharma, G., Aktas, M., Mateos, G., . . . Andreescu, S. (2015). Health monitoring and management using internet-of-things (IoT) sensing with cloud-based processing: Opportunities and challenges. (s. 285-292) IEEE.
- Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M. & Kwak, K. (2015). The internet of things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678-708.
- Istepanian, R. S., Hu, S., Philip, N. Y. & Sungoor, A. (2011). The potential of internet of m-health things "m-IoT" for non-invasive glucose level sensing. (s. 5264-5266) IEEE.
- Jankowski, S., Covello, J., Bellini, H., Ritchie, J., & Costa, D. (2014). The Internet of Things: Making sense of the next mega-trend. Goldman Sachs. Haettu osoitteesta <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/internet-of-things/iot-report.pdf>
- Jara, A. J., Belchi, F. J., Alcolea, A. F., Santa, J., Zamora-Izquierdo, M. A. & Gómez-Skarmeta, A. F. (2010). A pharmaceutical intelligent information system to detect allergies and adverse drugs reactions based on internet of things. (s. 809-812) IEEE.
- Jones, N. (2014). Computer science: The learning machines. *Nature News*, 505(7482), 146.
- Kanasi, E., Ayilavarapu, S. & Jones, J. (2016). The aging population: Demographics and the biology of aging. *Periodontology* 2000, 72(1), 13-18.
- Kor, A., Yanovsky, M., Pattinson, C. & Kharchenko, V. (2016). SMART-ITEM: IoT-enabled smart living. (s. 739-749) doi:10.1109/FTC.2016.7821687
- Laplante, P. A., Laplante, N. (2016). The internet of things in healthcare: Potential applications and challenges. *IT Professional*, 18(3), 2-4. doi:10.1109/MITP.2016.42
- Lee, I. & Lee, K. (2015). The internet of things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises doi://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008
- Macdonald, S., Anderson, P. & Kimbel, D. (2000). Measurement or management? revisiting the productivity paradox of information technology. *Vierteljahrshefte Zur Wirtschaftsforschung*, 69(4), 601-617.

- Mann, W. C. (2004). The aging population and its needs. *IEEE Pervasive Computing*, 3(2), 12-14.
- Metcalf, D., Milliard, S. T., Gomez, M. & Schwartz, M. (2016). Wearables and the internet of things for health: Wearable, interconnected devices promise more efficient and comprehensive health care. *IEEE Pulse*, 7(5), 35-39.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516.
- Morgan, J. (2014). A simple explanation of 'the internet of things'. Retrieved November, 20, 2015.
- Naranjo, C. A., Busto, U., Sellers, E. M., Sandor, P., Ruiz, I., Roberts, E. A., . . . Greenblatt, D. J. (1981). A method for estimating the probability of adverse drug reactions. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 30(2), 239-245.
- Notra, S., Siddiqi, M., Gharakheili, H. H., Sivaraman, V. & Boreli, R. (2014). An experimental study of security and privacy risks with emerging household appliances. (s. 79-84) *IEEE*.
- O'Neill, M. (2014). The internet of things: Do more devices mean more risks? *Computer Fraud & Security*, 2014(1), 16-17.
- Oxford English Dictionary. (2019a). Haettu osoitteesta <https://en.oxforddictionaries.com/definition/healthcare>
- Oxford English Dictionary. (2019b). Haettu osoitteesta <https://en.oxforddictionaries.com/definition/medicine>
- Pang, Z. (2013). No title. *Technologies and Architectures of the Internet-of-Things (IoT) for Health and Well-Being*,
- Pasluosta, C. F., Gassner, H., Winkler, J., Klucken, J. & Eskofier, B. M. (2015). An emerging era in the management of parkinson's disease: Wearable technologies and the internet of things. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(6), 1873-1881.
- Pawar, A. B. & Ghumbre, S. (2016). A survey on IoT applications, security challenges and counter measures. (s. 294-299) doi:10.1109/CAST.2016.7914983
- Perera, C., Ranjan, R., Wang, L., Khan, S. U. & Zomaya, A. Y. (2015). Big data privacy in the internet of things era. *IT Professional*, 17(3), 32-39.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P. & Georgakopoulos, D. (2014). Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE*

Communications Surveys & Tutorials, 16(1), 414-454.
doi:10.1109/SURV.2013.042313.00197

- Qi, J., Yang, P., Min, G., Amft, O., Dong, F. & Xu, L. (2017). Advanced internet of things for personalised healthcare systems: A survey. *Pervasive and Mobile Computing*, 41, 132-149.
- Rahmani, A., Thanigaivelan, N. K., Gia, T. N., Granados, J., Negash, B., Liljeberg, P. & Tenhunen, H. (2015). Smart e-health gateway: Bringing intelligence to internet-of-things based ubiquitous healthcare systems. (s. 826-834) IEEE.
- Redondi, A., Chirico, M., Borsani, L., Cesana, M. & Tagliasacchi, M. (2013). An integrated system based on wireless sensor networks for patient monitoring, localization and tracking. *Ad Hoc Networks*, 11(1), 39-53.
- Rodrigues, J. J., Segundo, Dante Borges De Rezende, Junqueira, H. A., Sabino, M. H., Prince, R. M., Al-Muhtadi, J. & De Albuquerque, Victor Hugo C. (2018). Enabling technologies for the internet of health things. *Ieee Access*, 6, 13129-13141.
- Saha, H. N., Mandal, A. & Sinha, A. (2017). Recent trends in the internet of things. (s. 1-4) IEEE.
- Shahamabadi, M. S., Ali, B. B. M., Varahram, P. & Jara, A. J. (2013). A network mobility solution based on 6LoWPAN hospital wireless sensor network (NEMO-HWSN). (s. 433-438) doi:10.1109/IMIS.2013.157
- Shakeel, P. M., Baskar, S., Dhulipala, V. S., Mishra, S. & Jaber, M. M. (2018). Maintaining security and privacy in health care system using learning based deep-Q-networks. *Journal of Medical Systems*, 42(10), 186.
- Skiba D. (2013). "Emerging Technologies: The Internet of Things (IoT)", *Nursing Education Perspectives*, vol. 34, no. 1, pp. 63-64.
- Solow, R. (1987). *We'd Better Watch Out*, review of S.S. Cohen and J. Zysman, *Manufacturing Matters: The Myth of the Post-Industrial Economy*, New York Times Book Review, 36.
- Storni, C. (2010). Report on the "Reassembling health workshop: Exploring the role of the internet of things". *J.Participat Med*,
- Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P. & Woelfflé, S. (2010). Vision and challenges for realising the internet of things. *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things*, European Commision, 3(3), 34-36.

- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), 25-33. doi:10.1109/MPRV.2006.2
- WHO World Health Organization. (2019). Haettu osoitteesta https://www.who.int/topics/health_systems/en/
- Xiao, Y. Chen, X. Wang , L. Li, W. Liu, B. & Fang, D. (2013). An immune theory based health monitoring and risk evaluation of earthen sites with internet of things. (s. 378-382) doi:10.1109/GreenCom-iThings-CPSCoM.2013.82
- Xu, B., Xu, L. D., Cai, H., Xie, C., Hu, J. & Bu, F. (2014). Ubiquitous data accessing method in IoT-based information system for emergency medical services. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1578-1586. doi:10.1109/TII.2014.2306382
- Xu, L. D. He, W. & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243. doi:10.1109/TII.2014.2300753
- Yang, L., Ge, Y., Li, W., Rao, W. & Shen, W. (2014). A home mobile healthcare system for wheelchair users. (s. 609-614) IEEE.