



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

IOT:N KÄYTTÖÖNOTON MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET TERVEYDENHUOLLOSSA

Ville Putila

TUOTANTOTALOUS

Kandidaatintyö

Syyskuu 2018



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

IOT:N KÄYTTÖÖNOTON MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET TERVEYDENHUOLLOSSA

Ville Putila

Ohjaaja: Henri Jounila

TUOTANTOTALOUS

Kandidaatintyö

Syyskuu 2018

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Tuotantotalouden koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Putila Ville		Työn ohjaaja yliopistolla Jounila H, tohtorikoulutettava	
Työn nimi IoT:n käyttöönoton mahdollisuudet ja haasteet terveydenhuollossa			
Opintosuunta	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Syyskuu 2018	Sivumäärä 26
<p>Tiivistelmä</p> <p>IoT, eli esineiden internet on 2000-luvulla suureksi puheenaiheeksi noussut teknologinen ilmiö. Ideana IoT:ssa on nimensä mukaisesti erilaisten laitteiden, kuten sensoreiden ja monitorien yhdistäminen internetiin. Luodun verkon avulla on mahdollista muodostaa niin sanottuja älykkäitä järjestelmiä, jotka voivat helpottaa ihmisten elämää hyvinkin laaja-alaisesti.</p> <p>Tässä työssä tarkastellaan IoT:n käyttömahdollisuuksia ja haasteita terveydenhuollon näkökulmasta. Kasvavan ja ikääntyvän väestön tuomat kuormitukset terveydenhuollossa tulevaisuudessa ovat suuria. Uudet teknologiat, kuten itseohjautuvat terveydentilan seurantalaitteet kuitenkin mahdollistavat terveydenhuollon tehostamisen tulevaisuudessa uudelle tasolle. Älylaitteiden mahdollisuuksista terveydenhuollossa on jo olemassa paljon tietoa ja kirjallisuutta, eikä sen potentiaalista ole epäilystä. Tämän tutkielman tarkoituksena onkin pohtia myös niitä seikkoja, jotka hidastavat uuden teknologian käyttöönottoa terveydenhuollossa.</p> <p>IoT:ta voidaan hyödyntää terveydenhuollossa monipuolisesti, esimerkiksi jatkuvaa tarkkailua vaativien potilaiden hoidossa. Useissa tapauksissa uusia teknologioita hyödyntämällä voidaan tarjota enemmän palveluita vähemmällä resursseilla. Erityisesti henkilöstöresurssien tarvetta voidaan vähentää erilaisten toimenpiteiden automatisoinnin avulla. Uusien teknologioiden käyttöönotto terveydenhuollon alalla on kuitenkin vaativa prosessi, johtuen esimerkiksi terveydenhuollon palveluiden luonteesta.</p> <p>Haasteita IoT:n käyttöönotolle on löydetty esimerkiksi tietoturvaan, loppukäyttäjien ja organisaatioihin liittyvistä asioista. Käsiteltävät potilastiedot ovat erittäin arkaluontoisia, eikä täyttä varmuutta monimuotoisen verkon tietoturvasta ole vielä kehitetty. Loppukäyttäjien ja organisaatioihin liittyen haasteena ovat esimerkiksi erilaiset asenteet digitalisaatiota kohtaan. Myös internetin käyttömahdollisuudet voivat asettaa haasteita erityisesti vanhuksiin liittyvissä terveydenhuollon teknologisissa sovellutuksissa. Tämän lisäksi suurena haasteena voidaan pitää kustannustehokkuutta, sillä esimerkiksi uuden teknologian integroiminen jo olemassa oleviin tietojärjestelmiin voi muodostua yllättävän kalliiksi.</p>			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Industrial engineering and management		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Putila Ville		Thesis Supervisor Jounila H, doctoral student	
Title of Thesis Opportunities and challenges of implementing IoT to healthcare			
Major Subject	Type of Thesis Bachelor's Thesis	Submission Date September 2018	Number of Pages 26
Abstract <p>IoT (Internet of things) is a technological innovation that has become a big phenomenon in 21st century. The idea of this technology is to conduct different kind of devices such as sensors and monitors to internet. This created network of devices makes it possible to apply different kind of smart systems, that can make peoples everyday life much easier.</p> <p>This thesis discusses about the possibilities and challenges of implementing IoT to healthcare. Growing and aging population has staged public healthcare to a challenging situation. New technologies, such as remote monitoring devices are in key position in the future with their ability to make the healthcare services more efficient. There has been a lot of discussion about the possibilities of smart devices and the potential is obvious. That is why the purpose of this study is also to examine what is slowing down the digitalization in healthcare industry.</p> <p>IoT can be used in healthcare by multiple ways, for example treating patients who need constant observation. In many cases new technologies can provide more service with less resources. Especially human resources can be saved by automating different kind of actions. However, implementing new technologies to the industry as critical as health care is a very heavy process.</p> <p>Major challenges for implementing IoT to health care has been found in various categories. For example data security, healthcare organisations and end users of services have been recognized to set their own challenges for digitalization. Patient data that is handled in healthcare is very sensitive and there has been no absolute insurance of the security for IoT. Different kind of attitudes against digitalization can raise challenges among the organizations and end users. Also the ability to use internet and new technologies can be a major issue considering the aging population. For the last, but not least there has been discussion whether the implementation can be performed cost effectively or not. Integrating new technologies to existing information systems has been found as an expensive issue.</p>			

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1. JOHDANTO	6
1.1 Työn tarkoitus	7
1.2 Tutkimusmenetelmät.....	8
2. IOT TERVEYDENHUOLLOSSA	9
2.1. Internet of things	9
2.2 Terveydenhuollon sovellutukset	10
2.2.1 Resurssien säästäminen	10
2.2.2 Palveluiden monipuolistaminen ja kansanterveyden parantaminen	12
3. KÄYTTÖÖNOTON HAASTEET	16
3.1 teknologiset haasteet	16
3.2 Tietoturva	18
3.3 Asiakaskuntaan liittyvät haasteet	20
3.4 Organisaatioihin liittyvät haasteet.....	21
YHTEENVETO	22
LÄHTEET	24

1. JOHDANTO

Teknologian kehittymisen myötä yhä useammilla aloilla on meneillään digitalisaation aikakausi. Erilaiset päivittäistä työtä ja elämää helpottavat tekniset sovellutukset ovat olleet ihmisten kiinnostuksen kohteena jo pitkään, eikä ihme. Teknologiset ratkaisut säästävät ihmisiltä aikaa ja rahaa, ja usein jopa samaan aikaan tehostavat toimintaa.

Viimeisen vuosikymmenen aikana suureksi puheenaiheeksi on noussut niin sanottu esineiden internet, eli IoT (Internet Of Things). Kyseinen teknologinen ilmiö perustuu sanan mukaisesti asioiden liittämiseen osaksi internettiä. Verkossa toimivat laitteet ovat helposti tarkkailtavissa ja ohjailtavissa, ja niitä voidaan käyttää usealla eri tavalla tehokkaasti hyödyksi. Laitteita voidaan käyttää esimerkiksi ohjaukseen, seurantaan, jäljittämiseen ja tiedonkeräämiseen.

Myös terveydenhuolto on alana muutoksen edessä. Kasvavan ja ikääntyvän väestön aiheuttamat lisääntyvät hoidontarpeet kuormittavat nykyisiä terveydenhuollon järjestelmiä äärimmilleen. Ikärakenteen muutoksen vuoksi yhä suurempi osa väestöstä on jatkuvan terveydentilan tarkkailun tarpeessa, eivätkä julkisen sektorin terveyspalvelut kykene vastaamaan kysyntään käytössä olevilla resursseilla.

Useat tutkijat näkevät IoT-tekniikan yhtenä merkittävimpänä mahdollisuutena vastata terveydenhuollon kasvavaan kuormitukseen. Tutkijoiden mukaan IoT mahdollistaa esimerkiksi kroonisesti sairaiden potilaiden monitoroinnin paljon pienemmillä resursseilla ja usein potilaat voitaisiin kotiuttaa jo huomattavasti aikaisemmassa vaiheessa, kun heitä voitaisiin monitoroida reaaliajassa myös etäältä. Tämä säästäisi sairaaloiden resursseja huomattavasti.

1.1 Työn tarkoitus

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä terveydenhuollossa tapahtuvaan digitalisaatioon ja analysoida siihen liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita. Työssä keskitytään niin sanottuun esineiden internettiin (IoT), jonka käyttöönotosta terveydenhuollon työkaluna käydään kiivasta keskustelua. Työn tarkoituksena on selvittää, minkälaisia konkreettisia muutoksia IoT:n implementointi terveydenhuollon tietojärjestelmiin voisi tuoda julkisen terveydenhuollon näkökulmasta.

Työssä pyritään selvittämään, kuinka kasvaviin terveydenhuollon tarpeisiin voitaisiin löytää apua IoT-pohjaisista ratkaisuista. Asiaan paneudutaan erilaisista näkökulmista, kuten esimerkiksi vanhustenhuollon, akuutin terveydenhuollon, tartuntatautien, työterveyden ja sairaaloiden toiminnan näkökulmista. Tällä tavoin pyritään saamaan kokonaiskuvaa siitä, kuinka IoT konkreettisesti voisi auttaa ratkaisemaan tulevaisuudessa kasvavia julkisen terveydenhuollon resurssiongelmiä.

Lisäksi tarkoituksena on löytää ne asiat, jotka seisovat IoT:n käyttöönoton esteenä tai hidasteena. Julkinen terveydenhuolto alana on hyvinkin jäykkä laajamittaisille muutoksille ja hidastavia tekijöitä on useita. Tässä työssä perehdytään esimerkiksi teknologiaan, tietoturvaan, asiakaskuntaan ja organisaatioihin liittyviin haasteisiin. Näistä erilaisista aihealueista pyritään löytämään ne suurimmat ja merkityksellisimmät kulmakivet, jotka hidastavat uuden tekniikan käyttöönottoa.

Edellä esitettyjä tavoitteita lähdetään tarkastelemaan ennalta asetettujen tutkimuskysymysten pohjalta:

- Miten kasvavaan terveydenhuollon kuormitukseen voitaisiin vastata IoT pohjaisilla ratkaisuilla?
- Mitkä asiat muodostuvat pullonkaulaksi IoT:n käyttöönotolle terveydenhuollossa?
- Millaisin keinoin käyttöönottoa voitaisiin vauhdittaa?

1.2 Tutkimusmenetelmät

Tämä tutkimus suoritettiin kirjallisuuskatsauksena, jolloin empiiristä tutkimusta ei ole. Tutkimuskysymyksiin pyrittiin vastaamaan aiheesta kirjoitettujen alan jurnaaleissa julkaistujen artikkeleiden ja konferenssiartikkelien avulla. Tutkimuksen tulokset saatiin keräämällä ja yhdistelemällä tietoa eri lähteistä, ja kokonaisuuden avulla uusia johtopäätöksiä tekemällä.

Työtä aloittaessa valittiin noin kymmenen hieman eri näkökulmasta aiheeseen liittyvää alan jurnaaleissa julkaistua tieteellistä artikkelia, joiden pohjalta luotiin ensimmäinen hahmotelma tutkimukseen liittyvästä konseptista ja asetettiin tutkimukselle sopivat tutkimuskysymykset. Näihin kysymyksiin lähdettiin etsimään vastauksia laajentamalla työhön liittyvää kirjallisuutta.

Tietoa etsittiin monipuolisesti esimerkiksi teknologiaan, terveydenhuoltoon ja organisaatiomuutoksiin liittyen. Kasatun tiedon pohjalta muodostettiin kokonaiskuva käsiteltävästä ilmiöstä ja pyrittiin löytämään myös hieman uusia näkökulmia aiheeseen. Lopuksi käsitellyt asiat summattiin ja pyrittiin löytämään tiivistettyjä vastauksia työn alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

2. IOT TERVEYDENHUOLLOSSA

IoT on yksi 2000-luvun suurimpia teknologisia ilmiöitä ja siihen liittyviä tieteellisiä artikkeleita on julkaistu vuosina 2011 – 2015 keskimäärin yli 100 000 kappaletta vuodessa (Farahani ym. 2018). Tässä osiossa esitellään IoT:ta ilmiönä, sekä siihen liittyvää tekniikkaa. Pohditaan eri lähteiden kautta IoT:n teknologisia mahdollisuuksia yleisesti, jonka jälkeen katson aihetta terveydenhuollon näkökulmasta. Eritellään terveydenhuollon näkökulmasta tärkeimmät IoT:n sovellutukset, sekä niihin liittyvä teoria.

2.1. Internet of things

Internet of things (esineiden internet) käsitteenä ei ole aivan uusi. Ensimmäisen kerran IoT-termiä käytettiin vuonna 1999. Tällöin Kevin Ashton määritteli IoT:n maailmanlaajuiseksi verkoksi, joka muodostuu yhteen linkitetyistä tiettyä kommunikaatioprotokollaa noudattavista esineistä ja asioista. Esineiden internetin katsottiin toimivan yhdistävänä teknologiana perinteisille työkentille, systeemeille, hallintalaitteille, automaatiolle ja langattomille verkoille. Ensimmäinen IoT:ssa käytetty tekniikka oli yhä käytössä oleva radiotaajuinen tunnistustekniikka RFID (Radio Frequency Identification). (Kulkarni & Sathe 2016)

Käsite on ajan saatossa vakiintunut ja tarkentunut. Nykyään IoT ymmärretään laajana ja älykkäänä elämää helpottavana tietoliikenneverkkona, jossa jokainen fyysinen objekti on varustettu kommunikaation mahdollistavilla sensoreilla ja lähetinvastaanottimilla (Kodali ym. 2017). IoT mahdollistaa ihmisten, esineiden ja virtuaalisten ympäristöjen vuorovaikutuksen internetin välityksellä luoden älykkäitä kokonaisuuksia. (Moosavi ym. 2015).

Nykyään esineiden internet on paljon puhuttava ilmiö, jonka uskotaan tuovan mullistuksia ihmiskunnan arkielämään. IoT:ta voidaan monella tapaa hyödyntää elämän helpottamiseksi, sillä se mahdollistaa ihmisten ja esineiden yhdistämisen ja niiden

saumattoman vuorovaikutuksen. Tämän ajatuksen pohjalta voidaan rakentaa hajautetumpia tietoliikenneympäristöjä ja luoda sitä kautta lukuisia uusia sovellutuksia, kuten esimerkiksi älykoteja, älykästä liikennöintiä, älykaupunkeja sekä älykkäitä puettavia laitteita erilaisiin tarkoituksiin. (Farahani ym. 2017)

2.2 Terveydenhuollon sovellutukset

Terveydenhuolto on eräs IoT:n merkittävimmistä käyttökohteista tulevaisuudessa ja sen luomat mahdollisuudet, sekä haasteet ovat luoneet paljon keskustelua ympäri maailman. Vuosina 2011 – 2015 Terveydenhuoltoon liittyviä IoT-aiheisia tieteellisiä artikkeleita julkaistiin keskimäärin liki 30 000 kappaletta vuodessa (Farahani ym. 2018). Tämä kertoo omalta osaltaan, kuinka merkittävä teknologia on kyseessä.

2.2.1 Resurssien säästäminen

Eräs suurimmista maailmanlaajuisista haasteista terveydenhuollossa on kasvava ja ikääntyvä väestö (Farahani ym. 2018). Ikääntyvän väestön terveydentila vaatii jatkuvaa tarkkailua, mikä luo suuria haasteita tämänhetkisille terveydenhuollon järjestelmille (Yang ym. 2016). Jatkuvan seurannantarpeen aiheuttamaa kuormitusta voidaan mahdollisesti kuitenkin keventää IoT-pohjaisilla ratkaisuilla, jotka mahdollistavat potilaan seuraamisen, jäljittämisen ja monitoroinnin etänä (Kodali ym. 2017). Myös Woo ym. (2018) kirjoittavat artikkelissaan, että juuri etämonitoroinnin mahdollisuus on tärkeä syy IoT:n saamalle kasvavalle huomiolle (Woo ym. 2018).

Etämonitorointi helpottaa ja jopa tehostaa potilaan tarkkailua. Lääkäri voi tarkastaa potilaan terveydentilan vain tiettyinä aikoina päivästä, mutta radikaalit terveydentilan muutokset voivat ilmetä minä hetkenä hyvänsä. Tämän vuoksi ympärivuorokautinen tarkkailu on tärkeää ja joissain tapauksissa myös välttämätöntä. IoT tekniikalla tarkkailtujen potilaiden elintoiminnot ovat koneiden kautta seurannassa täysin

keskeyttämättömästi ja kriittiset terveydentilan muutokset voidaan havaita heti tapahtumahetkellä. (Darshan & Anandakumar 2015)

IoT:lle on olemassa useita sovellutuksia vanhusten terveydenhuollossa. Etämonitorointi mahdollistaa esimerkiksi vanhusten keskuudessa yleisen sydäninfarktin jälkeisen kotiuttamisen nopeammin. On tutkittu, että potilaan siirtäminen etämonitorointiin sydäninfarktin jälkeen ei merkittävästi nosta potilaiden kuolleisuutta, mutta sen sijaan parantaa elämänlaatua huomattavasti. Kyseisessä tutkimuksessa seurattiin vanhojen potilaiden kotiutumista sydäninfarktin jälkeen 12 kuukauden ajanjaksossa. (Olivari ym. 2018)

Monitorointia mahdollistavia tekniikoita on jo kehitetty useita. Niistä osa on tarkoitettu potilaan elintoimintojen mittaamiseen sairaalolosuhteissa ja toiset, niin sanotut puettavat laitteet kulkevat potilaan mukana hänen normaalissa elinympäristössään. Puettavat laitteet voivat mitata esimerkiksi potilaan sykettä, sekä kehon lämpötilaa. Devara ym. kirjoittavat artikkelissaan rannekkeesta, joka mittaa potilaan sykettä n. 98% tarkkuudella ja lämpötilaa n. 99% tarkkuudella (Devara ym. 2018). Artikkelissa esitelty ranneke on suunniteltu vastaamaan kustannustehokkaan terveydenhuollon vaatimuksiin (Devara ym. 2018).

Myös sairaaloiden toimintaa voidaan tehostaa. Henkilöstöressurit ovat kasvavan kysynnän myötä yksi terveydenhuollon kriittisimpiä asioita. Asplundin ja Nadjm-Tehraniin (2016) mukaan IoT-teknologia mahdollistaa tulevaisuudessa tarvittavaa palveluiden lisäämistä ilman tarvetta lisätä henkilökuntaa. Lääkärin työaika voidaan tulevaisuudessa käyttää myös tehokkaammin hyödyksi, kun potilaasta tarvittava informaatio on saatavilla jo ensimmäisessä tapaamisessa. Tällöin lääkärin ei tarvitse itse ottaa näytteitä tai odottaa tuloksia. Tällä tavalla terveydenhuollossa on myös tulevaisuudessa mahdollista säästää rahaa. (Asplund & Nadjm-Tehrani 2016)

Henkilöstöressurssien lisäksi logistiikka on tärkeässä osassa sairaaloiden toimintaa. Terveydenhuoltoalalla ollaan viime aikoina panostettu varastointijärjestelmien optimointiin uusien teknologioiden myötä. Erityisesti seurantalaitteiden ja tiedonkäsittelyn kehitys ovat luoneet pohjaa uusille, ideaaleille varastointimalleille.

Varastojen optimointi on tärkeä osa sairaaloiden resurssien hallintaa ja esimerkiksi mahdollisuus tarkkailla potilasmääriä reaaliajassa on ehdottoman tärkeää, jotta voidaan tehdä oikeita päätöksiä resurssien kapasiteettien suhteen. (Man ym. 2015)

Sairaalan yleinen toiminta voidaan saada sujuvammaksi teknologian avulla. Kasvava väestö sairauksineen ja vammoineen aiheuttaa sairaaloille aikataulullisia haasteita. Jokaista potilasta ei kyetä tutkimaan niin perinpohjaisesti, kuin usein olisi tarpeellista. Esimerkiksi lääkäreillä ei usein ole aikaa tutustua potilaan päivittäisiin rutiineihin, kuten aktiivisuuteen, ruokavalioon, unitottumuksiin tai sosiaaliseen elämään. Nämä aspektit ovat kuitenkin usein erittäin tärkeitä ottaa huomioon mietittäessä potilaan diagnoosia ja hoitoa. IoT:n avulla tieto potilaista on mahdollista kerätä kuluttamatta lääkärin aikaa. (Farahani ym. 2018)

Myös huoltotoimenpiteet vaativat suuria resursseja terveydenhuollon alalla. On kuitenkin tutkittu, että terveydenhuollossa tarvittavia huoltotoimenpiteitä voidaan tulevaisuudessa tehostaa IoT:n avulla. Asplundin ja Nadjm-Tehranin tekemän kyselytutkimuksen mukaan esimerkiksi laitteiden monitorointi etäältä nähtiin suureksi hyödyksi ja rahaa voitiin säästää, kun huoltohenkilökunnan ei tarvinnut aina matkustaa paikan päälle suorittamaan toimenpiteitä. Myös laitevalmistajat voivat hoitaa ylläpidon ja järjestelmien päivityksen etäältä käsin ja usein jopa automaattisesti. (Asplund & Nadjm-Tehrani 2016)

2.2.2 Palveluiden monipuolistaminen ja kansanterveyden parantaminen

Resurssien säästämisen lisäksi keskustelua on käyty siitä, kuinka uusilla teknologisilla ratkaisuilla yleistä terveyttä maailmassa voitaisiin parantaa. Keskustelussa esiin nousseita aiheita ovat esimerkiksi liikenteeseen, tartuntatauteihin ja työterveyteen liittyvät asiat.

Ihmisten lisäksi IoT mahdollistaa myös liikenteen ja kuljetuspalveluiden monitoroinnin, mikä liittyy terveydenhuoltoon olennaisesti. Tietoa liikenneverkostojen ja

kuljetuspalveluiden tilanteesta kerätään ja analysoidaan reaaliajassa, jolloin puhutaan niin sanotusta älykkäästä kaupungista. Älykäs kaupunki mahdollistaa esimerkiksi ambulanssien nopean ja saumattoman toiminnan kiireellisissä tapauksissa. Myös ambulanssi itsessään voi olla älykäs. Sensoreilla ja tarvittavilla tietoliikenneyhteyksillä varustettu älyambulanssi voisi esimerkiksi tehdä nopeita diagnooseja ja helpottaa sekä tehostaa sairaalassa tehtäviä järjestelyjä ennen potilaan saapumista. (Farahani ym. 2018)

Akuutissa terveydenhuollossa nopeus ja tehokkuus ovat avainasemassa. IoT-pohjaisen toiminnan avulla voidaan estää ambulansseja juuttumasta ruuhkaan kirjoittavat Vardhana ym. (2018) artikkelissaan. He esittelevät pilvilaskentaan pohjautuvan mallin, jonka avulla ambulanssit sekä niiden tila, suunta ja kohde tunnistetaan. Näin voidaan luoda optimaaliset reitit kullekin ambulanssille ja säästää ihmishenkiä. Lisäksi ambulanssin ympärillä olevaa liikennettä tarkkaillaan CCTV -kameran avulla ja matkaa hidastavat ajoneuvot voidaan tunnistaa tarvittavia toimenpiteitä varten. Myös kohteena olevaa sairaalaa informoidaan tulevasta ambulanssista. Mallissa tarvittavat algoritmit ja laskentatoimenpiteet tehdään MATLAB-ohjelmalla. (Vardhana ym. 2018)

Liikenne yksistäänkin voi olla turvallisuutta ja terveyttä vaarantava tekijä. Yksi kasvava ongelma on moottoroitujen ajoneuvojen lisääntyminen ja siitä aiheutuvat ruuhkat, sekä onnettomuudet (Vardhana ym. 2018). Celesti ym. (2017) kirjoittavat artikkelissaan, että suurien nopeuksien väylillä ja moottoriteillä tapahtuvat nopeat liikenteen hidastumiset aiheuttavat paljon onnettomuuksia. Yllättävien hidastumisien syynä voivat olla esimerkiksi toiset onnettomuudet, tietyöt tai ruuhkautuminen. Joillain suurilla teillä on jo käytössä liikennettä seuraavia sensoreita, jotka mobiilisovelluksen avulla pitävät tienkäyttäjät tietoisina liikenteen tilasta ja tapahtumista. Valitettavasti kaikkialla vilkkaasti liikennöidyillä moottoriteillä tilanne ei kuitenkaan vielä ole yhtä hyvä. (Celesti ym. 2017)

Yksi paljon keskustelua herättänyt aihe on maailmalla leviävien tartuntatautien ehkäisy. IoT:n avulla voidaan tarkkailla tartuntatautien leviämisen kriittisiä tekijöitä. Kasvavan yleisen käsityksen mukaan sosiaalinen vastuunkanto ja ei lääketieteelliset toimenpiteet ovat tärkeässä osassa tartuntatautien ehkäisemisessä (Kickbush & Sakellarides 2006).

Sareen ym. (2017) esittelevät artikkelissaan zika-viruksen hallintaan kehitetyn systeemin, joka kykenee tunnistamaan infektoituneet käyttäjät ja rajaamaan tartuntoihin liittyvät riskialueet. Systeemi jäljittää ihmisiä älypuhelimien GPS paikantimien avulla, sekä seuraa tautia levittävien hyttysten liikettä erillisillä sensoreilla. Yksittäisen käyttäjän Zika-virustartunta voidaan todeta älypuhelimella n.95% tarkkuudella ja paikannustiedon avulla saadaan tietoa taudin leviämisestä. (Sareen ym. 2017)

Esitelty systeemi on hyvin monikäyttöinen. Tartuntojen ehkäisemisen lisäksi IoT pohjaisella systeemillä voidaan parantaa potilaiden terveyttä lataamalla järjestelmään tietoa heidän elinympäristöstään ja elintoiminnoistaan. Lisäksi hyttysten liikettä ja ympäristön olosuhteita mittaavien sensorien avulla on mahdollista jäljittää tautia levittävien hyttysten pesimäpaikat. GPS:n avulla infektoituneet käyttäjät, tautia levittävät hyttysset ja niiden pesimäpaikat voidaan esittää google maps- kartalla ja auttaa ihmisiä välttämään riskialueita. (Sareen ym. 2017)

Väestön roolia pandemioiden ehkäisemisessä pidetään suurena. Kickbushin ja Sakellaridesin (2006) mukaan tietoiset ja kykenevät kansalaiset ovat paras lääke parantamaan ihmisten kykyä välttää tartuntoja. Ihmisten tulee ymmärtää useiden eri sidosryhmien roolit ja luottaa hallitukseen sekä julkiseen terveydenhuoltoon. Ihmisten täytyy myös kyetä itse toimimaan järkevästi ja tekemään oikeita päätöksiä hädän hetkellä. (Kickbush & Sakellarides 2006) Tällöin aiemmin mainitut riskialueiden kartoitukset ja etädiagnoosien mahdollisuus voivat olla kriittisessä asemassa yksilön päätöksiä apuvälineenä (Sareen ym. 2017).

Myös työterveyden alalla on käyty keskustelua uusien teknologioiden mahdollisuuksista. Esimerkiksi kehittyvä puettavien seurantalaitteiden tekniikka mahdollistaa niiden hyödyntämisen terveydentilan tarkkailuun myös työpaikoilla. Esimerkiksi raskasta rakennustyötä tekevien työntekijöiden rasitusta voidaan seurata sykerannekkeen avulla. Hwang ja Lee (2017) kirjoittavat artikkelissaan, että suhteuttamalla työskentelyn aikana olleen sykkeen työntekijän lepo- ja maksimisykkeisiin, voidaan saada relevanttia ja yksilötasoisia tietoa työntekijöiden rasitustasosta. Mitattu syke kertoo työntekijän kokonaisrasituksen, eikä tällöin tarvitse ottaa erikseen huomioon esimerkiksi vallitsevia sääolosuhteita. (Hwang & Lee 2017)

Myös turvallisuuden liittyvä raportointi on kokenut suurta hyötyä IoT:n kehittämisestä ja teollisuuden sopivista mittausmenetelmistä (Rajmohan & Srinivasan 2018). On huomattavaa, että eri ihmiset voivat kokea samanlaisen työmäärän hyvin erillä tavalla ja erilaiset rasitustasot voivat vaikuttaa yksilön uupumisen lisäksi myös riskiin altistua onnettomuuksille, sairauksille ja laskevalle työn tuottavuudelle. Näin ollen olisi mahdollista ottaa työvoimasta tehokkaammin hyötyä vaarantamatta kuitenkaan yksittäisten työntekijöiden terveyttä, turvallisuutta tai tuottavuutta. (Hwang & Lee 2017).

3. KÄYTTÖÖNOTON HAASTEET

Tässä kappaleessa käsitellään IoT:n käyttöönoton haasteita. IoT on jo pitkään ollut suurena puheenaiheena terveydenhuollossa ja mahdollisuuksia on pidetty valtavina. Silti kyseisen tekniikan sovellutukset ovat vielä tähänkin päivään mennessä verrattain vähäisiä. Pyrkimyksenä on kirjallisuuskatsauksen keinoin summata niitä tekijöitä, jotka ovat terveydenhuollon laajemman digitalisaation esteenä tai hidasteena.

3.1 Teknologiset haasteet

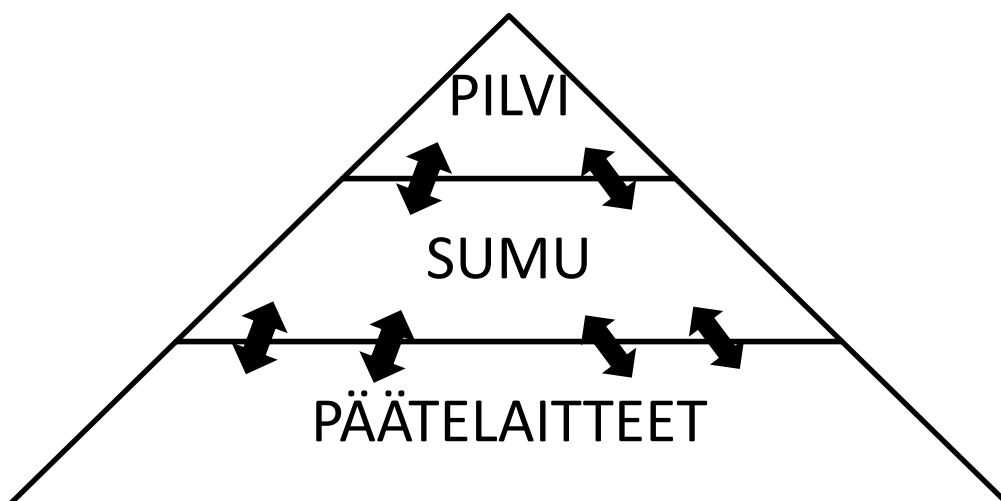
Teknologiset ratkaisut luovat pohjan onnistuneelle käyttöönotolle, ilman tekniikka ei ole mitään käyttöönotettavaa. IoT:n potentiaali tulevaisuudessa on suuri, mutta sen toteutumiseksi vaaditaan useita kustannustehokkaita teknologisia ratkaisuita ja useiden erilaisten laitteiden yhteentoimivuuden varmistamista. Jotta erilaiset laitteet saadaan toimimaan yhteisessä verkossa, tarvitaan standardisoituja liitäntöjä, protokollia ja ohjelmointirajapintoja (Tarkoma & Ailisto 2013). Standardisointi on suuressa roolissa uusien teknologioiden kehityksessä, missä käytettävyys on erityisen tärkeää (Asplund & Nadjm-Tehrani 2016).

IoT:n käyttöönotossa ei enää varsinaisesti odoteta mitään tiettyä tekniikan kehitystä. Käytännössä kaikki tarvittavat teknologiset ratkaisut IoT:n käyttöönotolle ovat jo olemassa. Langattoman tiedonsiirron tekniikat, kuten Long Term Evolution (LTE), Wireless personal area networking (WPAN), WLAN ja Bluetooth mahdollistavat tiedonsiirtämisen esimerkiksi IPv6 ja 6LoWPAN protokollia pitkin. Jotta IoT voitaisiin laajamittaisesti implementoida osaksi jo olemassa olevia tietojärjestelmiä, tarvitaan kuitenkin vielä paljon tutkimustyötä ja standardisointia. (Tarkoma & Ailisto 2013)

Käytettäviin laitteisiin liittyy myös omat haasteensa ja näkemykset pullonkauloista vaihtelevat hieman. Fyysisten laitteiden suurimpana haasteena Tarkoma ja Ailisto (2013) pitävät energian saantiin liittyviä asioita, kuten akkujen kokoa ja toiminta-aikoja (Tarkoma & Ailisto 2013). Toisaalta Devara ym. (2018) kirjoittavat, että puettavissa

laitteissa, kuten esimerkiksi elintoimintoja mittaavissa rannekeissa ongelmana on kaupallisten tuotteiden huono kustannustehokkuus terveydenhuollon näkökulmasta (Devara ym. 2018). Haasteita aiheuttaa myös se, että IoT-pohjaisten ratkaisujen implementointi jo olemassa oleviin järjestelmiin on usein huomattavasti kalliimpaa, kuin niiden sisällyttäminen uusiin tuotekehitysprosesseihin. Tästä syystä kriittisillä aloilla, kuten terveydenhuollossa täydellisen yhdistettävyyden saavuttaminen tulee kestämään vielä useita vuosia. (Asplund & Nadjm-Tehrani 2016)

Terveydenhuollon järjestelmät ovat laajoja ja toimiva tiedonsiirto-, sekä analysointi edellyttävät vankkaa alustaa toiminnalleen (Darshan & Anandakumar 2015). Tämän vuoksi perinteinen pilvipalvelu ei ole paras ratkaisu terveydenhuollon IoT:n pohjaratkaisuksi. Sen sijaan tehokkaampi ratkaisu olisi niin sanottu Fog computing (Farahani ym. 2018). Tässä useampiin yhteyspisteisiin perustuvassa tekniikassa laitteet voivat toimia pilven sijaan sitä ympäröivissä palvelimissa, jotka muodostavat nimessäkin esiintyvän ”sumun” (Kuva 1). Palvelimet voivat kerätä ja analysoida dataa, sekä syöttää tärkeimmät tiedot pilvipalvelimella sijaitsevaan tietopankkiin. Systemin kapasiteetti ja toimivuus paranevat, kun kaikki tieto ei kulje suoraan pilvipalvelimen kautta. (Sareen ym. 2017)



Kuva 1. Fog computing

Suurien tietomäärien prosessointi nopeasti vaatii myös sille sopivan infrastruktuurin tuekseen (Darshan & Anandakumar 2015). Jotta laitteet saadaan liitettyä osaksi

verkkoa, tarvitsevat ne kaikki toimivan verkkoyhteyden. Laitteet voidaan liittää joko suoraan internettiin, tai vaihtoehtoisesti useampi laite voidaan liittää palvelimeen, joka taas on yhteydessä internettiin. Asplund & Nadjm-Tehrani (2016) kirjoittavat artikkelissaan, että tietoliikenteen lisäksi huomion arvoista on systeemien tarvitseman virran mahdollistaminen (Asplund & Nadjm-Tehrani 2016).

Infrastruktuurin rakentamisessa kattavuus ja toimivuus ovat tärkeitä. Zamanifarin (2018) mukaan IP-pohjaiset langattomat mobiiliverkot ovat yksi tärkeimmistä osa-alueista IoT:n tarvitsemassa infrastruktuurissa. Langattomissa mobiiliverkoissa haasteita aiheuttavat yhteyksien ylläpitäminen, huoltaminen ja yhdistettävyyys. Erityisen haastavaa toimivan tietoliikenneverkon rakentaminen on aikasensitiivisten sovellutusten, kuten juuri terveydenhuollon näkökulmasta. (Zamanifar 2018)

3.2 Tietoturva

Tietoturvaan liittyvät haasteet ovat hyvin olennainen osa IoT-pohjaisia terveydenhuollon ratkaisuja. Luon ym. (2018) mukaan terveydenhuollon verkkoon liitetyt sensorit ovat jopa tavallisia verkkolaitteita alttiimpia tietoturvariskeille. Arkojen potilastietojen siirtämiseen on kehitetty jo useita erilaisia malleja, mutta ne eivät ole vielä kehittyneet täysin luotettaviksi lukuisia erilaisia uhkia vastaan. Luo ym. (2018) esittelee myös artikkelissa erään tieturvamallin potilastiedoille, mikä perustuu tiedon jakamiseen useille palvelimille. Mallin ideana on, että vaikka yksi palvelimista altistuisi hyökkäykselle, ei sieltä voisi vuotaa kuin sekavia, yksistään merkityksettömiä tiedonmuruja. (Luo ym. 2018)

Monimuotoiset systeemit tuovat aina mukanaan tietoturvaan liittyviä haasteita. Kun implementoidaan monimuotoisia verkkoja erilaisine päätelaitteineen, kohdataan kahdenlaisia uusia tietoturvariskejä yksinkertaiseen verkkoon verrattuna. Ensinnäkin useiden laitteiden liittäminen verkkoon tuo lisää konkreettisia alustoja tietoturvaiskuille. Toiseksi tullaan huomaamaan, etteivät vanhat tietoturvallisuuden puolustusstrategiat ole enää valideja uusien laitteiden erilaisten ominaisuuksien myötä. (Asplund & Nadjm-

Tehrani 2016) Myös Moosavi ym. (2015) kirjoittavat, että potilastietojen käsittelyn, erityisesti tiedonsiirron turvallisuus on ratkaiseva asia IoT:n tuomisessa osaksi terveydenhuoltoa. Vahva kulunvalvonta systeemi on tärkeässä roolissa tietomurtojen estämisessä. Terveydenhuollolle ihanteellinen kulunvalvonta systeemi olisi kuitenkin sellainen, joka sallisi joissain tilanteissa myös potilaan delegoida käyttöoikeutensa läheiselleen. (Khan & Sakamura 2016)

Toimiva verkko tarvitsee erilaisia teknologioita tiedonsiirron eri vaiheisiin. Keskeisimpiä IoT:ssa käytettäviä teknologioita ovat Bluetooth, RFID, Wireless Network ja ZigBee. Näillä kaikilla tekniikoilla on omat ominaiset tietoturvasuuteen liittyvät piirteensä, mukaan lukien heikkoudet. Esimerkiksi Bluetooth-laitteita voidaan joissain tapauksissa murtaa lähettämällä niihin käyntikortilta näytävä SMS-viesti. Tämän jälkeen hyökkääjä saattaa olla tallennettuna laitteeseen ja voi lähettää siihen automaattisesti avautuvaa dataa. Myös kahden Bluetooth-laitteen välillä kulkevaa tietoa voidaan pyrkiä kaappaamaan. RFID-teknologiassa taas on mahdollisuus niin sanottujen tagien, eli tekniikassa käytettävien tunnisteen kopioinnille ja luvattomalle lukemiselle. (Grabovica 2016)

Langattomien verkkojen (WiFi ja ZigBee) uhkana on, jos hyökkääjä pääsee tunkeutumaan verkon käyttäjäksi ja saamaan käsiinsä verkossa liikkuvaa tietoa, esimerkiksi murtamalla verkon suojaukseen käytettävän avaimen. Tietomurtojen varalta kaikissa tekniikoissa (Bluetooth, RFID, WiFi ja ZigBee) voidaan käyttää tietojen salaamista, eli niin sanottua kryptausta (Grabovica 2016). Tietoturvan varmistamista kuitenkin hankaloittavat esimerkiksi kapasiteettiset erot sensoreiden ja tietokoneiden välillä. Terveydenhuollossa käytettävät sensorit ovat äärimmäisen pelkistettyjä, eivätkä selviydy tiedon salaukseen liittyvistä raskaista kryptograafisista laskentatoimenpiteistä. (Moosavi ym. 2015)

3.3 Asiakaskuntaan liittyvät haasteet

Vanhukset ovat yksi suurimmista syistä tarpeelle implementoida IoT:ta ja erityisesti älykästä kotihoitoa osaksi terveydenhuoltoa. Loppukäyttäjänä olevat ikääntyneet ihmiset asettavatkin suuria haasteita uuden teknologian käyttöönotolle. Heidän perustarpeiden, uuteen teknologiaan suhtautumisen ja päätöksenteon kannustavien tekijöiden ymmärtäminen ovat tärkeässä asemassa, jotta heidän hyvinvointiansa edistävää uutta teknologiaa voidaan ottaa käyttöön. (Pal ym. 2018)

Psykologisten aspektien lisäksi huomionarvoisia asioita ovat loppukäyttäjien mahdollisuudet ja valmiudet internetiä vaativat teknologian käyttöön. Tanskalaisen tutkimuksen mukaan suurimmalla osalla yli 58 vuotiaasta väestöstä on kotonaan internetyhteydellä varustettu tietokone. Prosentit kuitenkin tippuivat, mitä vanhemmista ihmisistä oli kyse, ja myös henkilön sukupuolella huomattiin olevan vaikutusta internetin käyttöön. Vähiten internetyhteydellä varustettuja tietokoneita oli 85-94 vuotiailla naisilla, joista alle joka kolmannella oli internetyhteys kotonaan. Tutkimuksessa tuodaan myös esille internetin käyttö kohderyhmässä. Tutkimuksen mukaan suurin osa tanskalaisista yli 58 vuotiaista myös käyttää internetiä vähintään kerran kuukaudessa, mutta huomattavaa on, että kaikista yli 85 vuotiaista vain noin kolmasosa. (Siren & Knudsen 2017)

Myös asenteissa digitalisaatiota kohtaan huomattiin eroja tutkimuksessa ja tuloksena saatiin kolmeen erilaiseen ryhmään kuuluvia henkilöitä. Ensimmäisen ryhmän henkilöt olivat vahvasti yhtä mieltä digitalisaatioon liittyvistä eduista ja vain osittain samaa mieltä siihen liittyvistä haitoista, vastaajista heihin kuului noin 41% ja he olivat tyypillisesti alle 74 vuotiaita kumppanin kanssa eläviä ja korkeasti koulutettuja. Toisen ryhmän henkilöt taas olivat yhtä mieltä sekä hyödyistä että haitoista ja heitä yhdisti keskimääräinen koulutustaso, sekä kumppanin kanssa asuminen ja vastaajista heitä oli noin 32%. Kolmas ryhmä taas koki digitalisaation haitat huomattavasti etuja voimakkaampina ja heitä vastaajista oli noin 27%. Tyypillinen kolmanteen ryhmään kuuluva henkilö oli tutkimuksen mukaan maaseudulla asuva yli 75 vuotias nainen, joilla oli matala koulutustaso. (Siren & Knudsen 2017)

3.4 Organisaatioihin liittyvät haasteet

Haasteita voi loppukäyttäjän lisäksi ilmetä myös terveydenhuollon henkilökunnan keskuudessa. Teknologiaan tukeutuvaa terveydenhuoltoa esitetään tehokkaaksi työkaluksi klinikoille, joissa työntekijät voisivat työskennellä tehokkaammin. Osa sidosryhmistä kuitenkin uskoo, että teknologia luo ylimääräistä työtä ja näin ollen pakottaa käyttäjänsä työskentelemään entistä enemmän. (Chen 2018) Harmonia teknologian ja henkilökunnan välillä on välttämätöntä, jotta terveydenhuollossa voidaan saada aikaiseksi muutosta. Inhimillinen aspekti on kuitenkin saanut teknologiaa vähemmän huomiota implementaatioprosesseissa. (Andre 2018)

Tutkimus osoittaa, että implementoinnin onnistumisessa on havaittavissa selkeitä tilastollisia eroja riippuen siitä, millainen työyhteisö on kyseessä. Erottavia tekijöitä on niin yhteisvaikutuksellisissa, kuin hallinnollisissakin ulottuvuuksissa. Hyvässä työyhteisössä työntekijät ovat lojaaleja ja hyväksyvät muutoksen, kun heitä pyydetään työskentelemään yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi. On kuitenkin tärkeää säilyttää kriittinen ja rakentava tarkastelu, kun implementoidaan uusia työskentelytapoja. Tutkimuksen mukaan paremmin implementoinnissa onnistuneella työyhteisöllä oli enemmän tilaisuuksia työntekijöiden mielipiteiden ilmaisulle ja vapaalle keskustelulle. (Andre 2018)

Terveydenhuollon järjestelmät ovat myös tarkoin säädeltyjä, mikä omalta osaltaan hidastaa kaikenlaisia muutoksia alalla. Asianmukaisten virnaomaisen on testattava kaikki laitteet ennen niiden hyväksymistä lääkinnälliseen käyttöön. Erilaiset säädökset voidaan nähdä muutoksien esteenä, mutta toisaalta myös hyvänä asiana. (Asplund & Nadjm-Tehrani 2016)

YHTEENVETO

Tässä osassa pohditaan kirjallisuuskatsauksen pohjalta vastauksia asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Lisäksi pyritään luomaan päätelmiä edellä kuvatun teorian avulla ja muodostamaan kokonaiskuvaa siitä, missä tilassa IoT:n käyttöönotto terveydenhuollossa tällä hetkellä on.

Kuten aiemmin mainittua, ovat IoT:n käyttömahdollisuudet terveydenhuollossa varsin laajat ja merkitykselliset. Erityisesti ikärakenteen muutokset ja väestön kasvu aiheuttavat julkiselle terveydenhuollossa suuria haasteita, joihin IoT-pohjaiset ratkaisut voisivat tuoda merkittävää helpotusta. Potilaiden monitorointi ja avustaminen voitaisiin toteuttaa huomattavasti pienemmällä henkilökunnan resursseilla ja saada jopa entistä tarkempaa sekä ajankohtaisempaa tietoa potilaiden terveydentilasta. Niin sanotuissa älykodeissa asuvat potilaat olisivat ympärivuorokautisessa elintoimintojen, aktiivisuuden ja avuntarpeen seurannassa.

Älykotien lisäksi kaupunkien laajuiset sensoriverkostot voisivat tulevaisuudessa auttaa merkittävästi esimerkiksi akuutin terveydenhuollon tarjonnassa. Ambulanssien toimintaa voitaisiin tehostaa esimerkiksi nopeammilla ja paremmilla reittivalinnoilla, paikannustekniikoilla ja välittömällä diagnoosilla. Myös sairaaloiden tehokkuudessa on optimoimisen varaa, esimerkiksi paremman tiedonkulun mahdollistaman tarkemman hoitosuunnittelun ja resurssienhallinnan osalta.

Julkista terveydenhuoltoa rasittavien laajalti leviävien tartuntatauti-ehkäisyyn on myös nostettu esille IoT-pohjaisia ratkaisuja. Työssä esitellyn mallin mukaan älypuhelimilla, sensoreilla ja pilvipalvelulla toimivalla systeemillä olisi mahdollista ehkäistä pandemioiden puhkeamista rajaamalla riskialueita ja paikantamalla tautia levittäviä hyttysiä, sekä niiden pesimäpaikkoja. Mallin mukaan systeemiin liitetyllä älypuhelimella olisi mahdollista mm. todeta yksilön Zikavirus-tartunta n. 95% tarkkuudella.

Jokin kuitenkin hidastaa IoT:n käyttöönottoa terveydenhuollossa. Aiheesta on kirjoitettu huomattava määrä artikkeleita vuosittain erityisesti 2010-luvulla, mutta silti käytäntöön

asti päässeitä sovellutuksia on harvassa. Yhtenä suurimpana hidastavana tekijänä kirjallisuuskatsauksen pohjalta voidaan pitää tietoturvaan liittyviä haasteita. IoT:hen liittyy suuri määrä erilaisia laitteita ja yhteyspisteitä, mikä asettaa sen alttiiksi useilla erilaisille tietoturvariskeille, kuten tietomurroille ja sabotaasille.

Terveydenhuolto on alana erittäin tietoturvakriittinen, sillä käsiteltävät potilastiedot ovat yksityisiä ja hyvin arkaluontoisia. Tämän vuoksi tietoturvaan liittyen onkin tehty paljon tutkimusta juuri terveydenhuollon näkökulmasta ja asiaan on löydettävissä useita erilaisia näkökulmia. On kuitenkin huomattavaa, että yhtä tiettyä tietoturvallisuuteen liittyvää aukkoa ei tutkimusten perusteella ole IoT:n käyttöönoton esteenä, vaan kokonaisuuden hahmottaminen ja systeemien kustannustehokas suunnittelu vain näyttävät tarvitsevan oman aikansa.

Myös eri sidosryhmien asenteet terveydenhuollon digitalisaatiota kohtaan ovat merkittävä tekijä IoT:n käyttöönoton onnistumiselle. Ikääntyvä väestö saattaa kohdata ongelmia kyvyssään luottaa tekniikkaan ja sen avulla operoimiseen. Myös terveydenhuollon henkilökunnan sisällä on havaittu joitakin kielteisiä ennakoasenteita IoT-pohjaisia uusia toimintatapoja kohtaan. Työssä esitellyn tutkimuksen mukaan osa terveydenhuollon henkilöstöstä ajattelee tekniikan lisäävän heidän työtehtäviään ja tätä kautta tekevän heidän työnsä vieläkin raskaammaksi.

Teknologia IoT:lle on käytännössä jo olemassa, mutta sen käyttöönotto vaatii vielä paljon myös teknologiselta puolelta. Vanhojen järjestelmien liittäminen osaksi digitalisaatiota ja useiden erilaisten laitteiden yhteentoimivuus vaatii paljon standardisointia. Lisäksi tarvitaan IoT-systeemien vaatima infrastruktuuri, joka mahdollistaa yhdistettävyyden missä ja milloin vain.

LÄHTEET

André, B., Sjøvold, E. (2017). *What characterizes the work culture at a hospital unit that successfully implements change - A correlation study*. BMC Health Services Research 17(1),486.

Asplund, M., Nadjm-Tehrani, S. (2016). *Attitudes and Perceptions of IoT Security in Critical Societal Services*. IEEE Access 4,7463021, pp. 2130-2138.

Benadda, B., Beldjilali, B., Mankouri, A., Taleb, O. (2018). *Secure IoT solution for wearable health care applications, case study Electric Imp development platform*. International Journal of Communication Systems 31(5), e3499.

Chen, S.C.-I. (2018). *Technological health intervention in population aging to assist people to work smarter not harder: Qualitative study*. Journal of Medical Internet Research 20(1), e3

Darshan, K.R., Anandakumar, K.R. (2016). *A comprehensive review on usage of Internet of Things (IoT) in healthcare system*. 2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology, ICERECT 2015 7499001, s. 132-136.

Devara, K., Ramadhanty, S., Abuzairi, T. (2018). *Design of wearable health monitoring device*. AIP Conference Proceedings 1933,040022.

Farahani, B., Firouzi, F., Chang, V., Badaroglu, M., Constant, N., Mankodiya, K. (2018). *Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare*. Future Generation Computer Systems 78, s. 659-676.

Firouzi, F., Rahmani, A.M., Mankodiya, K., Badaroglu, M., Wong, P., Farahani, B. (2018). *Internet-of-Things and big data for smarter healthcare: From device to architecture, applications and analytics*. Future Generation Computer Systems 78, s. 583-586.

Grabovica, M., Pezer, D., Popić, S., Knežević, V. (2016). *Provided security measures of enabling technologies in Internet of Things (IoT): A survey*. 2016 Zooming Innovation in Consumer Electronics International Conference, ZINC 2016 7513647, s. 28-31.

Hwang, S., Lee, S. (2017). *Wristband-type wearable health devices to measure construction workers' physical demands*. Automation in Construction 83, s. 330-340.

Khan, M.F.F., Sakamura, K. (2016). *A patient-centric approach to delegation of access rights in healthcare information systems*. Proceedings - 2016 International Conference on Engineering and MIS, ICEMIS 2016 7745308

Kickbusch, I., Sakellarides, C. (2006). *Flu City - Smart City: Applying health promotion principles to a pandemic threat*. Health Promotion International 21(2), pp. 85-87.

Kodali, R.K., Swamy, G., Lakshmi, B. (2015). *An implementation of IoT for healthcare*. IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems, RAICS 2015 7488451, s. 411-416.

Kulkarni, A. & Sathe, S. (2014). *Healthcare applications of the Internet of Things: A Review*. International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5 (5), s. 6229-6232

Luo, E., Bhuiyan, M.Z.A., Wang, G., Rahman, A., Wu, J., Atiquzzaman, M. (2018). *PrivacyProtector: Privacy-Protected Patient Data Collection in IoT-Based Healthcare Systems*. IEEE Communications Magazine 56(2), s. 163-168.

Man, L.C.K., Na, C.M., Kit, N.C. (2015). *IoT-based asset management system for healthcare-related industries*. International Journal of Engineering Business Management 7,19.

Moosavi, S.R., Gia, T.N., Rahmani, A.-M., (...), Isoaho, J., Tenhunen, H. (2015). *SEA: A secure and efficient authentication and authorization architecture for IoT-based healthcare using smart gateways*. Procedia Computer Science 52(1), s. 452-459.

Olivari, Z., Giacomelli, S., Gubian, L., Mancin, S., Visentin, E., Di Francesco, V., Iliceto, S., Penzo, M., Zanocco, A., Marcon, C., Anselmi, M., Marchese, D., Stafylas, P. (2018). *The effectiveness of remote monitoring of elderly patients after hospitalisation for heart failure: The renewing health European project*. International Journal of Cardiology 257, pp. 137-142.

Pal, D., Funilkul, S., Charoenkitkarn, N., Kanthamanon, P. (2018). *Internet-of-Things and Smart Homes for Elderly Healthcare: An End User Perspective*. IEEE Access (Article in Press)

Rajmohan, P., Srinivasan, P.S.S. (2018). *IoT based industrial safety measures monitoring and reporting system using accident reduction model (ARM) control algorithm*. Cluster Computing s. 1-11 (Article in Press)

Sareen, S., Gupta, S.K., Sood, S.K. (2017). *An intelligent and secure system for predicting and preventing Zika virus outbreak using Fog computing*. Enterprise Information Systems 11(9), s. 1436-1456.

Siren, A., Knudsen, S.G. (2017). *Older Adults and Emerging Digital Service Delivery: A Mixed Methods Study on Information and Communications Technology Use, Skills, and Attitudes*. Journal of Aging and Social Policy 29(1), s. 35-50

Vardhana, M., Arunkumar, N., Abdulhay, E., Vishnuprasad, P.V. (2018). *Iot based real time traffic control using cloud computing*. Cluster Computing s. 1-10 (Article in Press)

Woo, M.W., Lee, J., Park, K. (2018). *A reliable IoT system for Personal Healthcare Devices*. Future Generation Computer Systems 78, s. 626-640.

Yang, Z., Zhou, Q., Lei, L., Zheng, K., Xiang, W. (2016). *An IoT-cloud Based Wearable ECG Monitoring System for Smart Healthcare*. Journal of Medical Systems 40(12),286.

Zamanifar, A. (2018). *Wireless sensor networks-IoT infrastructure*. Studies in Computational Intelligence 715, s. 165-178