

Heljä Ekman

IoT ikäihmisten lääkkeidenhoidon tukena

Tietotekniikan
Pro gradu -tutkielma
10. joulukuuta 2020

Jyväskylän yliopisto
Informaatioteknologian tiedekunta
Kokkolan yliopistokeskus Chydenius

Tekijä: Heljä Ekman

Yhteystiedot: helja.m.m.ekman@student.jyu.fi

Puhelinnumero: 045-203 0322

Ohjaaja: Ismo Hakala, Risto T. Honkanen, Jukka Määttä

Työn nimi: IoT ikäihmisten lääkkeidenhoidon tukena

Title in English: IoT supporting adherence to medication

Työ: Tietotekniikan Pro gradu -tutkielma

Sivumäärä: 61+1

Tiivistelmä: Lääkeohjelman noudattaminen laskee huomattavasti puolen vuoden jälkeen hoidon aloittamisesta. Ilmiötä pyritään ymmärtämään erilaisten mallien avulla, mutta tieto yksilötason syistä jättää lääkkeet ottamatta on vielä vähäistä. Tämän työn tarkoitus on tutkia, millä tavalla IoT-teknologiaa voidaan hyödyntää keräämään luotettavaa dataa lääkeohjelman noudattamisesta.

Ongelmaa lähestytään suunnittelutieteen menetelmän avulla. Ongelma jaetaan dataan keruuseen, datan tallennukseen ja datan analysointiin. Datan keruun osaongelman ratkaisua aletaan hakemaan kehittämällä prototyyppi, joka muistuttaa käyttäjänsä ottamaan lääkkeet tiettyyn aikaan ja kerää tietoa lääkkeiden otosta. Laitekehitys perustuu vaatimuksiin, jotka nousivat esille aiemmista tutkimuksista vastaavanlaisista järjestelmistä.

Kehitetty prototyyppi on proof-of-concept-tyyppinen järjestelmä, joka hälyttää ennalta määrättyyn aikaan ja kirjaa tiedon hälytyksen kuittauksesta ja lähettää tätä LoRaWAN-viestinä eteenpäin palvelimelle, josta se voidaan integroida osaksi Kokkolan yliopistokeskus Chydeniuksen TEHO-hankkeessa kotihoidon tueksi kehitettyä järjestelmää.

Avainsanat: Esineiden internet, IoT, prototyyppi, suunnittelutieteet.

Abstract: Medical adherence rates drop significantly six months after starting a new course of medications. This phenomenon has been studied but thus far no reliable models have been found. There is still need for data that gives an insight to non-adherence on an individual level. This thesis seeks to examine ways in which IoT-technology can be utilised to gather reliable data about medical adherence.

The problem is approached using the design science methodology. The problem is divided into data gathering, data storage and data analysis. In this thesis, a first step towards a solution to data gathering is presented. The work includes designing a prototype that reminds its user to take their medicine at predefined times and tracks medical adherence. System design is based on requirements stemming from previous

research about similar systems.

The presented prototype is a proof-of-concept system, that is set to alert at set times. The system logs information about whether the user reacted to the alert or not and sends this information via LoRaWAN to a server. The information can then be retrieved to be integrated into a home-care system developed in the TEHO-project at Kokkola University Consortium Chydenius.

Keywords: Design science, IoT, prototype

Copyright © 2020 Heljä Ekman

All rights reserved.

Sanasto

AAL	<i>Ambient Assisted Living</i> , tietotekniikka-avusteinen asuminen, (ikä)ihmisen itsenäisen asumisen tukeminen anturiteknologialla
Big Data	IoT-maailmaan liittyvä termi, joka kuvaa erilaisten sensorilaitteiden keräämää suurta datamäärää
Bluetooth	Langattoman kommunikaation teknologia
HCD	<i>Human-centered Design</i> , Ihmiskeskeinen järjestelmäkehitys
IoT	<i>Internet of Things</i> , esineiden internet
Interventio	Tiettyyn ongelmakohtaan puuttuva toimenpide, väliintulo
LED	<i>Light-emitting Diode</i> , hohtodiodi, valoa säteilevä puolijohdekomponentti
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> , Nestekidenäyttö
LoRa	<i>Long Range</i> , pitkän kantaman langaton kommunikaatioteknologia
Prototyypä	Järjestelmän tai laitteen tiettyyn ominaisuuteen keskittyvä koe-kappale
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i> , langaton kommunikaatioteknologia, joka perustuu tageihin ja lukijoihin
RTC	<i>Real-Time Clock</i> , moduuli, joka pitää laitteiston oikeassa ajassa
UCD	<i>User-Centered Design</i> , käyttäjälähtöinen järjestelmäkehitys
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> , langaton kommunikaatioteknologia, langaton lähiverkko, käytetään myös kaupanimeä Wi-Fi
Wi-Fi	802.11 standardin, langaton kommunikaatioteknologia, Wi-Fi Aliancin tavaramerkki WLANille

Sisältö

Sanasto	i
1 Johdanto	1
2 Ikääntyminen ja toimintakyky	3
2.1 Toimintakyky kotona pärjäämisen mittarina	3
2.2 Lääkeohjelman noudattaminen toimintakyvyn osatekijänä	4
3 Esineiden internetin keskeisistä teknologioista	7
3.1 Langattomat kommunikaatioteknologiat	7
3.2 Mikro-ohjaimet	12
3.3 Oheislaitteet	13
3.4 Sulautettujen laitteiden määräytymisestä	14
4 Lääkehoidon tukemisesta esineiden internetin teknologialla	16
4.1 Toimintakyvyn tukeminen tekniikka-avusteisella asumisella	16
4.2 Lääkehoidon seuraaminen ja tukeminen IoT-laitteilla	17
5 Järjestelmien kehityksestä tutkimustyössä	23
5.1 Suunnittelu tutkimuksen kohteena	23
5.2 Prototyyppien hyödyntäminen järjestelmän kehitystyössä	27
5.2.1 Prototyyppien laajuudesta ja muodosta	27
5.2.2 Prototypoinnin eduista ja haasteista	29
5.3 Tietoteknologian suunnittelusta ikäihmisille	30
5.3.1 Ihmiskeskeisestä järjestelmäkehityksestä	31
5.3.2 Ikäihmisen huomiointi suunnittelutyössä	31
5.3.3 Hoitohenkilökunnan huomiointi suunnittelutyössä	32
6 Lääkemuistuttajan suunnittelu ja prototyypin toteutus	33
6.1 Ongelman tunnistaminen ja tutkimuksen motivaatio	33
6.1.1 Lääkeohjelman noudattamisen ongelma	34
6.1.2 Osaongelmat ja tutkimuskysymys	34

6.2	Ratkaisun tavoitteiden määrittäminen	35
6.2.1	Aiempien ratkaisujen vaatimukset ja niiden toteutukset . . .	36
6.2.2	Prototyypille asetetut vaatimukset	38
6.3	Suunnittelu ja kehitys	40
6.3.1	Prototyypin komponentit	41
6.3.2	Prototyypin toiminnallisuus	43
6.3.3	Protokollat ja viestintä	47
6.4	Toimivuuden osoitus	48
6.5	Evaluaatio	49
7	Yhteenveto	52
	Lähteet	54
	Liitteet	
A	Kehitetyn lääkemuistuttajan proof-of-concept prototyyppi	

1 Johdanto

Ikääntyvän kansan ilmiö tuo paitsi rasisetta kansantaloudelle myös haasteita terveydenhuollon resursseille ja yksilölliselle terveydentilalle. Terveydenhuollon resursseja käytetään yhä enemmän pitkäaikaisten sairauksien hoitoon ja hoivakotien tarkastuskäynteihin. Samalla kehittyy teknologia yhä helppokäyttöisemmäksi ja halvemmaksi. IoT on avannut monia uusia mahdollisuuksia, joista terveydenhuollon puolella voitaisiin suuresti hyötyä ja saada apua resurssien puutteeseen.

Hoitotyön keskeisiä tavoitteita on tukea ikäihmisen toimintakykyä, joka määrittyy sen mukaan, kuinka hyvin ikäihminen pärjää itsenäisesti arjessaan. Toimintakykyyn vaikuttavat sairaudet ja näiden lääkehoito. Lääkkeiden unohtelu tai tahallinen ottamatta jättäminen on kuitenkin tunnistettu ongelma, joka heikentää lääkehoidon vaikutusta. Puhutaan kokonaisvaltaisesta lääkeohjelman noudattamisesta, joka kuvaa, että lääkkeet otetaan sillä tavalla kuin lääkärin kanssa on sovittu. Se sisältää aikavälin annosten välissä, tietyn ruokavalion ja muita terapiaan liittyviä asioita, kuten elämänmuutoksia esim. liikunnan muodossa.

Lääkeohjelman noudattaminen laskee huomattavasti noin puolen vuoden jälkeen uuden ohjelman aloittamisesta. Onkin arvioitu, että lääkeohjelman noudattamisen kohennus voi tuoda enemmän säästöjä yhteiskunnalle kuin yksittäisen terapiamuodon kehittäminen. Vaikka kyseessä on hyvin tiedostettu ongelma, on ymmärrys henkilötason syistä lääkkeiden unohteluun puutteellista. Tarve on luotettaville malleille, jotka auttavat ymmärtämään lääkkeiden ottoon liittyviä haasteita yksilötasolla.

Kokkolan yliopistokeskus Chydeniuksen TEHO-hanke eli Teknologian kautta tietoa kotona hoidettavien tueksi pyrkii löytämään IoT-ratkaisuja kotihoidon piirissä asuvien muistisairaiden ja vanhusten hoidon tueksi. Vaikka tämän työn aihe valikoitui kirjoittajan henkilökohtaisesti mielenkiinnosta, sopii se hyvin kyseisen hankkeen pariin ja työhön saatiin projektista tukea.

Tämän työn tarkoitus on kartoittaa tapoja, joilla lääkeohjelman noudattamista voidaan paitsi tukea myös mitata luotettavasti. Aiemmat tutkimukset keskittyvät vahvasti yksinkertaisten muistutuslaitteiden kehittämiseen, jotka eivät edistä ratkaisun löytämistä lääkeohjelman noudattamisen ongelmiin. Tarvetta on kehittää sellainen laite, joka havainnoi käyttäjänsä käyttäytymistä, kerää tietoa lääkkeiden

otosta ja tehokkaan kannustuksen avulla kohentaa lääkeohjelman noudattamista pitkäaikaisesti. Samalla se toimii hoitohenkilökunnalle tapana kontrolloida potilaidensa lääkkeiden ottoa luotettavasti ja vaivattomasti. Tutkimuskysymys aseteltiin seuraavalla tavalla. Miten voimme hyödyntää olemassa olevaa IoT-teknologiaa keräämään luotettavaa dataa lääkeohjelman noudattamisesta?

Ongelmaa tarkastellaan suunnittelutieteiden menetelmän mukaisesti. Ongelma-keskeisessä lähestymistavassa tunnistetaan ensin ongelma ja selvitetään tutkimuksen tarve. Seuraavaksi määritetään ratkaisun tavoitteet, josta siirrytään suunnittelemaan ja kehittämään ongelmaa ratkaiseva artefakti. Tämän jälkeen artefaktin toimivuus osoitetaan, artefakti evaluoidaan ja tutkimuksen tulokset raportoidaan. Prosessi on vahvasti iteratiivinen, jossa tietyn vaiheen suorituksen jälkeen voidaan palata aiempaan kohtaan ja parannella tuotosta uuden tiedon mukaisesti. Artefaktin luonnin tueksi käytettiin prototypointia, joka iteratiivisuudellaan sopii hyvin suunnittelutieteellisen lähestymistavan rinnalle.

Luotu artefakti on lääkemuistuttajan prototyyppi, joka hälyttää määrättyinä aikoina ja kirjaa tiedon siitä, kuittaisiko käyttäjä lääkkeen otetuksi. Suunnittelutieteiden mukaisesti lopputulos ei ole valmis, kaikki suunnitellut ominaisuudet sisältävä järjestelmä, vaan proof-of-concept-tyyppinen prototyyppi, joka vastaa ongelman tiettyyn osaongelmaan. Järjestelmä voidaan integroida TEHO-hankkeessa kehitettyyn kotihoidon järjestelmään.

Kehitetty prototyyppi hälyttää neljä kertaa päivässä sytyttämällä LED-valonauhasta sopivan valon päälle. Lääkkeiden otto kuitataan nappia painamalla. Järjestelmä kirjaa tiedon lääkkeiden otosta ja lähettää tämän LoRaWAN-viestinä.

Tämän työn luku 2 käsittelee ikäihmisen toimintakyvyn määrittelemistä ja sen haasteita. Luku 3 esittelee muutaman esineiden internetin langattomia kommunikaatioteknologioita ja laitteistoa. Luvussa 4 annetaan kuva siitä, miten tekniikka auttaa vanhusten hoitotyössä. Lisäksi pyritään kartoittamaan tämän hetkistä tutkimustilannetta lääkehoidon tukeen tarkoitetuista laitteista. Työssä käytetty suunnittelutieteiden tutkimusmenetelmä ja prototypointi esitellään luvussa 5 ja luvussa 6 annetaan kuvaus työn puitteissa kehitetystä lääkemuistuttajasta. Viimeisenä kootaan työn päälöydökset luvussa 7.

2 Ikääntyminen ja toimintakyky

Edistykset lääketieteessä ja terveydenhuollossa yhdistettynä syntyvyyden laskuun nostattaa ikäihmisten sekä absoluuttista että suhteellista määrää maailman väestössä. Vuonna 2019 oli 6 % maailman väestöstä YK:n raportin mukaan yli 65-vuotiaita [63]. Vuoteen 2050 mennessä ennustettu osuus on jo lähes 12 %.

Kansantaloutta ajatellessa tämä tarkoittaa, että Suomessa oli vuonna 2019 jokaista 100 työkäistä kohti 39 yli 65-vuotiasta [63]. Vain Japanissa on enemmän ikäihmisiä sijoittaen Suomen maailmanlaajuisesti toiselle sijalle ikäihmisten määrän suhteen. Kehitys kohdistaa painetta paitsi maan talouteen myös terveydenhuollon kapasiteettiin.

Terveydenhuollon rasitetta voidaan vähentää kohentamalla ikäihmisten mahdollisuuksia pysyä pois laitoshoidosta. Laitoshoidon tarvetta arvioidaan toimintakyvyn kautta, jonka mittareissa on kuitenkin epäluotettavuutta. Toimintakyvyn määrittelyä ja määrittelyyn liittyviä haasteita tarkastellaan alaluvussa 2.1. Alaluvussa 2.2 käsitellään lääkeohjelman noudattamista yhtenä toimintakyvyn osatekijänä.

2.1 Toimintakyky kotona pärjäämisen mittarina

Monet ikäihmiset toivovat, että voisivat asua mahdollisimman pitkään omassa kodissaan [25]. Myös hoito- ja hoiva-alan näkökulmasta on toivottavaa, että ikäihmiset pärjäävät itsenäisesti, vähentäen laitoshoidon tarvetta. Tämän tukeminen on siten yksi hoitoalan keskeisistä tavoitteista [37].

Itsenäistä ja omatoimista pärjäämistä omassa kodissa arvioidaan toimintakyvyn kautta. Toimintakykyä mitatessa pyritään arvioimaan, kuinka hyvin ja itsenäisesti ikäihminen pystyy suoriutumaan arjen tehtävistä [37]. Toimintakykyä voidaan mitata erilaisilla menetelmillä, kuten itsearvioilla ja kliinisillä mittauksilla. Itsearvioinnissa ikäihminen itse tai hänen puolisonsa voidaan pyytää arvioimaan, kuinka hyvin ikäihminen selviää erilaisista päivittäisistä askareista. Ongelmana tässä on, että kyselyyn vastaava voi pelätä ikäihmisen joutumista laitoshoitoon ja raportoida taidot todellista paremmiksi [37].

Kliiniset mittaukset puolestaan suoritetaan vakioituissa olosuhteissa, jotka eivät

välttämättä kuvaa arjen todellisuutta [37]. Ikäihmisen kodista tai muista ympäristöistä voi löytyä pärjäämistä vaikeuttavia haasteita, kuten jyrkkiä rappusia tai liukkaita lattioita. Toisaalta näitä haasteita on voitu helpottaa erilaisilla avustimilla. Erilaisia mittaustapoja tarvitaan, jotta toimintakyvystä saadaan kattava ja mahdollisimman todellisuutta vastaava kuva [37].

Toimintakyky määrytyy arjessa esimerkiksi siten, että jalankulkijalta odotetaan 1,2 m/s kävelyvauhti, jotta hän ehtii turvallisesti ylittämään tien [37]. Samalla arvioidaan, että henkilön pitäisi pystyä kävelemään noin puoli kilometriä päivässä selviytyäkseen arjesta, johon 80 vuotta täyttäneistä vain noin puolet pystyy [49]. Yli 80-vuotiaiden toimintakyky onkin heikentynyt niin, että arjesta selviytyminen on vaarantunut [49]. Pitkäaikaissairaudet alentavat toimintakykyä lisäten riskiä joutua sairaalahoitoon.

2.2 Lääkeohjelman noudattaminen toimintakyvyn osatekijänä

Maailman terveysjärjestö (eng. *World Health Organization, WHO*) ehdottaa aihetta käsittelevässä raportissaan [71], että puhuttaisiin yleisesti noudattamisesta (eng. *adherence*), joka kuvaa, kuinka hyvin henkilön käyttäytyminen, eli lääkkeiden otto lääkärin ohjeiden mukaisesti, ruokavalion noudattaminen ja /tai elämäntapamuutosten saavuttaminen, vastaa hoitoalan ammattilaisen kanssa sovittuja suosituksia. WHO haluaa painottaa sitä, että lääkäri sopii terapiasta — lääkkeiden tai muussa muodossa — yhdessä potilaan kanssa eikä sen tulisi olla puhtaasti lääkärin määräämä.

WHO:n kanta kuvastaa sitä, että kyse ei ole pelkästään lääkkeiden unohtelusta. Lääkemääräyksen noudattamiseen liittyy useampi osatekijä, kuten jatkotarkastuksessa käyminen, reseptilääkkeiden haku, lääkkeiden otto oikeanlaisesti, rokotteiden otto sekä elämäntapojen muuttaminen, kuten tupakoinnin lopettaminen, painon hallinta tai ruokavalion noudattaminen [71].

Lääkemääräyksen noudattaminen on avainasemassa terapian toimivuuden kannalta [45]. Lääkemääräyksen laiminlyönnillä on seurauksia myös yhteiskunnallisella tasolla, sillä hoidon tehon heikentyminen lisää hoidon tarvetta ja siten hoitokuluja [71]. Noudattamisen kohentamisella voi olla jopa suurempi vaikutus kansanterveyteen kuin jonkin tietyn lääkehoidon kehittäminen [71].

WHO:n raportin mukaan kehittyneissä maissa lääkemääräyksen noudattaminen on 50 prosentin paikkeilla, kehittyvissä maissa sen arvellaan olevan vielä pienempi. Lääkemääräyksen noudattamisen ongelmista puhutaan nimenomaan pitkäaikaishoi-

don yhteydessä, sillä noudattaminen laskee ensimmäisen kuuden kuukauden aikana hoidon aloittamisesta huomattavasti [45].

Mielenterveyden ongelmat, oireeton sairaus, lääkkeen sivuvaikutukset, liian vähäinen tieto sairaudesta tai uskon puute hoitoon voivat vaikuttaa siihen, että lääkemääräystä ei noudateta niin, että hoito olisi tehokas [45]. Syytä ei saa kuitenkaan etsiä pelkästään hoidettavasta henkilöstä, sillä myös apteekki- ja terveydenhuoltojärjestelmät vaikuttavat lääkehoidon noudattamiseen [71].

Terveydenhuollon puolella huono hoitosuhde, puutteet lääkkeiden tai hoidon saatavuudessa, hoidon monimutkaisuus tai hoidon ja lääkkeiden hinta vaikuttavat hoitosuunnitelman noudattamiseen ja lääkkeiden käyttöön [45]. Myös sosiaalisella tuella on vaikutus lääkkeiden ottamiseen [71].

Koska lääkehoidon noudattamiseen vaikuttavat monet osatekijät, ei sen kohentamiseen löydy yhtä ainoa tehokasta interventiota. Interventioita voivat olla potilaan koulutus, paremmat annoksen ottoaikataulut, parempi pääsy hoitoon tai parannettu kommunikaatio potilaan ja hoitohenkilökunnan välillä [45]. Interventio on siis jokin toimenpide tai menetelmä, joka pyrkii parantamaan ongelmakohtaa.

Tehokkaan intervention laatiminen vaatii sen, että jokaisen henkilön tapauskohtaiset syyt on ymmärretty riittävästi [32], mutta silloinkaan ei sopivan menetelmän löytäminen ole suoraviivaista. Van Dulmen et al. [65] toteavat, että on olemassa tehokkaita interventioita ilman teoreettista selitystä sen suhteen, miksi ne toimivat. On myös olemassa teoreettisia malleja, jotka selittävät noudattamisen ongelmat, mutta eivät auta parantamaan lääkemääräyksen noudattamista.

Lääkemääräyksen noudattamisen arviointi ei itsessään ole yksinkertaista. Subjektiiivisilla menetelmillä, kuten lääkäreille ja potilaille suunnatuilla kyselyillä, saadaan epäluotettavaa tietoa. Lääkärit arvioivat potilaidensa lääkemääräyksen noudattamista todellisuutta positiivisemmin kun taas potilaat joko kertovat rehellisesti unohtelustaan ja sen syistä, kun toiset taas salaavat unohtelun kokonaan [71].

Objektiivisten menetelmien käyttö puolestaan voi olla kallista ja aikaa vievää, eikä niilläkään saa välttämättä luotettavia tuloksia [71]. Voidaan esimerkiksi laskea jäljellä olevien annosten määrä tarkastuskäynnillä. Tämä ei kuitenkaan kerro, mihin aikaan lääkkeet on otettu ja onko ne otettu ohjeiden mukaisesti. Myös lääkkeiden unohtelun mahdollinen kaavamaisuus jää huomaamatta.

Lääkkeisiin voidaan lisätä biologisia markkereita, joita voidaan verestä tai eritteistä mitata [71]. Näiden aineiden esiintyminen on kuitenkin yksilöstä riippuvainen, siihen vaikuttavat mm. ruokavalio sekä aineen imeytyminen ja poistumisnopeus.

Lisäksi voidaan tarkastella apteekin tietoja eli sitä, milloin reseptilääke on nou-
dettu [71]. Tähän liittyy ongelmana se, että lääkkeiden haku ei tarkoita, että lääkkeet
olisi otettu lääkärin ohjeiden mukaisesti.

Lääkemääräyksen noudattamisen ongelmien syiden kokonaisvaltainen ymmär-
täminen vaatii vieläkin enemmän tutkimusta ja eri alojen yhteistyötä [65]. Lääke-
hoidosta on kehitettävä luotettavia malleja, jotka ovat riittävän yksityiskohtaisia ja
tarkkoja, että niiden avulla voidaan ennustaa ja ennaltaehkäistä lääkemääräyksen
noudattamisen moninaiset osatekijät ja subjektiiviset ongelmakohdat.

3 Esineiden internetin keskeisistä teknologioista

Esineiden internet (eng. *Internet of Things, IoT*) yhdistää erilaisia laitteita eli esineitä langattomien teknologioiden avulla internetiin. Sen päätavoite on saada tietokone keräämään tietoa ympäristöstään itsenäisesti, ilman ihmisen osallistumista [7]. Vuonna 2011 internetiin kytkettyjen laitteiden määrän ylitti ihmismäärän maapallolla [24]. Langaton kommunikaatio ja erilaiset anturiteknologiat auttavat tässä tehtävässä.

Wortmann ja Flüchter [73] kuvaavat IoT-järjestelmän koostuvan kolmesta eri tasosta: laitetaso, kommunikaatiotaso ja IoT-pilvitaso. He tarkastalevat IoT-laitteita peilaamalla niitä tavallisiin, ei internetkytkettyihin laitteisiin. Laitetasolla sensoreita, aktuaattoreita ja prosessoreita lisätään olemassa olevaan rautatason komponentteihin. Kommunikaatiotasolla hyödynnetään sovellukseen sopivia protokollia, jotka yhdistävät laitteen pilveen. IoT-pilvitasolla implementoidaan kommunikaatio- ja hallintaohjelmistoja laitteiden hallintaa varten.

Porter ja Heppelmann [48] puolestaan jaottelevat IoT-laitteen fyysisiin, älykkäisiin ja kommunikaation komponentteihin. Fyysiset komponentit ovat järjestelmän mekaaniset osat ja sähköosat. Älykkäät komponentit ovat mm. antureita, mikroprosessoreita, muisti ja käyttöjärjestelmät. Kommunikaatiokomponentteihin kuuluvat portit, antennit ja erilaiset kommunikaatioprotokollat. Ne mahdollistavat tiedon jakamisen laitteen ja sitä ympäröivän ympäristön, sen käyttäjän tai muiden järjestelmien välillä.

Seuraavaksi esitellään alaluvussa 3.1 joitain IoT:ssä käytettyjä langattomia kommunikaatioteknologioita, jotka on jaettu lyhyen kantaman ja pitkän kantaman teknologioihin. Sen jälkeen esitellään lyhyesti mikro-ohjaimien ja mikroprosessorien pääpiirteet alaluvussa 3.2. Muita IoT-maailman oheislaitteita käsitellään alaluvussa 3.3. Alaluvussa 3.4 pohditaan sulautettujen järjestelmien määritelmää niiden erikoispiirteiden kautta.

3.1 Langattomat kommunikaatioteknologiat

IoT:n pohjana ovat erilaiset langattomat teknologiat, jotka mahdollistavat datan välityksen radioaalloilla. Radioaallot ovat taajuuskaistoihin jaettua elektromagneettista

säteilyä. Radioaaltoja voidaan mitata taajuudella ja aaltopituudella [51]. Taajuus tarkoittaa aaltojen määrää per sekunti ja aaltopituus tarkoittaa kahden samanvaiheisen, peräkkäisen pisteen etäisyyttä aaltokäyrässä.

Moderni kommunikaatio tapahtuu 300 MHz ja 6 GHz taajuuksien välillä [51]. Osa taajuuksista on lisensoimattomia eli vapaasti käytettävissä kun taas toiset ovat lisensoituja eli varattu tiettyjen toimijoiden käyttöön. Lisensoimaton taajuusalue tunnetaan myös ISM-taajuusalueena (sanoista *Industrial, Scientific and Medical*) Suomessa radiotaajuuksien käyttöä hallinnoi Liikenne- ja viestintävirasto Traficom.

Jokaisella teknologialla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jotkut ovat lyhyen kantaman teknologioita kun toiset taas kuljettavat signaalin jopa kilometrien päähän. Seuraavassa on esitelty RFID, Bluetooth Low Energy, IEEE 802.11- ja IEEE 802.15.4-standardit lyhyen kantaman teknologioina sekä SIGFOX, LoRa ja NB-IoT pitkän kantaman teknologioina.

RFID

Radio Frequency Identification eli RFID on ollut IoT:n keskiössä alusta pitäen. Kun Kevin Ashton käytti vuonna 1999 ensimmäistä kertaa esineiden internetiä käsitteenä, hän ehdotti RFID-teknologian käyttöä tuotantoketjussa tuotteiden seurannassa [7]. Teknologia perustuu ns. tageihin ja lukijoihin. Tagit kiinnitetään kohteeseen, josta halutaan tietoa, ja lukijalla vastaanotetaan kyseistä tietoa.

RFID-teknologian keskeisimpiä standardeja ovat ISO 14443, ISO 15693 ja ISO 18000 [68]. Nämä määrittävät kontaktittoman tunnistautumiskortin, kaukaa luettavan kortin ja eri taajuuksien käytön parametrit.

Tagit voivat olla aktiivisia tai passiivisia [68]. Aktiiviset tagit ovat noin korttipakan kokoisia ja sisältävät oman virtalähteen. Passiiviset tagit puolestaan voivat olla jopa vain muutamia kymmeniä millimetrejä halkaisijaltaan; vain antennin koko rajoittaa tagin kokoa. Esimerkiksi tarramaisena tagi on helppo kiinnittää mihin tahansa kohteeseen.

Aktiivinen tagi voi joko lähettää signaalia jatkuvasti tai odottaa, että lukija on riittävän lähellä vastaanottaakseen viestin. Passiivinen tagi taas saa virtansa induktion kautta lukijalta ja lähettää viestin vasta, kun on saanut riittävästi varausta [68].

RFID toimii useammalla eri taajuudella. Matala taajuus (eng. *Low Frequency, LF*) 125–134 kHz, korkea taajuus (eng. *High Frequency, HF*) 13.56 MHz, erittäin korkea taajuus (eng. *Very High Frequency, VHF*) 433.05–434.79 MHz, ultrakorkea taajuus (eng. *Ultrahigh Frequency, UHF*) 865–868 MHz, mikroaalto (eng. *Microwave*) 2.4–2.5 GHz ja

5.725–5.875 GHz [39].

RFID-teknologiaan liittyy useampi yksityisyys- ja tietoturvallisuusongelma, kuten autentikaation puute ja jo myytyjen tuotteiden seuranta [68]. Esimerkiksi vaatteisiin tai asusteisiin kiinnitetyt tagit voivat jäädä päälle, joten tuotteen ostajaa voidaan seurata. Lukijan autentikaatio saattaa olla hankalaa tagin vähäisen muistikapasiteetin vuoksi.

IEEE 802.11 -standardiperhe

Vuonna 1999 perustettu Wi-Fi Alliance kehittää jatkuvasti IEEE 802.11 -standardin kommunikaatioprotokollaa tavoitteenaan yhdistää ihmiset ja esineet kaikkialla [69]. Standardin määrittelemä teknologia tunnetaan myös nimellä WLAN (sanoista *Wireless Local Area Network*). Tällä hetkellä uusin protokolla on Wi-Fi 6 eli 802.11ax. Uuden version myötä myös aiemmat protokollat ovat nimetty käyttäjäystävällisemmin Wi-Fi 5, Wi-Fi 4 jne. Koska Wi-Fi:n eri versiot ovat samanaikaisesti käytössä, auttaa uusi nimeämistyyli ja siihen liitetyt logot käyttäjää hahmottamaan, mitä versiota tietty laite tukee.

802.11ax-standardi hyödyntää aiemmin käytetyn 5 GHz-taajuuden lisäksi myös 2.4 GHz-taajuutta [43]. Erityisesti pienten, rajoitettujen laitteiden käyttöön on kehitetty 802.11 PSM:n (sanoista *Power saving mode*) ja 802.11ah eli Wi-Fi HaLoW'n [42]. PSM toimii alle 1 GHz:n taajuudella, joka vähentää suuren käytön aiheuttamaa häiriötä, jota 2.4 GHz:n taajuudella todetaan. HaLoW puolestaan on kehitetty vastaamaan erityisesti IoT-käyttöön. Wi-Fi:n kantavuudeksi esittävät Morin et al. [42] 100 metristä vajaan kilometriin käytetystä kastainleveydestä riippuen.

Bluetooth Low Energy, BLE

Ericssonin, Nokian ja Intelin muodostama *Special Interest Group* (SIG) muodosti vuonna 1998 Bluetooth-standardin, jonka tarkoitus oli yhdistää laitteita langattomasti olematta täysikokoinen verkkoratkaisu. Lähetyksenopeudeksi riittäisi noin 1 Mb/s, kun sen aikainen WiFi pystyi 11 Mb/s lähetyksenopeuteen [67].

Bluetooth Low Energy (BLE) on perinteisen Bluetoothin energiatehokkaampi versio. Sen kantama on noin 100 m [3] ja kapasiteetti rajoittuu 200 kb/s [67]. Bluetooth toimii 2.4 GHz:n taajuusalueella, joka jaetaan 37 eri kanavaan ja kolmeen mainostuskanavaan [42]. Mainostuskanavien avulla laitteet voivat mainostaa olemassaoloaan, jolloin yhdistysajassa säästetään perinteiseen Bluetoothiin verraten.

Teknologian käytön etuna on se, että suurimmassa osassa älypuhelimista Blue-

tooth on käytössä [3]. BLE sopii parhaiten sellaisiin laitteisiin, jotka eivät vaadi suurta suorituskykyä tai suoratoistoa (eng. *data streaming*), sillä data liikkuu BLE:ssä purske-
maisesti [11].

IEEE 802.15.4 -standardi

802.15.4-standardi on tarkoitettu pienen lähetyksen määrän langattomiin verkkoihin (eng. *Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN*) [3]. Tyypillinen verkko koostuu sensorilaitteista, reitittimistä ja koordinaattoreista [74]. ZigBee on tunnettu esimerkki, joka perustuu 802.15.4-standardin radioon [3]. TEHO-hanke hyödyntää IEEE 802.15.4 -standardiin perustuvaa radioteknologiaa.

Euroopassa standardi toimii 868 MHz:n ja 2.4 Hz:n taajuuksilla [9]. Esteettömällä näköyhteydellä voi kantavuus olla jopa kilometrin, mutta yleisesti saavutetaan noin 100 m [9, 2].

SIGFOX

SIGFOX on ranskalaiset Sigfox Companyn vuonna 2009 esitelty LPWAN-teknologia (sanoista *Low-Power Wireless Area Network*), josta on vain niukasti vapaasti saatavaa dokumentaatiota [13]. SIGFOX toimii Euroopassa 868 MHz:n taajuuskaistalla ja 100 b/s bittinopeudella uplink eli laittelta vastaanottajalle ja 600 b/s downlink eli vastaanottajalta laitteelle [22]. Sen kantama on kaupunkialueella 3–10 km ja maaseudulla 30–50 km [9].

Teknologialle löytyy useita käyttötarkoituksia. Sitä on hyödynnetty mm. älykaupunkien rakentamisessa esim. vapaiden parkkipaikkojen paikantamisessa tai katuvalojen etähallinnoinnissa, maanviljelyssä esim. sääolosuhteiden tai säilöntärakennelmien täyttöasteen seurannassa, sekä logistiikassa esim. varastojen valvonnassa tai tuotantoketjun olosuhteiden kokonaisvaltaisessa seurannassa [55].

LoRa

Long Range sanoista muodostettu lyhenne LoRa ja siihen liittyvä LoRa Alliancen määrittämä LoRaWAN-protokolla on pitkän kantaman MAC-protokollaa (sanoista *Media Access Control*) [42]. *The Things Network*, TTN hallinnoi maailmanlaajuisesti yli 12 000 LoRa-antennia. Suomessa *Digita* ylläpitää LoRa-antenneja ja tarjoaa TTN:n mukaisen nettiportaalin, josta laitteelta tulevia viestejä voidaan tarkastella ja ohjata eteenpäin. LoRa-verkosto on hyvin kattava, sillä kuka tahansa käyttäjä voi pystyttää oman vastaanottimen.

Tyypillisesti LoRa-järjestelmä koostuu päätelaitteesta, joka kommunikoi LoRaWAN-protokollaa käyttäen gatewayn kautta palvelimen kanssa [9]. Gatewayt eivät prosessoivat lähetystä millään tavalla vaan välittävät sen suoraan eteenpäin.

LoRa toimii 868 MHz taajuudella ja sen viesti voi kulkea jopa kymmenen kilometriä [42]. Datanopeus on enimmillään 50 kb/s [9]. LoRa on kehitetty pienen virrankulutuksen langattomille laitteille. Laitteet voivat toimia jopa kymmenen vuotta ilman paristonvaihtoa [56].

LoRa ei sovellu reaaliaikaisuutta vaativiin sovelluksiin korkean viiveensä vuoksi. TTN kehottaa myös, että yksittäisen laitteen lähetysaika pysyttelisi 30 sekunnissa päivässä ja vastaanottaja lähettäisi korkeintaan 10 viestiä päivässä laitteelle [59]. Tämä tarkoittaa noin 20–500 viestiä päivässä kommunikaation laadusta riippuen.

NB-IoT

3GPP:n (sanoista *3rd Generation Partnership Project*) LTE-teknologiaan (sanoista *Long-Term Evolution*) perustuva NB-IoT toimii LTE:n kanssa samoilla lisensoituilla taajuuksilla, mikä tekee sen käytöstä maksullista [56]. NB-IoT:n avulla voidaan hyödyntää vanhoja 200 kHz:n GSM-kaistoja [50].

Sinha et al. [56] luettelee NB-IoT:lle erilliset downlink ja uplink kapasiteetit. Downlink kerrotaan olevan 234.7 kb/s ja uplink 204.8 kb/s. NB-IoT:n kantama on jopa 35 km [56].

Yhteenveto

Tiettyyn sovellukseen sopivan langattoman teknologian valinta perustuu useampaa tekijään eikä teknologioita voida asettaa yleispätevään paremmuusjärjestykseen. Teknologiaa valitessa tulee huomioida mm. lähetettävän datan laatu, reaaliaikaisuuden tarve, datan suuruus sekä lähetettävän ja vastaanottavan laitteen etäisyys. Taulukko 3.1 kokoaa eri langattomien teknologioiden taajuuden, kantaman ja kapasiteetin yhteen. Paikallisten lainsäädäntöjen ja säädösten vuoksi, teknologioiden taajuuksissa on alueellisia eroja. Taulukossa on annettu Euroopassa käytetyt taajuudet ja näihin liittyvät kapasiteetit.

Jotkut protokollat rajoittavat lähetysten määrää. SIGFOX sallii 140 viestiä päivässä ja myös LoRa lähetysten toivotaan pysyvän alle 10 viestiä downlink ja noin 50–200 viestiä uplink. Huomioitava on myös teknologioiden virrankulutus, jonka käsittely jätettiin tämän työn ulkopuolelle. Monet tekijät, kuten dataliikenteen määrä, laitteen sijoitus sekä yhteyden laatu, vaikuttavat virrankulutukseen. Mm. Morin et al. [42]

ovat tehneet kattavat vertailun IoT-teknologioiden virrankulutuksesta.

Taulukko 3.1: Langattomien kommunikaatioteknologioiden taajuus, kantama ja kapasiteetti Euroopassa.

	Taajuus	Kantama	Kapasiteetti
RFID	125 kHz – 5.857 GHz	muutama cm	
802.11ah	2.4 GHz	100 m – 1 km	78 Mb/s
BLE	2.4 GHz	100 m	125 kb/s – 2 Mb/s
802.15.4	868 Mhz ja 2.4 GHz	100 m	250 kb/s
SIGFOX	868 MHz	10 km	100 b/s
LoRa	868 MHz	10 km	50 kb/s
NB-IoT	LTE/GSM	35 km	204.8 kb/s – 234.7 kb/s

3.2 Mikro-ohjaimet

Mikro-ohjainten tarina alkoi 1980-luvulla, kun tuotevalmistajat alkoivat kustannusyistä korvaamaan monimutkaisia, useammasta sirusta koostuvia logiikkapiirejä elektronisissa laitteissa yhden sirun ratkaisuilla [61]. Nykyään markkinoilta löytyy laaja valikoima erilaisia mikro-ohjaimia, joista yleisiä ovat PIC-ohjaimet (sanoista *Programmable Intelligent Computer*) ja AVR. PIC noudattaa vanhempaa arkkitehtuuria, ja se ei hyödynnä kello sykliä yhtä tehokkaasti kuin uudempi AVR [61]. Seuraavassa tarkastellaan esimerkinomaisesti Atmelin AVR-perheeseen ATMega328P-ohjainta.

Atmelin AVR-mikro-ohjainperhe on suositussa käytössä tehokkuutensa takia. Kun se ensimmäistä kertaa julkaistiin vuonna 1996, oli AVR ensimmäinen mikro-ohjain, jolla oli ROM-muistia sisäänrakennettuna [61]. Kaikki AVR-perheen ohjaimet ovat keskenään yhteensopivia, joka helpottaa kehittäjän työtä. Laajasta perheestä voidaan valita sovellukseen sopiva kompromissi hinnan ja ominaisuuksien suhteen.

ATMega328P on 8-bittinen AVR-perheeseen kuuluva mikro-ohjain. 8-bittisyys tarkoittaa, että sen rekisterien koko on 8 bittiä. Ohjaimessa on 32 kilotavua RAM-muistia. AVR-ohjainperhe perustuu RISC-suunnitteluun (sanoista *Reduced Instruction Set Computer*), jossa prosessoriin on sisälletty joukko yksinkertaisia ja tehokkaita peruskäskyä, joita yhdistelemällä saadaan aikaiseksi monimutkaisempia toimintoja [10]. ATMega328P sisältää 131 peruskäskyä, joista suurin osa voidaan suorittaa yhden kello syklin aikana [8].

ATMega328P-ohjaimen perustuva Arduino on ohjelmoinnin oppimiseen tarkoitettu, vapaan lähdekoodin kehitysalusta [6]. Se on kuitenkin yksinkertaisuutensa vuoksi noussut suosioon myös laitekehityksen puolella, jossa sitä hyödynnetään ensimmäisten prototyyppien rakentamiseen. Arduino-laitteita ohjelmoidaan Arduinon omalla IDE:llä (sanoisa *Integrated Development Environment*) eli ohjelmistoympäristöllä ja omalla kielellä, joka on hyvin lähellä C-kieltä. Arduinoa voi ohjelmoida myös C- tai C++-kielellä. Myös muut valmistajat tuottavat Arduino-yhteensopivia laitteita, josta esimerkki on Draginon LoRa Mini Dev -alusta, joka sisältää saman ohjaimen lisäksi LoRa-moduulin ja antennin [16].

3.3 Oheislaitteet

IoT-laitteiden tarkoitus on havainnoida ympäristöä ihmisestä riippumattomasti, joten sen on sisällettävä antureita eli sensoreita. Jotkin alustat, kuten Draginon LoRa Mini Dev, sisältävät esim. lämpötila-anturin, jonka avulla alustan sisäistä tai toisissa tapauksissa ulkoista lämpötilaa voi seurata. Sensoriteknologiaa on runsaasti, eikä tässä pystytä antamaan kuin yleinen kuva siitä, millä tavalla anturit toimivat.

Antureilla voidaan havaita esimerkiksi liikettä, lämpötilaa, valoisuutta tai kosteutta. Usein halutaan antureilta kerätyllä datalla vaikuttaa joillain tavalla laitteen ympäristöön tai välittää tieto eteenpäin ihmiselle.

Järjestelmät tarvitsevat käyttötarkoituksesta riippuen myös muita oheislaitteita, kuten valoja ja näyttöjä kommunikaatioon tai kellon, joka pitää laitteen oikeassa ajassa. LED-valot ovat suosituksa käytössä virtatehokkuutensa takia tavallisissa talouksissakin yleisvalaistuksena. Lyhenne tulee sanoista *Light-Emitting Diode* ja se merkitsee valoa säteilevää puolijohdetta, hohtodiodia [18].

Monissa IoT-ratkaisuissa on myös tärkeää pitää laitteisto oikeassa ajassa. Jos laite on kytketty esim. Wi-Fiin, voidaan sitä kautta synkronoida aika tietyn ajanvälein. Wi-Fi vie kuitenkin muihin langattomiin kommunikaatiotapoihin verrattuna huomattavasti enemmän virtaa, joten laite on kytkettävä verkkovirtaan. Langattomassa ratkaisussa puolestaan voidaan käyttää RTC-moduulia (sanoista *Real-Time Clock*). Mikrokontrollereissa on valmiina kelloja ja ajastimia, mutta nämä eivät toimi ns. ihmisajassa vaan laskevat käynnistyksestä kuluneiden kellojaksojen määrää. Niiden ajanmittauskapasiteetti voi myös olla rajattu, joten kello menee jossain kohtaa ympäri, aloittaen ajan taas nollasta.

Virransäästön ja tarkassa ajassa pysymisen lisäksi mahdollistaa RTC sen, että

prosessori voi keskittyä muuhun toimintaan. Kun laitteen on tarkoitus suorittaa ennalta määrätty toiminto, antaa RTC signaalin tästä mikrokontrollerille. Prosessorin ei tarvitse tarkistaa aikaa jatkuvasti.

Anturit ja aktuaattorit ovat kytkettynä mikro-prosessoriin sarjaliikenneprotokollien avulla, joita ovat esim. SPI- ja I²C-väylät [28]. SPI (sanoista *Serial Peripheral Interface*) on master-slave-tyylinen kommunikaatioprotokolla. Slave-laitteet valitaan slave-select-pinnillä, joten näitä on oltava yhtä monta kuin slave-laitteita. I²C-protokollassa (sanoista *Inter-Integrated Circuit bus*) puolestaan slave-laitteilla on omat osoitteensa ja master-laitteita voi olla useampi.

3.4 Sulautettujen laitteiden määrittämisestä

IoT-laitteet ovat ns. sulautettuja järjestelmiä, jossa mikrokontrolleri ohjaa aktuaattoreita ja antureita tiettyä tarkoitusta varten. Sulautettuja järjestelmiä löytyy mm. autoista, lentokoneista ja monista kodin laitteista, kuten mikroaaltouuneista ja pesukoneista. Esimerkkinä tavallinen uuni, joka lämmittää sisätilaansa aktuaattorin avulla, mittaa lämpötilaa anturin avulla sekä sytyttää ja sammuttaa valoa tarpeen mukaisesti, on sulautettu järjestelmä, jonka toimintalogiikkaa hoidetaan mikrokontrollerin avulla.

Sulautettujen järjestelmien yksiselitteinen määrittäminen ei ole Holtin ja Huangin mukaan mahdollista [27]. He luettelevat useamman tavan, joilla sulautetut järjestelmät voisi määrittää, joihin jokaiseen löytyy jokin poikkeus. Mikään tunnusmerkki ei ole yksinomainen sulautetuille järjestelmille.

Sulautetut järjestelmät voidaan määrittää jonkin laitteen tai koneen alajärjestelmäksi. Näin voitaisiin sanoa, että yleiskäyttöinen tietokone koostuu useammasta eri sulautetusta järjestelmästä. On kuitenkin liuta itsenäisiä järjestelmiä, jotka luetellaan sulautetuiksi järjestelmistä, jotka eivät ole suuremman kokonaisuuden alajärjestelmiä, kuten verkkoreitittimet.

Tietty käyttötarkoitus on toinen tapa, jolla sulautettuja järjestelmiä pyritään määrittelemään. Toisaalta mm. älypuhelimet nähdään yleisesti sulautettuna järjestelmänä, mutta ne pystyvät paljon muuhunkin kuin pelkkään puheluiden soittamiseen.

Reaaliaikaisuuden kautta pyritään myös määrittämään sulautettuja järjestelmiä. Reaaliaikaisten järjestelmien käsitettä käytetäänkin paikoittain sulautettujen järjestelmien synonyymina. Kuitenkaan kaikki sulautetut järjestelmät eivät toimi reaaliaikaisesti.

Muita piirteitä, joita Holt ja Huang [27] luettelevat, ovat pieni jalanjälki, vir-

tapiheys, alhainen prosessointiteho ja muistikapasiteetti, laitetta varten kehitetty käyttöjärjestelmä, interaktio fyysisen maailman kanssa sekä yhden levyn tietokone.

Gangulyyn [20] mukaan sulautettujen järjestelmän komponenttien, ohjelmakoodin ja kommunikaatioväylän valinta perustuu karkeimmillaan siihen, onko järjestelmän reaaliaikaisuuden vaatimus kova, pehmeä vai hybridi. Kova reaaliaikaisuus ei salli virheitä, sillä pieninkin viive suorituksessa voi olla hengenvaarallinen. Pehmeä reaaliaikaisuus puolestaan sietää viivettä. Hybridit sisältävät sekä viivettä sallivia osia että aikatarkkoja osia.

4 Lääkehoidon tukemisesta esineiden internetin teknologialla

Esineiden internetin teknologian käyttö on nykypäivänä runsasta ja monipuolista. IoT:n avulla voidaan kerätä suuria määriä tietoa erilaisista ympäristöistä kattaen koko maailman populaation. Hoito- ja hoiva-alalla nähdään tämän tuovan mm. tehokkaampaa diagnosointia ja parampaa ymmärrystä sairauksien kulusta [19].

Terveysalallaan kohdistuva tutkimus IoT:n hyödyistä on moninaista, eikä kaikkiin sen osapuoliin pystytä tämän työn yhteydessä perehtymään. Tässä luvussa esitellään alaluvussa 4.1 tekniikka-avusteisen asumisen käyttöä ikäihmisen kotihoidon tukena, ja alaluvussa 4.2 aiempia tutkimuksia lääkehoidon tueksi tarkoitetuista järjestelmistä.

4.1 Toimintakyvyn tukeminen tekniikka-avusteisella asumisella

Tekniikka-avusteinen asuminen (eng. *Ambient Assisted Living*, AAL) on keskeinen käsite ikäihmisten kotihoidossa IoT-teknologian avulla. AAL-ratkaisuissa avustettavan henkilön kotiin asennetaan antureita. Näin mahdollistetaan ikäihmisen ympärivuorokautinen tarkkailu vähentäen tarvetta käynneille ja samalla turvaten kotona elämisen mahdollisimman pitkään. AAL:n avulla voidaan lisätä turvallisuutta, tehostaa hoitoa ja helpottaa sosiaalista kanssakäymistä, jotka puolestaan edistävät psyykkistä, fyysistä ja sosiaalista hyvinvointia [34].

AAL:n mahdollistamat kaatumisen hälytykset, nopea avunsaanti hätätilanteissa, videovalvonta ja tarpeelliset muistutukset lääkkeistä, päivittäisistä askareista ja menoista lisäävät ikäihmisen turvallisuutta [34]. Samalla voivat myös ikäihmisen omaiset saada pääsyn kerättyyn dataan. Näin myös ikäihmisen omaiset, jotka usein kantavat huolta ikäihmisen voinnista, voivat etänä seurata tämän terveystilaa.

Kokkolan yliopistokeskus Chydeniuksessa toteutetussa teknologian kautta tietoa korona hoidettavan tueksi eli TEHO-hankkeessa kehitetään järjestelmää, joka toimii kotihoidon piirissä asuvien muistisairaiden tukena [1]. Hankkeen yhteydessä on kehitetty muistisairaana liikkeitä monitoroiva järjestelmä [35, 36].

Älykoteja kehitetään pääsääntöisesti hoivakodeissa, vaikka tavoite on usein yksityiset kodit, sillä monilla ihmisillä on toive jäädä mahdollisimman kauan omaan

kotiin asumaan [25].

Automatisointi ja robotit auttavat sellaisia henkilöitä, jotka eivät enää yksin pärjaisi. Teknologia ei kuitenkaan saa olla tunkeilevaa eivätkä ihmiset halua asua kodissa, joka on täynnä tekniikkaa [25]. Viivakoodit, sirukortit ja RFID-tagit, tekstintunnistus ja biometriset tunnistet ovat älykotikehityksessä apuvälineinä. Erityisesti RFID-teknologia on noussut suosioon, koska sen avulla voidaan tunnistaa erilaisia asioita ja tapahtumia, tagit ovat pieniä, eikä teknologia vaadi näköyhteyttä lukijan ja tagin välillä, kuten esim. viivakoodi vaatii [25].

Tutkimuspohjaista terveydenhuoltoa painotetaan Suomessa vahvasti. Se tarkoittaa, että uusista hoitojen ja toimenpiteiden toimivuudesta ja hyödyllisyydestä on oltava painavaa näyttöä. Näin uuden toimintamallin kehityksestä sen käyttöönottoon voi kestää kymmenen vuotta tai enemmän [49]. Toisin sanoen, yksittäinen positiivinen tutkimustulos ei riitä, vaan malleja ja hoitoja on tutkittava pitkäjänteisesti useammasta eri näkökulmasta.

4.2 Lääkehoidon seuraaminen ja tukeminen IoT-laitteilla

Tässä luvussa tarkastellaan, minkälaisia ratkaisuja aiemmat tutkimukset ovat löytäneet lääkehoidon tukemiseen ja minkälaisilla tavoitteilla ratkaisuja on kehitetty. Taulukossa 4.1 on koottu lääkemuistuttajia ja -annostelijoita käsitteleviä tutkimuksia. Useimmat näistä kuvailevat järjestelmän prototyypin ilman vaatimusmäärittelyä.

Näissä tutkimuksissa prototyyppi on rakennettu luvussa 3.2 esitettyjen Arduinon [12, 29, 38, 53, 64] tai Raspberry Pin [30] päälle. Lääkkeiden säilytys- ja ottotapoja on monia, joka näkyy myös tutkimuksissa. Käytössä voi olla lääkepurkki [4, 53], lääkekaappi [29], lääkelaatikko [12, 54] tai lääkkeet annosteleva automaatti [46, 64].

Wi-Fi on näissä tutkimuksissa suosittu kommunikaatiotapa [12, 29, 53, 54]. Muita tutkimuksissa käytettyjä kommunikaatiotapoja ovat ZigBee [14], GSM [30, 38], XBee [64] tai itse kehitetty radioteknologia [4]. Vain yhdessä tutkimuksessa laite ei hyödyntänyt langatonta kommunikaatiota vaan oli johdolla kiinnitetty LAN-verkkoon [46].

Seuraavassa on kuvailtu tarkemmin viisi tutkimusta, joissa ratkaisu on perusteltu vaatimusmäärittelyllä ja osassa myös käyttökokeilulla. Kaksi näistä kehittivät järjestelmän, jonka tarkoitus on kerätä tietoa lääkkeiden otosta ja välittää sitä eteenpäin hoitajalle [57, 60]. Muut järjestelmät sekä muistuttavat lääkkeiden otosta että lähettävät tietoa unohtuneista lääkkeistä eteenpäin hoitohenkilökunnalle tai omaiselle

[52, 5, 66].

IoT-pohjainen älykäs lääkeannostelija

Sahlab et al. [52] esittävät heidän löytämiä AAL-järjestelmiä olevan suljettuja järjestelmiä, jotka koostuvat kiinteistä komponenteista, joten niissä syntyy ongelmia yhteentoimivuuden sekä joustavuuden suhteen. He aloittavat oman järjestelmäkehityksensä vaatimusmäärittelyllä. Vaatimusmäärittelyn jälkeen Sahlab et al. [52] tarkastelevat olemassa olevia julkaisuja näiden kriteerien valossa ja toteavat, että yksikään heidän löytämistä järjestelmistä ei täytä kaikkia heidän asettamia vaatimuksia.

He jakavat vaatimukset järjestelmävaatimukseen sekä IoT- ja AAL-vaatimukseen. Järjestelmävaatimusten mukaan lääkkeitä ja käyttäjätietoja pitää pystyä syöttämään järjestelmään. Käyttäjän pitää saada muistutuksia lääkkeenottoajoista. Järjestelmän pitää pystyä havaitsemaan ja kirjaamaan lääkkeiden otto. Käyttäjän pitää myös pystyä hallinnoimaan tietojaan. Sen lisäksi tutkijat ehdottavat, että järjestelmässä voisi olla toiminto, joka hälyttää vastaamatta jätetyistä muistutuksista. He pohtivat myös toimintoa, joka mallintaa käyttäjän muistamiskäyttäytymistä mahdollistaen käyttäjän henkilökohtaisen tukemisen.

Tutkijat asettavat järjestelmälle vaatimuksena, että tämän tulee olla IoT-laite. Järjestelmän tulee olla joustava ja laajennettava, komponenttien tulee olla löyhästi kytkettyjä ja helposti poiskytkettävissä. Järjestelmän tulee olla käyttäjälle turvallinen käyttää. Järjestelmässä pitää huomioida tietoturva. Järjestelmän keräämästä datasta luodaan käsittelyn kautta tietoa ja yhteyksiä käyttäjän toiminnasta, ts. sen tulee olla älykäs. Järjestelmän tulee myös luoda yhteyksiä muiden palveluiden rajapintoihin kerätyn tiedon perusteella. Järjestelmän on oltava ikäihmisille sopiva sisältäen toiminnallisuuksia kuten käyttäjien välisen kanssakäymisen ja tunkeilemattoman tiedonkeruun lääkkeiden ottamisesta.

Kehitettävä järjestelmä koostuu lääkeannostelijasta, puhelinsovelluksesta sekä pilvipalvelimesta, johon tallennetaan otettavat lääkkeet, muistutusajat ja käyttäjän profiilitietoja. He liittävät järjestelmään automaattisen lääketilausominaisuuden ja rajapinnan hoitohenkilökunnalle.

Heidän prototyypinsä ei ole liikutettava laite, vaikka lopullinen laite esitetään olevan mukaan otettava. Laiteprototyyppi perustuu Raspberry Pi -alustaan ja se sisältää WLAN- ja Bluetooth-moduulit myöhempää jatkokehitystä varten. Infrapuna-moduuli tarkkailee lääkelokeroita ja liikkeentunnistin lääkkeen ottoa laitteesta. Hälytykset toteutetaan prototyypissä LED-valoilla ja kaiuttimella.

Taulukko 4.1: Julkaisuja lääkemuistuttajista.

Julkaisu	Vuosi	Sisältö
[4]	2018	Sensoroidun lääkepurkin prototyyppi
[5]	2011	Järjestelmän suunnitelma sisältäen vaatimukset
[12]	2017	Muistutusjärjestelmän suunnitelma ja alkeellinen prototyyppi, sisältäen mobiilisovelluksen
[14]	2011	Sensorteknologiaa hyödyntävän lääkemuistuttaja prototyypin kehitys
[29]	2018	Arduino-pohjaisen lääkemuistuttajan prototyyppi
[30]	2018	Raspberry Pi 3 -pohjainen muistuttaja kosteus- ja lämpötilanturilla
[38]	2018	Järjestelmän suunnitelma ja prototyyppi
[46]	2012	Lääkeannostelijajärjestelmän prototyypin kehitys
[52]	2019	Raspberry Pi -pohjaisen lääkeannostelijan suunnitelma ja prototyyppi, edeltäen vaatimusmäärittelyn
[53]	2019	Arduino-pohjaisen lääkemuistuttajan prototyyppi
[54]	2018	IoT-lääkelaatikon prototyyppi
[57]	2013	6 sairaanhoitajan ja 65 potilaan haastattelu vaatimusmäärittelyä varten, 8 kuukauden kestävä järjestelmän käyttökokeilu 7 potilaalla
[58]	2018	10 vapaaehtoisen observaatio lääkkeiden ottamisen suhteen, sitten 14 vapaaehtoisen hoitajan tarjoama interventio IoT-laitteen avulla
[60]	2016	10 koehenkilön observaatio yli 4 kk aikana Arduino-pohjaisen lääkemuistuttajan käytöstä
[62]	2010	Lääkemuistuttajaprototyypin kehitys ja arviointi
[64]	2013	Lääkeannostelijan suunniteltu ja Arduino-pohjaisen prototyypin kehitys
[66]	2013	Lääkemuistuttajan vaatimusten määrittely ja prototyypin kehitys

Interaktiivinen lääkemuistuttaja ikäihmisille

Ansari [5] asettaa kehitettävälle laitteelle käytettävyyden ja käyttökokemuksen vaatimuksia. Käytettävyyden puolella hän pitää tärkeänä, että järjestelmä on toimiva, niin että oikean lääkkeen ajallinen otto oikeassa määrässä helpottuu. Lääkkeiden täyttö laitteeseen pitää olla yksinkertaista. Järjestelmän tulee sen lisäksi olla helpposti omaksuttava. Laitteen kiinnitettävän kosketusnäytön painikkeiden pitää olla selkeitä ja intuitiivisia. Värien, ajan ja järjestelmään lisättävän kalenterin tulee olla mukautettavissa aina kunkin käyttäjän toiveiden mukaisesti. Järjestelmän tulee olla turvallinen. Käyttäjien tiedot tulee tallettaa niin, että niihin on vain kyseisellä käyttäjällä pääsy. Käyttäjän tiedot näytetään käyttäjän lisäksi ainoastaan tämän lääkärille. Hygieniasyistä lääkkeet tulee säilöä steriileissä lokeroissa.

Käyttökokemuksen puolella Ansari näkee, että järjestelmä tukee käyttäjänsä itsenäisyyttä lisäten elämänlaatua. Järjestelmän kalenteri auttaa paitsi lääkkeiden oton muistamisessa myös muiden menojen hallinnassa. Se motivoi käyttäjää ottamaan lääkkeensä oikeanlaisesti ja on ulkoisesti miellyttävän näköinen ja näin herättää käyttäjässä halua käyttää laitetta.

Ansarin suunnitelman mukaan laite on ladattava ja riittävän pieni mahtuakseen taskuun. Se sisältää LED-valoilla varustetun lääkelokerikon lisäksi viivakoodinlukijan, jonka avulla lääkkeen tiedot voidaan ladata järjestelmään. Järjestelmään on tarkoitus lisätä sekä värinään, ääneen että valoon perustuvia hälytystapoja. Suunnitelma sisältää myös tietokannan ja henkilökohtaisen kalenterin. Tutkimusta on aikomus jatkaa käyttäjähaastatteluja, kohderyhmätutkimuksia sekä kyselytutkimuksen suunnitellun järjestelmän jällekehitykseen.

Kotihoidon tukeminen lääkeavustajalla

Suzuki et al. [57] aloittavat järjestelmäkehityksensä vaatimusmäärittelyllä. He haastattelevat tätä varten kuutta kotisairaanhoidajaa ja heidän 65 potilastaan. Haastattelutulosten pohjalta he päättävät, että järjestelmän tulee hyödyntää tuttua, kaupasta saatavaa lääkeannostelijaa. Annostelijan on oltava tarvittaessa mukaan otettava, järjestelmän tulee edesauttaa potilaan ja hoitohenkilökunnan välistä kommunikaatioita sekä järjestelmän tulee tarjota potilaalle tietoa lääkkeistä. He painottavat järjestelmän kehityksessä viimeistä kahta vaatimusta eli tiedonkulkua potilaan ja hoitajan välillä sekä potilaalle annettavaa tietoa lääkkeistä.

Kehitetyssä järjestelmässä potilas valitsee itselleen sopivan lääkelokerikon kau-

pan valikoimasta, joka varustetaan antureilla niin, että kannen avaus voidaan havaita. Kannen avaaminen ja sulkeminen tulkitaan lääkkeenotoksi. Sen lisäksi järjestelmään kuuluu potilaan kotiin asennettava älytaulu, johon hoitaja voi lähettää henkilökohtaisia viestejä ja kuvia. Käyttökokeilussa Suzuki et al. [57] toteavat, että kaikilla potilailla on yksilöllinen tapa ottaa lääkkeitään.

Teknologia-avusteinen lääkemuistuttaja kotihoitoon

Toh et al. [60] kuvaavat konferenssipaperissaan valvontajärjestelmän, joka lähettää omaiselle tai hoitajalle hälytyksen, kun potilas ei ole muistanut ottaa lääkkeitään. Näin mahdollistetaan lääkärin ajallinen reagointi ottamatta jätettyihin lääkkeisiin. Tätä tutkimusta on hyödynnetty myöhemmin Tanin et al. [58] julkaisussa, jossa tekijät ovat yhtä lukuun ottamatta samat. Järjestelmiä tarkastellaan tässä siten kokonaisuutena. Tutkimusryhmä tarkkaili ensin yli kahden vuoden ajan lääkkeiden ottotapoja Arduino-pohjaisella järjestelmällä, joka havaitsi lääkelaatikon tai -kaapin avaamista. Tämän jälkeen 14 ikäihmisille tarjottiin lääkkeiden ottoon liittyvää interventioita.

Tan et al. [58] päättelevät, että muistutusjärjestelmä voi olla toimiva vain, jos ikäihmisten ei tarvitse muuttaa tottumuksiaan, hoitajat tai omaiset voivat puuttua unohteluun ajoissa ja hälytykset voidaan yksilöidä jokaisen henkilön profiilin mukaisesti.

Älykäs lääkkeiden hallintajärjestelmä

Vashney [66] käyttää lääkemuistuttajansa taustatietona HPM-mallia (sanoista *Health promotion model*). Mallin mukaan terveys ei ole pelkästään sairauden poissaolo. Jokaisen ihmisen henkilökohtaiset piirteet ja kokemukset vaikuttavat käyttäytymiseen, jota muuttamalla taas voidaan vaikuttaa mm. lääkeohjelman noudattamiseen.

Varshney asettaa taustatutkimuksensa jälkeen seuraavat vaatimukset laitteelle. Sen on oltava kannettava, jotta se voidaan ottaa mukaan matkoille ja tapaamisiin. Laitteen on oltava tietoinen ympäristöstään ja käyttäjän aktiviteeteista. Laitteen tulee antaa yksilöityjä muistutuksia ja kommunikoida käyttäjän kanssa antaen tälle tukea lääkkeiden otossa. Laitteen pitää seurata lääkkeiden ottoa, kommunikoiden terveydenhuollon ammattilaisten kanssa tarvittaessa. Viimeisenä Varshney toteaa, että laitteen on tarjottava käyttäjälle yksittäisiä ja yhdistettyjä interventioita. Vashney huomioi tutkimuksessaan sekä yhden että useamman lääkkeen otton.

Varshney kehittää laitteen iteratiivisesti. Itse laitteen tai prototyypin teknistä puolta ei kuvailla. Käyttökokeilun suhteen Varshney toteaa, että laite paransi lääkkeiden

ottoa. Lääkemääräyksen noudattamista seurattiin ensin yhdessä hoitajan kanssa ilman muistutuslaitetta. Saaduista tiedoista tunnistetaan potilaan muistutuksen tarpeet ja määrätään sopivat interventiot. Näiden interventioiden käyttöönoton jälkeen havainnoidaan jälleen lääkkeiden ottoa ja määritetään mahdollisesti tarpeet uudelleen, muokataan interventioita ja havainnoidaan lääkkeiden ottoa, kunnes nähdään selkeää parannusta.

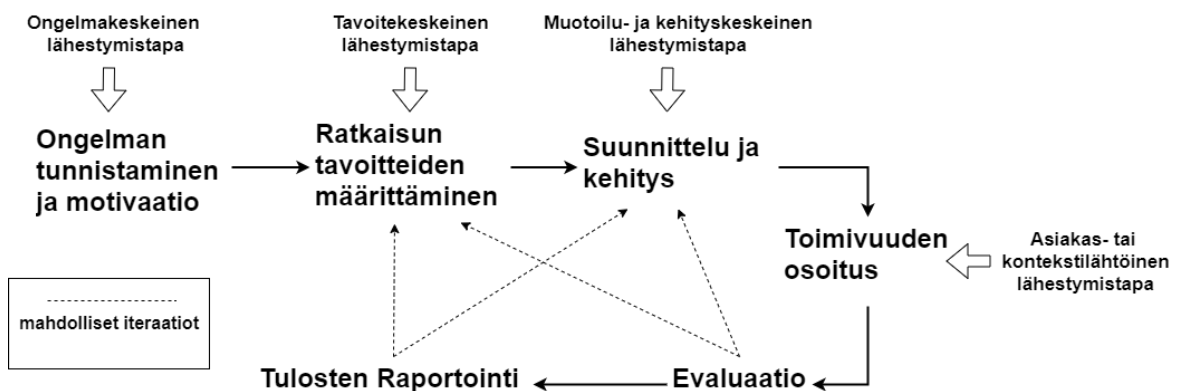
5 Järjestelmien kehityksestä tutkimustyössä

Tässä luvussa tarkastellaan suunnittelutieteellistä lähestymistapaa tietotekniikan tutkimuksessa alaluvussa 5.1. Prototyypin käyttöä järjestelmän kehityksessä käsitellään alaluvussa 5.2. Alaluvussa 5.3 pohditaan, mitä tulee huomioida, kun tietoteknisiä ratkaisuja suunnitellaan ikäihmisille.

5.1 Suunnittelu tutkimuksen kohteena

Suunnittelutieteissä kehitetään rakenna-evaluoi-syklissä artefakteja ihmisen käyttöön [26]. Erona rutiinityöhön on se, että rutiinityössä sovelletaan olemassa olevaa tietoa ratkaisemaan jonkin organisaation ongelma, kun suunnittelutieteiden tuloksena on innovaatio tai aiempaa tehokkaampi ratkaisu. Toimivuus ja paremmuus määritetään tieteellisillä mittareilla.

Tässä alaluvussa kuvaillaan suunnittelutieteellinen tutkimusmenetelmä Pefferin et al. [47] mukaisesti. Mallissa eri toiminnot ovat esitetty numerojärjestyksessä, mutta tutkimuksen aloituskohta voi poiketa tutkimuksen lähestymistavan mukaan. Toiminnot ovat tiivistetty kuvaan 5.1.



Kuva 5.1: Suunnittelutieteen toiminnot Pefferin et al. [47] mukaan.

Ongelman tunnistaminen ja motivaatio

Ongelmakeskeinen lähestymistapa aloitetaan ongelman tunnistamisesta ja tutkimuksen motivaation määrittämisestä [47]. Tämä lähestymistapa valitaan silloin, kun

tutkija havaitsee tietyn ongelman jossain ympäristössä. Toisinaan se valitaan aiemman tutkimuksen jatkotutkimusehdotuksen pohjalta. Ongelman määrittäminen vaatii ymmärrystä tutkimustilanteesta ja ratkaisun tarpeellisuudesta [47].

Ongelman onnistunut määrittäminen vaatii myös sen ympäristön ymmärrystä, jossa suunnitteluprosessin tuotoksen on tarkoitus toimia. Ympäristö koostuu ihmisistä, organisaatiosta ja näiden käytössä tai suunnitteilla olevista teknologioista [26]. Ongelman määrittämisessä tulee ottaa kantaa siihen, minkälaiset ihmiset tai ihmisryhmät minkälaisissa olosuhteissa tulevat käyttämään artefaktia. Tieteellisen mallin kehitys tutkijayhteisölle vaatii aivan erilaista sanastoa ja kontekstia kuin tietojärjestelmän kehitys yritykselle.

Ongelma voidaan jakaa pienempiin osiin ja sitä voidaan yksinkertaistaa [47]. Ongelman pilkkominen auttaa hahmottamaan ongelman kompleksisuuden ja tukee myöhempää iteratiivista kehitystyötä antamalla konkreettisia osaongelmia, joihin voidaan yksi kerrallaan etsiä ratkaisuja. Ongelma voidaan määrittää tavoitetilän ja nykytilän erotuksena, jolloin ongelmaratkaisu prosessina on tämän erotuksen pienentäminen tai poistaminen [26].

Kaikki suunnittelutyö ei kuitenkaan sovi tieteelliseen tutkimukseen. Hevner al. [26] painottavat tutkimuksen uutuusarvoa tai selkeää parannusta aiempaan ratkaisuun. He luettelevat kolme eri tutkimustulostyyppiä, joista ainakin yhden on esiinnyttävä tuloksissa. Useimmiten merkittävin tutkimustulos on artefakti itsessään, jolloin artefakti ratkaisee aiemmin ratkaisemattoman ongelman. Toisena tutkimustulos voi laajentaa tai tarkentaa tietopohjaa ja siten tukea tulevaa tutkimusta. Kolmantena tutkimus voi tuottaa uusia evaluaatiomenetelmiä tai -metriikoita.

Ratkaisun tavoitteiden määrittäminen

Tavoitekeskeinen lähestymistapa aloittaa tutkimusprosessin tavoitteiden määrittämisestä [47]. Tällainen lähestymistapa on käytössä, kun esimerkiksi jokin organisaatio tai tutkimusyhteisö havaitsee tietyn ongelmakohdan, johon artefaktin kehitys voi tuoda ratkaisun.

Ongelman määrittäminen on usein laajempi kuin mitä artefaktilla pystytään ratkaisemaan. Toisin sanoen ongelma ei välttämättä suoraan käänny ratkaisun tavoitteiksi. Suunnitteluprosessissa päästään vähitellen osaratkaisujen kautta kokonaisuuteen [47]. Toimivan järjestelmän sijaan suunnittelutieteissä kehitetään tyypillisesti prototyyppi, jolla osoitetaan, miten ongelma voitaisiin ratkaista [26]. Kehitettävän ratkaisun tavoitteet pitää johtaa ongelman määrittämisestä yhdistettynä tietoon siitä, mikä

on mahdollista [47].

Järvinen [31] jakaa ratkaisut vaihejakoisiin ja evolutiivisiin. Vaihejakoiset ratkaisut kehitetään esimerkiksi vesiputousmallin mukaisesti, luoden ensin suunnitelman ja siirtyen siitä toteutukseen ilman iteraatioita. Hevner et al. [26] kuvailevat ainoastaan evolutiivisia ratkaisuja, joiden kehitysprosessissa iteroidaan suunnittelu- ja rakennusvaiheita, kunnes toivottu lopputulos on saavutettu. Peffersin et al. [47] malli ei sulje vaihejakoista kehitysprosessia pois, sillä mallissa iteraatiot ovat valinnallisia.

Ratkaisun tavoitteiden määrittäminen vaatii tietoa tutkimustilanteesta eli siitä, minkälaisia ratkaisuja on olemassa ja kuinka hyvin ne vastaavat ongelmaan [47]. Jos kohdeympäristöä ei täysin ymmärretä, ei tavoitteita voida määrittää luotettavasti johtaen lopputuloksen epätoivottuun toimintaan [31].

Suunnittelu ja kehitys

Muotoilu- ja kehityskeskäinen lähestymistapa aloittaa prosessin artefaktin suunnittelusta ja kehityksestä. Esimerkiksi olemassa olevan artefaktin sovittaminen uuteen ympäristöön hyödyntää tätä lähestymistapaa [47].

Suunnittelutieteiden tuottama artefakti voi olla konstruktio, malli, metodi tai toteutus [26, 31]. Toisin sanoen, se voi olla mikä tahansa suunniteltu esine, joka sisältää tutkimuksellista panosta [47]. Hevner et al. [26] määrittelevät käsitteet seuraavalla tavalla. Konstruktiot eli rakennelmat muodostavat kielen, jolla ongelmia ja ratkaisuja määritellään. Mallit käyttävät konstrukteja maailman kuvaamiseen. Ne esittävät ongelman ja sen ratkaisun kohdeympäristössä ja auttavat ymmärtämään ongelman ja sen yhteyden ratkaisuun. Menetelmät määrittävät prosesseja ja antavat siten ohjenuoran, jonka avulla ratkaista ongelmia. Toteutukset osoittavat, että konstruktiot, mallit ja menetelmät voidaan toteuttaa osaksi toimivaa järjestelmää.

Suunnittelu ja kehitys sisältää toivottujen toiminnallisuuksien ja arkkitehtuurin määrittämisen [47]. Suunnittelussa voidaan hahmotella useampi eri vaihtoehto. Järvinen [31] suosittelee kahden, mahdollisesti parhaan vaihtoehdon esittämistä raportissa, josta perustellusti valitaan yksi. Myös Hevner et al. [26] kuvailee eri ratkaisuvaihtoehtojen läpikäyntiä kehityssykleissä.

Artefakti on riippuvainen ihmisistä, heidän sosiaalisesta ympäristöstä ja heitä mahdollisesti ympäröivästä organisaatiosta [26]. Ihmiset, joille artefakti kehitetään, on laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi otettava huomioon suunnittelu- ja kehitysvaiheissa.

Toimivuuden osoitus

Asiakas- tai kontekstialoitteinen lähestymistapa voidaan aloittaa artefaktin toimivuutta havainnoimalla [47]. Jos ongelmaan on olemassa ratkaisu, voidaan sen käyttöä tarkkailla ja siitä lähteä työstämään suunnittelutieteellisen menetelmän toimintoja taaksepäin. Tällainen tutkimus voi syntyä mm. konsultoinnin sivutuotteena [47].

Tarkoitus on demonstroida, miten artefakti ratkaisee määrätyn osaongelman kokeen, simulaation, tapaustutkimuksen tai muun sopivan menetelmän avulla [47]. Avainasemassa ovat artefaktin sopivuus ja vastaanotto kohdeympäristössä [26].

Mikäli koko määriteltyä ongelmaa ei ole vielä ratkaistu kehitetyllä artefaktilla, voidaan iteroida takaisin aikaisempaan toimintoon eli ratkaisun tavoitteiden määrittämiseen tai suunnitteluun ja kehitykseen. Iteraation tarve määräytyy myös tutkimuksen luonteen mukaan.

Evaluaatio

Kun edellisessä vaiheessa osoitettiin, että artefakti on toimiva, tutkitaan tässä toimintavaiheessa, kuinka hyvä se on ratkaisemaan ongelman. Ratkaisun tavoitteita, käyttökelpoisuutta, laatua ja tehokkuutta verrataan todellisiin, mitattuihin tuloksiin artefaktin käytöstä [26, 47].

Toteutetun artefaktin toimivuus evaluoidaan siihen sopivalla menetelmällä. Arviointikriteerit ovat mm. toiminnallisuus, täydellisyys, täsmällisyys, tehokkuus, luotettavuus, käytettävyys ja sopivuus kohdeympäristöön [26]. Evaluaatiota varten tutkija tarvitsee tietoa sopivista analyysimenetelmistä ja mittareista. Evaluaatio voi tarkoittaa tulosten vertaamista asetettuihin tavoitteisiin, laadullisen menestyksen arviointia huomioiden budjetin tai muun resurssin, tyytyväisyyskyselyä, asiakaspalautetta tai simulaatiota [47]. Suunnittelutieteiden tutkimuksen lopputulos on kuitenkin harvoin lopullinen, toimiva järjestelmä [26], mikä on huomioitava evaluaatiossa.

Evaluaation jälkeen voidaan tarpeen mukaan iteroida ratkaisun tavoitteiden määrittämiseen tai suunnitteluun ja kehitykseen. Iteraation tarve ja paluukohta määräytyy sen mukaan, mikä on tutkimuksen kannalta järkevää.

Tulosten raportointi

Raportissa kerrotaan ongelmasta ja sen tärkeydestä, artefaktin käytöstä ja uutuudesta, muotoilun perusteellisuudesta sekä tehokkuudesta ongelman ratkaisussa [47]. Suunnittelutieteiden tulokset raportoidaan niin, että teknologiasta kiinnostunut pysyy jälleenrakentamaan laitteiston, ymmärtämään prosessin, joka sen konstruktion

käytettiin, sekä ymmärtämään sen arvioinnin [26]. Akateemisissa töissä voidaan käyttää esitettyä toimintojakoa raportin runkona huomioiden tieteenalan käytänteet [47]. Raportin tulee sisältää myös mahdolliset jatkokehitysideat [26].

5.2 Prototyyppien hyödyntäminen järjestelmän kehitystyössä

Prototyyppi on osittainen, mahdollisuuksia kartoittava tai alustava toteutus järjestelmästä [70], ts. kehitettävän tuotteen mallikappale. Se sisältää lopullisen järjestelmän pääpiirteet tietyltä osalta, mutta se on vielä keskeneräinen, ja sitä muokataan ja laajennetaan tai supistetaan myöhemmin tarpeen mukaan [44]. Prototyypin kehitystyön piirteet muistuttavat pitkälti suunnittelutieteiden piirteitä, joten prototyypin hyödyntämismahdollisuuksiin perehtyminen tukee suunnittelutieteiden mukaista tutkimuksen tekoa.

Prototyyppettä voidaan hyödyntää monipuolisesti. Kehitystyössä on tarkasti määrättävä prototyypin käyttötarkoitus, muoto ja laajuus, jotta prototyypin käytöstä saadaan toivottu hyöty. Prototyypeillä on karkeasti kolme käyttötarkoitusta [70]:

- Selventää, täydentää tai validoida vaatimuksia
- Kartoittaa muotoiluvaihtoehtoja ja
- Luoda alijärjestelmiä, joista lopullinen järjestelmä koostuu.

Prototyypin muoto ja laajuus määräytyy käyttötarkoituksen mukaisesti, jota käsitellään tarkemmin alaluvussa 5.2.1. Prototyyppien käyttöön liittyvät hyödyt ja haasteet ovat kuvattu alaluvussa 5.2.2.

5.2.1 Prototyyppien laajuudesta ja muodosta

Prototyypin käyttötarkoitus määrää prototyypin laajuuden ja elinkaaren. Prototyyppien eri muodot ja näiden käyttötarkoitukset ovat koottu taulukkoon 5.1. Prototyypin laajuus voi olla *mock-up* tai *proof-of-concept*. Mock-up-prototyyppi keskittyy tiettyyn käyttöliittymäosuuteen ottamatta kantaa alla pyörivään toimintalogiikkaan, tietokantaan tai rajapintoihin [70]. Se mahdollistaa arviointia siitä, pystyykö käyttäjä järkevällä tavalla suoriutumaan tehtävistään järjestelmän avulla. Mock-up-prototyyppi on eräänlainen kulissi, jonka takana ei ole oikeaa toiminnallisuutta. Mock-up-prototyyppiä sanotaan myös horisontaaliksi prototyyppiksi [70].

Taulukko 5.1: Erilaiset prototyypit ja niiden käyttötarkoitukset Wiegerson ja Beatty [70] mukaisesti

	Poisheitettävä	Evolutiivinen
Mock-up	Vaatimusten selkeytys ja tarkennus Puuttuvien toiminnallisuuksien tunnistaminen Käyttöliittymävaihtoehtojen tutkiminen	Keskeisten vaatimusten implementointi Prioriteettipohjainen vaatimusten implementointi Nettisivujen implementointi ja parantaminen Järjestelmän mukauttaminen nopeasti muuttuviin liiketoiminnan tarpeisiin
Proof-of-concept	Teknisen mahdollisuuden osoitus Suorituskyvyn arviointi Tiedonhankinta rakennusarvioiden parantamiseksi	Ydintoimintojen ja kommunikatiokerroksen implementointi ja kehitys Ydinalgoritmien implementointi ja optimointi Suorituskyvyn testaus ja säätö

Proof-of-concept-prototyyppi puolestaan on kuin poikkileikkaus järjestelmän tietyistä kohdista ja siksi sitä kutsutaan myös vertikaaliksi prototyyppiksi [70]. Tämän tyyppinen prototyyppi sisältää kaiken olennaisen toiminnallisuuden käyttöliittymästä rajapintojen yli palvelinkerroksiin.

Prototyypit voivat olla poisheitettäviä tai evolutiivisia niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. Ennen prototyypin rakentamista, on tärkeä selvittää, onko tarkoitus kehittää prototyyppistä lopullinen järjestelmä vai tutkitaanko sen avulla erilaisia vaihtoehtoja [70]. Jos prototyypin elinikää ja käyttötarkoitusta ei määritetä tarkasti eikä pysytä suunnitelmassa, on vaarana, että loppukäyttäjälle viedään poisheitettäväksi tarkoitettu prototyyppi [23]. Poisheitettävä prototyyppi kehitetään mahdollisimman nopeasti, niukoilla resursseilla. Siinä ei käytetä ohjelmistojen kehitystekniikoita; muunnettavuus ja nopea implementointi menevät yli kestävyuden, tehokkuuden ja luotettavuuden [70].

Evolutiivinen prototyyppi rakennetaan alusta alkaen kestävästi, noudattaen hyviä käytänteitä ja laatuvaatimuksia, oikotiet eivät ole sallittuja [70]. Tällaista ajan myötä kehittyvää prototyyppiä käytetään silloin, kun jo keskeneräisestä järjestelmästä on hyötyä käyttäjälle, kuten esimerkiksi nettisivujen kehityksessä. Prototyyppi kehitetään iteratiivisesti ottaen jokaisella kierroksella uusia toiminnallisuuksia mu-

kaan järjestelmään tai parantaen käyttäjäpalautteen perusteella jo implementoituja ominaisuuksia [70].

5.2.2 Prototyypin eduista ja haasteista

Gordon ja Bieman [23] esittävät laajan katsauksen prototyypin käyttöön liittyvistä eduista ja niiden tuomista haasteista. He tutkivat 39 tutkimusta, joista 22 käytti evolutiivista ja kahdeksan poisheitettävää prototypointia. Tässä luvussa on esitelty heidän tutkimuksensa tulokset ja opit.

Prototyypit auttavat löytämään järjestelmän epäkohtia kehitysprosessin aikaisessa vaiheessa. Ne tuovat esille väärinkäsityksiä kehittäjän ja käyttäjän välillä. Kehitystyön haasteena on usein se, etteivät käyttäjät osaa ilmaista tarkasti, mitä he järjestelmältä toivovat. Formaalien, kirjoitettujen vaatimusmääritelmien läpikäynti voi loppukäyttäjälle olla puuduttavaa ja epämielekkästä. Loppukäyttäjälle on useasti helpompaa kertoa toimivat kohdat ja puutteet prototyypin tarkastelun jälkeen.

Suorituskykyä voidaan tarkastella erilaisilla ratkaisuvaihtoehdoilla ja valita niistä sopivin. Näin prototypointi voi johtaa tehokkaampaan järjestelmään. Monimutkaisessa järjestelmässä voi muutoin olla hankala hahmottaa, mikä osio vaatii optimointia. Prototyypin avulla suurempikin järjestelmä voidaan jakaa toiminnallisuuksien mukaan ja tarkastella tehokkuutta jokaisen osion kohdalla itsenäisesti.

Prototyypin käytössä kehitystyössä on riski, että käyttäjät vaativat aina enemmän ja enemmän toiminnallisuutta. Gordon ja Bieman toteavat kuitenkin, että heidän aineiston perusteella tästä ei ole näyttöä suuntaan tai toiseen. Osa heidän tarkastelemistaan tutkimuksista raportoi enemmän toiminnallisuuksia. Käyttäjät eivät ymmärtäneet, että vaikka prototyypin on helppo lisätä toiminnallisuuksia, lisäävät ne samalla resurssien tarvetta. Toisaalta jotkut tutkimukset raportoivat vähentyneistä toiminnallisuuksista, koska prototyyppi auttoi keskittymään olennaisiin osuuksiin.

Vaarana on myös, että prototyypillä esitetään sellainen toiminnallisuus, joka ei oikeissa olosuhteissa ole mahdollista. Esimerkiksi reaaliaikaisuus voi asettaa todellisuudessa vahvoja rajoitteita, joita prototyypissä ei ole huomioitu. Siksi järjestelmän suorituskykyyn tulee kiinnittää huomio alusta asti ja määrittää prototyypin käyttötarkoitus tarkasti.

Väärinkäsityksiä kehittäjän ja loppukäyttäjän välillä voi syntyä mm. siitä, milloin järjestelmä valmistuu. Huolella kehitetty, oikean tuntuinen prototyyppi voi antaa käyttäjälle virheellisesti kuvan, että järjestelmä olisi pian valmis. Toisaalta alkeellinen ja nopeasti tehty prototyyppi voi vaikuttaa siltä, että kehittäjän työn jälki on kehnoa.

Tämän takia tulee käyttökokeilu tehdä valvotusti ja ohjeistetusti niin, että käyttäjä ei pääse vapaasti tutkimaan järjestelmää. Tämä antaa myös kehittäjälle tilanteen selvittää mahdollisia väärinkäsityksiä.

Prototyypin kehitystyössä saatetaan käyttää sitä varten kehitettyjä työkaluja. Näin prototyypin kehitystyö on nopeaa ja vaivatonta. Tästä syntynyt koodi on kuitenkin lopullista järjestelmää varten käännettävä järjestelmässä käytettyyn kieleen. Vaarana on, että lopullinen järjestelmä vaatiikin erilaista arkkitehtuuria kuin prototyyppi. Prototyypin jäämiä saattaa myös jäädä lopulliseen järjestelmään aiheuttaen ongelmia yhteensopivuuden ja ylläpidon suhteen.

Myös dokumentointi saattaa jäädä prototypoinnissa heikoille. Vaadittavat dokumentit ja kommentit laaditaan pikaisesti jo valmiina olevaan järjestelmään, joka on prosessina hyvin altis virheille ja puutteille. Jos lopulliseen järjestelmään jää prototypointiin tarkoitettuun työkalulla luotuja komponentteja, voi myöhemmin syntyä ongelmia, kun työkalut eivät ole enää saatavilla.

5.3 Tietoteknologian suunnittelusta ikäihmisille

Luvussa 5.1 esiteltyn Peffersin et al. [47] mallin noudattaminen voidaan aloittaa lähestymistavasta riippuen eri toiminnasta. On selvää, että lähestymistavat tuottavat toisistaan erilaisia tuloksia. Jos kehitystyö aloitetaan olemassa olevan järjestelmän suunnittelulla ja kehityksellä, on lopputulos eri kuin jos kehitystyö aloitetaan ongelman tunnistamisella. Ensimmäisessä tapauksessa pyritään sovittamaan olemassa olevaa ratkaisua uuteen ongelmaan eli mahdollisten ratkaisujen avaruus on vahvasti rajattu. Toisessa tapauksessa puolestaan on lukemattomia ongelman määritelmiä, ratkaisun tavoitteita ja mahdollisia ratkaisutapoja.

Toinen tapa jakaa suunnittelutyön lähestyminen sen suhteen, mistä syystä tai kenelle järjestelmää kehitetään. Lähtökohtana voi olla teknologia, kestävyys tai käyttäjä eli ihminen. Teknologiakeskeisessä lähestymistavassa kehitystyö keskittyy uuden teknologian kehittämiseen tai uuden teknologian implementointiin. Painottaessaan kestävyyttä pyritään luomaan sellaisia laitteita ja tietojärjestelmiä, jotka ovat helppoja ylläpitää, laajennettavissa ja/tai muulla tavalla eliniältään pitkäkestoisia. Kumpikaan näistä lähestymistavoista ei ota niinkään käyttäjää tai käyttöympäristöä huomioon.

Tässä luvussa tutustutaan ensin lyhyesti ihmiskeskeisen järjestelmäkehityksen periaatteisiin alaluvussa 5.3.1. Alaluvussa 5.3.2 pohditaan niitä tekijöitä, jotka pitää ottaa erityisesti huomioon, kun kehitettävän järjestelmän loppukäyttäjänä on

ikäihminen. Koska AAL-järjestelmiä kehitetään pääsääntöisesti hoivakoteihin, esitetään alaluvussa 5.3.3 muutama seikka, jotka pitää AAL-järjestelmän suunnittelussa huomioida.

5.3.1 Ihmiskeskeisestä järjestelmäkehityksestä

Ihmiskeskeisessä järjestelmäkehityksessä (eng. *Human Centered Design, HCD*) lähtökohdaksi on ihminen sekä tämän tarpeet ja toiveet. Sen juuret ovat mm. ergonomiassa, tietotekniikassa ja tekoälyssä [21]. Ihmiskeskeisen ja käyttäjäkeskeisen (eng. *User Centered Design, UCD*) ero on ajatustasolla: UCD olettaa tiettyjä, ennalta määrättyjä käyttäjiä tai käyttäjäryhmiä, jotka käyttävät kehitettyä työkalua tiettyjen toimintamallien mukaisesti [21]. Ongelmiin törmätään, kun loppukäyttäjä ei sovikaan ennalta määrättyyn malliin ja käyttää työkalua eri tavalla kuin suunniteltu.

HCD:n keskiössä puolestaan ovat ihmiset, jolle tietojärjestelmää suunnitellaan. Kyse ei ole kehittäjän kreatiivisesta prosessista [21] eikä uuden teknologian hyödyntämisestä vaan ihmisen tarpeiden ja halujen hahmottamisesta ja kääntämisestä tietojärjestelmän rakenteisiin. Käyttäjystävällisyyden suhteen hyviä tietojärjestelmiä voidaan saada aikaan myös vanhempia teknologioita käyttäen. HCD johtaa järjestelmiin ja palveluihin, jotka ovat intuitiivisia [21]. Intuitiivisuudella tarkoitetaan, että tuote on kaiken puolin helppo käsitellä, sitä osataan käyttää välittömästi ja sen tuottama informaatio on vaivaton ymmärtää.

5.3.2 Ikäihmisen huomiointi suunnittelutyössä

Kun järjestelmää kehitetään ikäihmiselle, on otettava huomioon, että ikäihmiset eivät ole homogeeninen ryhmä, vaan jokaisella yksilöllä on omat taitonsa ja rajoitteensa, mutta myös eritasoinen motivaatio järjestelmän oppimiseen ja erilaisia vaatimuksia yksityisyyden ja tunkeilevuuden suhteen. Mm. geronteknologia tutkimusalana tutkii ikäihmisten tarpeita teknologiakehityksen näkökulmasta.

Huomioitava on mm. toimintakyvyn tukeminen. Ikäihmiselle suunnatun järjestelmän tulee auttaa tätä riittävästi ja vain juuri sen verran, kuin on tarpeen [25]. Esimerkiksi porrashissit auttavat ikäihmisiä pääsemään portaita ylös, mutta samalla heikentävät liikkuvuutta ja poistavat hyötyliikunnan arjesta.

Eräs toinen tärkeä tekijä kehitystyössä on järjestelmän hyväksyntä. Uudesta teknologiasta ei ole hyötyä, jos sitä ei käytetä. Teknologian vastaanottoon vaikuttaa esimerkiksi se, mitä vaihtoehtoja teknologian rinnalla on, kuten läheisten apu. Tek-

nologian torjunta on todennäköistä, jos sen koetaan korvaavan sosiaaliset kontaktit [41].

Ikäihmistä mietityttävät myös teknologian tarve ja siitä saadut hyödyt [41]. Järjestelmän tuottama selkeä hyöty vaikuttaa positiivisesti sen hyväksyntään, missä koettu hyöty on selkeästi todellista hyötyä suuremmassa merkityksessä [15]. Koettuun hyötyyn voidaan vaikuttaa koulutuksella [40]. Koulutus on suunniteltava ja testattava osana järjestelmän kehitysprosessia [15].

Suurta vaihtelevuutta esiintyy oppimiskyvyn ja virheensiedon suhteen. Vaikka oppimiskyky hidastuu iän myötä [15], on samalla huomattu ikäihmiset olevan valmiita harjoittelemaan uuden järjestelmän käytön, jos he kokevat sen hyödylliseksi [40]. Virhetilat ja epätoivottu toiminta aiheuttavat turhautumista ja kykenemättömyyden tunteita, joten järjestelmän on oltava robusti ja virhetiloja saisi esiintyä vain harvoin [15]. Toisaalta voivat ikäihmiset hyväksyä järjestelmän puutteita, jos laitteen hyöty koetaan suureksi [40].

5.3.3 Hoitohenkilökunnan huomiointi suunnittelutyössä

Ikäihmisille suunnattujen järjestelmien lopullinen tavoite on tukea ihmisen asumista omassa kodissaan. Järjestelmät kehitetään kuitenkin usein laitosympäristöissä käytännön syistä: ihmiset ovat harvemmin valmiita tarjoamaan omaa kotiaan kokeelliseen järjestelmäkehitykseen [25]. Kehitystyössä on tästä syystä otettava myös hoitohenkilökunta huomioon.

Hoitohenkilökunta on huolestunut monesta teknologiaan liittyvästä seikasta, kuten työmäärän lisääntymisestä, potilaan turvallisuudesta, käyttöön liittyvistä vaikeuksista, tietoturvasta, teknisistä vaikeuksista ja järjestelmän luotettavuudesta [15].

Järjestelmä otetaan helpommin vastaan, jos se antaa sellaista tietoa, jota hoitohenkilökunta ei ole aiemmin saanut. Sellaista tietoa voi olla mm. potilaan liikkuminen yöaikaan [35]. Toisaalta saatu tieto pitää kokea luotettavaksi ja riittävän tarkaksi, jotta järjestelmä hyväksytään [35]. Esimerkiksi väärät hälytykset kaatumisista lisäävät sekä hoitajien että omaisten huolta ikäihmisen hyvinvoinnista ja samalla vähentävät järjestelmän tarpeellisuuden ja hyödyn tuntemusta [33]. Aiemmat negatiiviset kokemukset tietotekniikan kanssa vaikuttaa uusien järjestelmien hyväksyntään [35].

6 Lääkemuistuttajan suunnittelu ja prototyypin toteutus

Luvussa 2.2 käsiteltiin lääkeohjelman noudattamista yhtenä toimintakykyyn vaikuttavana tekijänä. Samassa todettiin, että tarvitsemme luotettavia malleja siitä, mitkä asiat vaikuttavat lääkkeiden ottoon. Parempi tieto ilmiöstä auttaisi selvittämään unohtelun ja lääkkeiden vääränlaisen oton syyt yksilötasolla.

Luvussa 5.2.1 käsiteltiin prototyyppien eri muotoja ja laajuuksia. Tässä työssä kehitetty prototyyppi keskittyy kommunikaatiotason kehitykseen ja huomioi ainoastaan ns. ydintoiminnan eli lääkkeen otosta hälyttämisen ja tiedon lääkkeen otosta välittämisen palvelimelle. Esitetyssä jaossa kehitetty prototyyppi on siten evolutiivinen proof-of-concept.

Tässä luvussa esitetään suunnitelma järjestelmästä ja ensimmäisen prototyypin toteutus, joka muistuttaa käyttäjänsä lääkkeiden otosta sekä kirjaa tietoa otetuista ja unohdetuista lääkkeistä. Suunnitelma on kehitetty luvun 5.1 suunnittelutieteiden mallin ongelmakeskeisen lähestymistavan mukaisesti. Alaluku 6.1 käsittelee tutkimuksen lähtökohtaa eli sitä ongelmaa, jolle ehdotetulla ratkaisulla haetaan vastausta. Alaluvussa 6.2 tunnistetaan ratkaisun tavoitteet ja sen rajat. Prototyypin kehitystyö on kuvattu alaluvussa 6.3. Prototyypin toimivuus osoitetaan alaluvussa 6.4 ja arvioidaan alaluvussa 6.5.

6.1 Ongelman tunnistaminen ja tutkimuksen motivaatio

Ikääntyvä kansa tuo mukanaan erinäisiä haasteita yhteiskunnalle maailmanlaajuisesti. Suomessa tilanne on nyt jo akuutti, kun enemmän kuin 22 % väestöstä ovat yli 65-vuotiaita. Ikääntyminen tuo yksilötasolla mukanaan toimintakyvyn haasteita, joita käsiteltiin luvussa 2.1. Ihmisen toimintakyky laskee huomattavasti tämän saavutettuaan eläkeiän. Pitkäaikaissairaudet ja niiden hoito lääkkeillä tai muilla terapiamuodoilla ovat keskeisessä asemassa henkilön toimintakyvyn määrityksessä. Tämän työn luvussa 2.2 tarkasteltiin lääkeohjelman noudattamiseen liittyviä haasteita sekä yksilötasolla että yhteiskunnan järjestelmätasolla. Lääkeohjelman noudattamisen kohennus voi mahdollisesti tuoda enemmän hyvinvointia ja säästöjä

terveydenhuollon puolella kuin yksittäisen terapiamuodon kehitys.

Seuraavassa käsitellään lääkeohjelman noudattamisen ongelmaa alaluvussa 6.1.1, jonka jälkeen esitetään kyseisen ongelman jako osaongelmiin ja asetetaan tutkimuskysymys alaluvussa 6.1.2.

6.1.1 Lääkeohjelman noudattamisen ongelma

Lääkeohjelman noudattamisen ongelmia on pyritty tutkimaan monipuolisesti, mutta silti teoriapohja uupuu. Ongelma on monimutkainen ja vahvasti yksilöllisistä tekijöistä riippuvainen, joten lääkkeiden unohtelua ja vääränlaista käyttöä on tarkasteltava aina tapauskohtaisesti. Tämä kuitenkin vaatii luotettavia, laadukkaaseen dataan perustuvia malleja, joiden avulla lääkkeiden ottotapoja voidaan ymmärtää.

Luvussa 2.1 kerrottiin, että toimintakykyä arvioidaan sekä kliinisten kokeiden että subjektiivisten haastatteluiden avulla. Molemmilla tavoilla on haittapuolensa. Kliiniset olosuhteet eivät välttämättä vastaa kodin olosuhteita, joten saadut tulokset eivät välttämättä vastaa ikäihmisen todellista arkea. Toisaalta haastattelussa voidaan antaa epätodenmukaisia vastauksia. Lääkkeiden oton suhteen huomattiin myös, että suurin ongelma syntyy yli puolen vuoden kestoisessa lääkehoidossa, jolloin lääkeohjelman noudattaminen laskee huomattavasti.

Lääkeohjelman noudattamista on käytännössä mahdoton tutkia kliinisissä olosuhteissa, mutta kyselyillä ei voi saada luotettavaa tietoa. Objektiviisen ja luotettavan kuvan muodostamiseksi lääkkeiden ottoa pitäisi tarkkailla ikäihmisen arjessa tunkeilemattomasti.

6.1.2 Osaongelmat ja tutkimuskysymys

Jotta voimme kehittää lääkeohjelman noudattamista tehokkaasti ja luotettavasti enustavia malleja, täytyy meidän ensin kerätä dataa siitä, miten ikäihmiset ottavat lääkkeitään. Tämän jälkeen pitää dataa analysoida, jotta malleja voidaan muodostaa. Lääkeohjelman noudattamisen mallintamisessa avustavan laitteen kehityksen ongelma voidaan jakaa seuraaviin osaongelmiin:

- Datan keruu
- datan tallennus ja
- datan analyysi.

Datan keruu tapahtuu varsinaisen lääkelokerikon avulla. Dataa pitää kerätä monipuolisesti ja luotettavasti. Ongelman ratkaisu alkaa lääkelokerikon kehittämällä, jonka avulla voidaan kerätä tietoa käyttäjänsä lääkkeiden ottoon liittyvistä seikoista luotettavasti ja objektiivisesti. Ratkaistava on, miten voimme kehittää sellaisen laitteen, joka tuntuu käyttäjälleen intuitiiviselta ja tunkeilemattomalta. Laitekehityksessä on pyrittävä huomioimaan käyttäjänsä tarpeet ja mieltymykset, jotta voimme maksimoida laitteen hyväksynnän ja koetun hyödyn.

Laitteelta kerätty data vaatii tietorakenteen, jossa sitä voidaan säilyttää. Tämä on toinen osaongelma. On luotava sellainen tietorakenne, joka säilöo kerättyä dataa turvallisesti ja josta data on haettavissa jatkokäsittelyä varten. Data ei saa paljastaa käyttäjän henkilöllisyyttä eikä siihen saa olla ulkopuolisilla pääsyä. Tietorakenteen pitää kuitenkin olla sellainen, että tietyn käyttäjän tiedot voidaan yhdistää analyysia varten.

Datan analyysi on kolmas osaongelma. Jotta kerätystä datasta voidaan johtaa yleispäteviä malleja, pitää dataa analysoida soveltuvalla tavalla. Datan analyysissä on huomioitava olemassa olevia malleja ja etsittävä ratkaisuja koneoppimisen ja big datan puolelta. Datan analyysin avulla saadaan parempi käsitys siitä, minkälaista dataa laitteella halutaan kerätä, joten tästä voidaan tarpeen mukaisesti iteroida takaisin laitekehitykseen eli datan keruun ongelmaan.

Osaongelmat on ratkaistava esitetystä järjestyksessä: Jotta voimme analysoida dataa, pitää sitä kerätä johonkin louhittavaan tietokantaan. Jotta dataa voidaan säilöä, pitää sitä ensin kerätä käyttäjältä. Toisaalta voi datan analyysi aiheuttaa tarpeen, muuttaa datan keruuta luoden kehityssyklejä, jossa ensimmäiseen osaongelmaan palataan aina, kun kolmannen osaongelman ratkaisun avulla saadaan enemmän tietoa ratkaistavasta ongelmasta.

Tässä työssä haetaan vastausta ensimmäiseen osaongelmaan eli datan keruuseen. Dataa halutaan kerätä monipuolisesti, luotettavasti ja tunkeilemattomasti. Työn tutkimuskysymykseksi muotoillaan seuraavalla tavalla. Miten voimme hyödyntää olemassa olevaa IoT-teknologiaa keräämään luotettavasti dataa lääkeohjelman noudattamisesta?

6.2 Ratkaisun tavoitteiden määrittäminen

Ratkaisun tavoitteiden määrittäminen vaatii luvussa 5.1 esitetyn toiminnan mukaisesti tietoa ongelman nykytilasta ja olemassa olevista ratkaisuista. Tässä työssä

esitettävän kehitystyö aloitetaan siten aiemmin esitettyjen ratkaisujen tarkastelulla niissä esitettyjen tavoitteiden ja ratkaisujen suhteen. Näitä kootaan alaluvussa 6.2.1. Kehitettävän prototyypin vaatimukset käydään puolestaan alaluvussa 6.2.2 läpi.

6.2.1 Aiempien ratkaisujen vaatimukset ja niiden toteutukset

Luvussa 4.2 kuvailtiin aiempia lääkemuistuttajia käsitteleviä tutkimuksia. Ansari [5], Sahlab [52] ja Varshney [66] esittelivät muistuttajajärjestelmän, joka samalla kerää dataa lääkkeiden otosta, kun taas Suzuki et al. [57] ja Tan et al. [58] esittelevät lääkkeiden ottoa tarkkailevan järjestelmän ilman automatisoituja muistutuksia.

Kaikki viisi järjestelmää hyödynsi anturiteknologiaa havaitsemaan lääkkeiden oton ja jotain langatonta radioteknologiaa tiedon välittämiseen eteenpäin. Näistä ainoastaan Ansarin [5] järjestelmä oli pelkästään suunnitelma ilman prototyyppiä. Suzuki et al. [57] ja Tan et al. [58] esittivät paitsi prototyypin myös ensimmäisen käyttökokeilun tuloksia.

Suzuki [57] ja Tan [58] käyttivät kaupasta saatavaa lokerikkoa. Molemmat perustelivat valinnan sillä, että näin ikäihminen saa valita lokerikon itse, joten lääkkeenottorutiinit eivät välttämättä muutu ollenkaan. Omiin mieltymyksiin sopiva lääkelokerikko motivoi laitteen käyttöä. Tämä vaatimus tiivistetään tässä työssä tuttavallisuudeksi. Tuttavallisuus vaatimuksena on perusteltua huomioiden luvussa 5.3.2 esitettyä oppimiskyvyn heikkenemistä ajan myötä, mikä voi aiheuttaa ongelmia uuden teknologian käyttöönotossa ikäihmisillä. Tuttavallinen ulkoasu ja käyttötapa voi vähentää tarvetta uuden oppimiselle.

Lähes kaikki tutkimukset mainitsivat laitteen liikutettavuuden ja pienikokoisuuden olevan tärkeä ominaisuus. Laitteen pitää kulkea mukana arjen menoissa ja olla siirrettävissä sinne, missä sitä tarvitaan. Tämä tiivistetään tässä työssä liikutettavuuden vaatimukseksi. Laitteen on siten oltava ladattava ja langaton eli toisin sanoen IoT-laite. Varshney [66] ja Ansari [5] eivät nimeä omaa järjestelmäänsä IoT-järjestelmäksi. Varshney [66] kuvailee älykästä järjestelmää, joka hyödyntää RFID:tä, Bluetoothia, WLANia ja sensoriteknologiaa. Ansari [5] puolestaan esittää kuvan langattomasta, antureilla varustetusta lääkelokerikosta, joka oletettavasti kommunikoi jonkin palvelimen kanssa langatonta teknologiaa hyödyntäen. Molemmat näistä kuvauksista sopivat luvussa 3 kuvattuun IoT-laitteen rakenteeseen.

Järjestelmissä painotetaan ongelman eri puolia. Suzuki et al. [57] antavat eniten painoa hoitajan ja potilaan väliselle kommunikaatiolle. Heidän järjestelmänsä on selkeästi kehitetty hoivakotikäyttöön. Järjestelmän avulla hoitaja saa tiedon siitä, onko

potilas on ottanut lääkkeensä ja pystyy lähettämään potilaalle tarpeen mukaisesti kuvaviestejä. Luvussa 2.2 mainittiin, että sosiaalisella tuella on vaikutus lääkeohjelman noudattamiseen. Suzukin et al. tutkimus perustuu tähän näkökulmaan. Hoitohenkilökunta koki kehitetyn järjestelmän hyödylliseksi ja parhaassa tapauksessa järjestelmän avulla lääkkeiden unohtelu saatiin vähennettyä 15 prosentista neljään prosenttiin. Tästä aspektista esille nostettu vaatimus nimitetään kommunikaatioksi.

Ansari [5] haluaa tarjota käyttäjälle tietoa otettavista lääkkeistä, jolla pyritään tehostamaan lääkeohjelman noudattamista. Informaatio lääkkeistä ja ottoajoista tallennetaan tietokantaan ja sitä näytetään käyttäjälle laitteeseen kiinnitetyllä näytöllä. Varshney [66] suunnittelee myös, että laite kommunikoi käyttäjän kanssa, mutta ainoastaan tarpeen mukaan. Toisin sanoen käyttäjälle pyritään tarjoamaan sitä informaatiota, jota hän sillä hetkellä kaipaa.

Tutkimuksissa kuvaillaan laitteille erilaisia toiminnallisuuksia. Kaikki tutkimukset mainitsevat, että laitteen on havaittava lääkkeiden otto. Tämän lisäksi on Ansarin [5] lääkelokerikko varustettu LED-valoilla, jotka syttyvät aina otettavan lääkkeen kohdalle. Tutkijat kuvailevat laitteille erilaisia värinään, valoon ja ääneen perustuvia hälytystoiminnallisuuksia. Ansarin [5] järjestelmävaatimukset sisältää sen, että käyttäjä tai hoitohenkilökunta voi lisätä tietokantaan uusia lääkkeitä. Järjestelmää laajennetaan myös henkilökohtaisella kalenterilla ja herätyskello-ominaisuudella. Varshney [66] suunnittelee, että laite voisi myös seurata käyttäjänsä elintoimintoja.

Turvallisuus ja tietoturva sitä vasten ovat huomioitu ainoastaan Ansarin [5] järjestelmäsuunnitelmassa. Kun kyseessä on henkilökohtaisia tietoja keräävä järjestelmä, on erityisen tärkeää huomioida tiedonsiirron ja -tallennuksen turvallisuus. Tarvittavat autentikaatiomekanismit on oltava paikoillaan, ettei ulkopuolinen pääse arkaluonteiseen tietoon käsiksi. Tämän lisäksi pitäisi lääkkeiden otossa ehkäistä yliannostuksen vaara ja estää esimerkiksi lasten pääsy lääkkeisiin. Tätä varten Ansarin [5] järjestelmä sisältää sormenjäljenlukijan.

Varshney [66] ottaa huomioon laitteen mahdollisen käyttölaajennuksen ja lisää siihen Bluetooth-liitännät. Tämä vaatimus on tiiviisti kytkennässä elintoimintojen monitoroinnin kanssa, sillä Varshney kuvailee laitteen myöhemmin toimivan kokonaisterveyttä havainnoivana järjestelmänä.

Varshney [66] järjestelmän keskiössä ovat yksilöitävyys ja monipuolisuus. Myös Sahlab et al. [52] pitävät joustavuutta, mukautuvuutta ja käyttömukavuutta tärkeänä. Käyttäjän on saatava valita paitsi laitteen ulkomuodon ja värin, myös käyttöliittymän ulkoasun. Nämä näkökulmat kootaan yhdeksi mukautuvuuden vaatimuksen alle.

Kooste tässä luvussa esitetyistä aiemmista tutkimuksista nostetuista vaatimuksista on esitetty taulukossa 4.1.

Taulukko 6.1: Aiempien tutkimusten vaatimusten yhteenveto

Vaatus	Toteutus tai tarkennus
Tuttavallisuus	Kaupasta saatavan lääkelokerikon käyttö [57, 58] Ei tottumusten muuttamista [57, 58]
Liikutettavuus	Taskuun mahtuva, ladattava [5, 57, 58, 66]
Kommunikaatio	Hoitohenkilökunnalle tietoa lääkkeiden otosta [57, 58, 66] Lääkkeiden oton kuittauksen mahdollisuus [5] Tietorakenne tiedontallennusta varten [5, 52]
Informatiivisuus	Käyttäjälle tietoa lääkkeistä, näyttö tätä varten [5] Tietokanta lääketietoja varten [5] Kommunikaatio käyttäjän kanssa tarpeen mukaan [66]
Toiminnallisuus	LED-valoilla varustetut lokerot [5] Erilaisia hälytyksiä: värinä, valo, äänimerkki [5, 58, 66] Mahdollisuus lisätä uusia lääkkeitä [5] Henkilökohtainen kalenteri ja herätyskello [5] Elintoimintojen monitorointi [66] Lääkkeen oton monitorointi [5, 57, 52, 60, 66]
Turvallisuus	Sormenjäljenlukija, tiedonsiirrossa autentikaatio [5]
Laajennettavuus	Bluetooth-liitännät terveystietojen toimimista varten [66]
Mukautettavuus	personalisoidut muistutukset [60, 66] kontekstitietoisuus [66]

6.2.2 Prototyypille asetetut vaatimukset

Tämän työn vaatimukset on poimittu aiempien tutkimusten vaatimuksista peilaamalla niitä muuhun taustateoriaan ja siihen, mitä tämän työn puitteissa on mahdollista. Prototyypille asetetut vaatimukset on koottu taulukkoon 6.2.

Tuttavallisuuden avulla pyritään takamaan laitteen helppo käyttöönotto. Laitteen tulee tukea käyttäjänsä mahdollisesti olemassa olevia, lääkeohjelman noudattamisen suhteen toimivia käyttäytymistapoja ja tottumuksia. Ikäihmisille uuden oppiminen voi olla hitaampaa ja hän saattaa vierastaa liian teknisen oloisia laitteita. Kehitettävän laitteen on siis mahdollisimman paljon muistutettava tavallista lääkelokerikkoa.

Liikutettavuus on puolestaan tärkeä, jotta lääkkeiden otto ei unohdu menojen vuoksi tai rajoita ikäihmisen elämää. Liikutettavuus vaikuttaa sekä järjestelmän miellyttävyyteen että yksilön ja olosuhteiden huomioimiseen. Lääkelokerikon on oltava riittävän pieni, että se mahtuu laukkuun mukaan. Sen on myös sisällettävä useamman päivän lääkkeet. Muistutukset eivät vaadi toimiakseen internet-yhteyttä eikä verkkovirtaa. Lokitietoja voidaan tallentaa laitteella, kunnes yhteys on jälleen muodostettu.

TEHO-hankkeen asettama vaatimus on, että laitteen on viestitettävä hoitohenkilökunnalle lääkkeiden otosta jotain hankkeessa kehitetyssä järjestelmässä jo käytössä olevaa langatonta teknologiaa hyödyntäen. Nämä ovat Wi-Fi, LoRa ja Bluetooth. Kommunikaatio nousi myös muissa tutkimuksissa laitekehityksen ytimeen. Tätä varten on lääkkeiden ottoa myös havainnoitava.

Toiminnallisuudet rajoittuvat erilaisiin muistutustyyppeihin. Prototyypissä keskitytään hälytysten antamiseen ja lääkkeiden oton kirjaamiseen. Kehitystyössä on perusteellista keskittyä yhteen asiaan kerrallaan. Laitteen ei ole tarkoitus toimia kokonaisyhyvinvoinnin tarkkailijana tai kalenterina.

Laitteen on oltava laajennettava. Se tulee kehittää niin, että uusien ominaisuuksien lisäys on mahdollisimman yksinkertaista, mutta samalla olemassa olevien muokkaus tai poisto onnistuu myös ilman, että laitteen kokonaistoimintaa joudutaan säätämään kohtuuttomasti.

Järjestelmän ominaisuudet tulee olla mukautettavissa käyttäjänsä mieltymysten mukaisesti. Järjestelmän hyväksyntää hyödyntää, jos käyttäjä saa järjestelmästä mieluisan näköisen ja tuntuisen. Käyttäjän pitää pystyä valitsemaan hänelle sopivat hälytystyypit ja -ajat.

Prototyypissä ei oteta huomioon luvussa 6.2.1 esitetyistä vaatimuksista informaatiivisuutta tai turvallisuutta. Informaation tarjoaminen lääkkeistä vaatii yhteistyötä hoitoalan ammattilaisen kanssa, jotta käyttäjälle voidaan tarjota ajantasaista ja lääkkeiden oton kannalta olennaista tietoa. Informaation tarjoaminen vaatii sen lisäksi tietokantaa, johon tieto tallennetaan ja josta sitä voidaan tarvittaessa hakea. Tällainen kehitys jää tämän työn ulkopuolelle.

Tietoturva puolestaan on oma alansa ja kehityskohde, johon tämän työn yhteydessä ei pystytä ottamaan kantaa. Tietoturvassa tulee huomioida sekä laitteella tapahtuvan tiedon keräyksen ja käsittelyn, tiedon välitys langattomia reittejä pitkin että laitteen turvallinen säilöntä ja jatkokäsittely. Tietoturva on erityisesti hoitotyöhön tarkoitettussa järjestelmässä korkea prioriteetti ja se tulee huomioida, ennen kuin

Taulukko 6.2: Kehitettävän lääkemuistuttajan vaatimukset ja tavoitteet

Tuttavuus	Käyttäjälle tutun lokerikon käyttö tukien mahdollisia toimintatapoja ja tottumuksia.
Liikutettavuus	Käyttäjä on pystyttävä ottamaan laite mukaan matkoille ja menoihin
Kommunikaatio	Hoitohenkilökunnan on saatava tietoa ottamatta jätetyistä lääkkeistä Käytetyn langattoman teknologian on oltava yhteensopiva TEHO-hankkeessa kehitettyyn järjestelmän kanssa
Toiminnallisuudet	Hälytyksiin liittyvät toiminnot, kuten LED-valon sytyttäminen ja äänimerkit
Laajennettavuus	Järjestelmään on pystyttävä lisäämään uusia ominaisuuksia tai sen käyttötarkoitusta laajentamaan
Mukautettavuus	Toiminnot ja ulkoasu ovat käyttäjän muokattavissa

tämän kaltaisia laitteita otetaan potilaskäyttöön.

6.3 Suunnittelu ja kehitys

Luvun 6.2.2 pohjalta kehitettiin suunnittelutieteiden artefakti, joka tässä yhteydessä on proof-of-concept-tyyppinen prototyyppi. Prototyyppi sisältää 4 × 7-LED-valomatriisista, joka edustaa Dosett-läkelokerikon eri lokeroja, joita on neljä jokaiselle viikonpäivälle. Valomatriisi on kytketty Draginon LoRa mini dev -kehitysalustaan, joka huolehtii varsinaisen toimintalogiikan suorittamisesta. Lisäksi laitteeseen on kytketty RTC-moduuli, joka pitää laitteen oikeassa ajassa, ja painonappi, jonka avulla laitteen antamia hälytyksiä saadaan kuitattua.

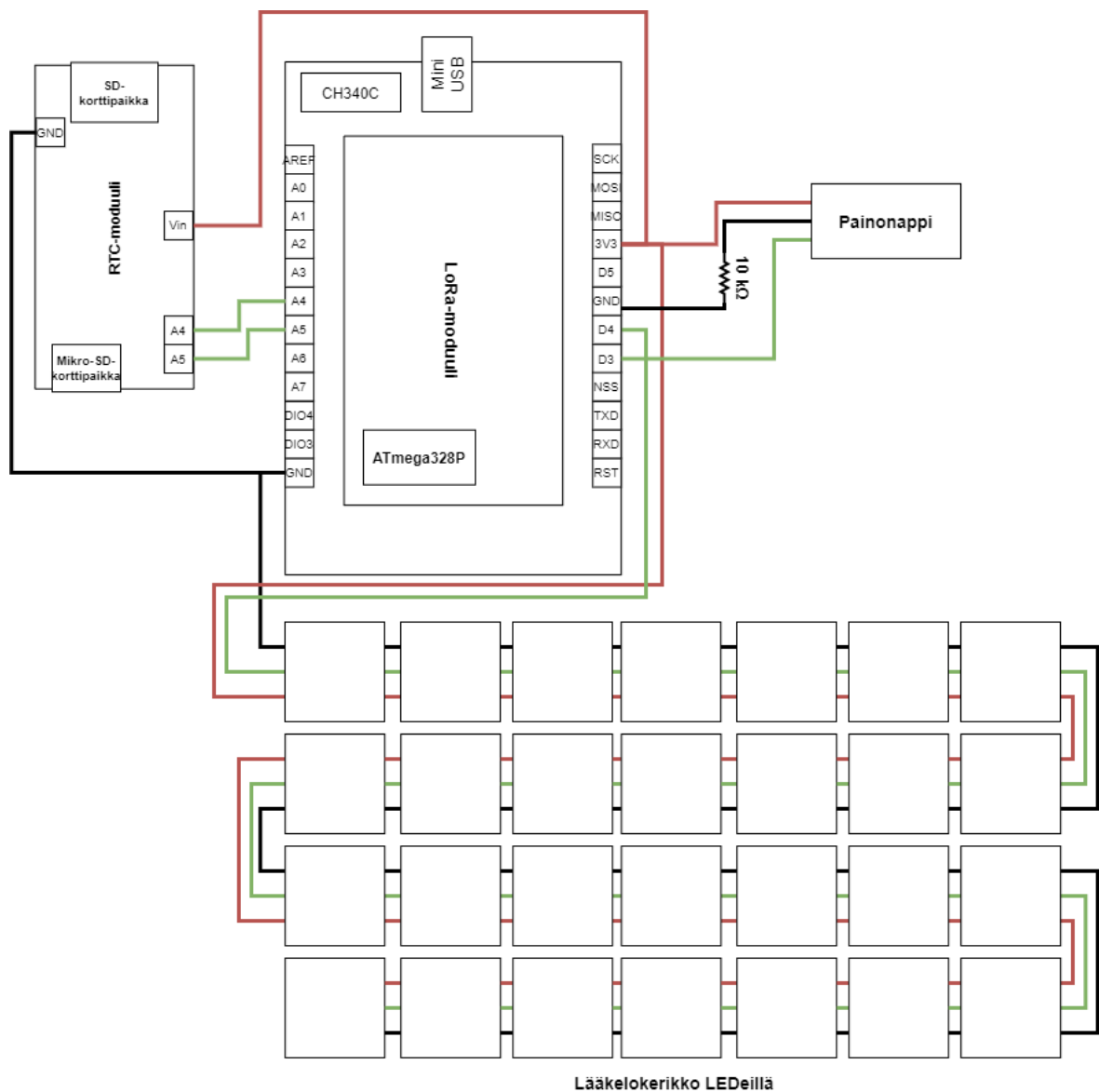
Toimintalogiikka pidettiin yksinkertaisena. Laitteelle annetaan lähdekoodiin muistutusaikoja, jota verrataan RTC:n antamaan aikaan. Jos ajat täsmäävät, sytytetään valomatriisista kyseistä aikaa vastaava LED-valo ja käynnistetään ajastin. Järjestelmä kirjaa tiedon, painoiko käyttäjä painonappia kymmenen minuutin sisällä hälytyksen käynnistämisestä. Päivän lopussa laite lähettää LoRaWAN-viestin palvelimelle, joka sisältää tiedot napin painalluksesta.

Tässä luvussa esitellään lääkemuistuttajan prototyypin kehitystyö. Alaluvussa 6.3.1 esitellään prototyypin toteutukseen käytetyt laitteet. Alaluvussa 6.3.2 kuvataan prototyypin toimintalogiikka. Prototyyppiin viestintätapaan keskitytään alaluvussa

6.3.3.

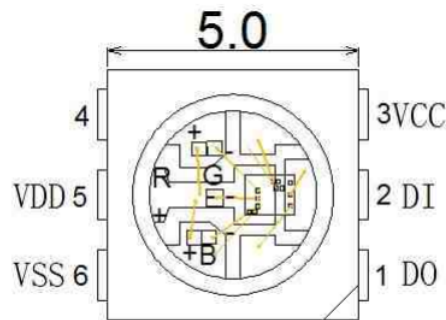
6.3.1 Prototyypin komponentit

Tässä työssä kehitetty prototyyppi koostui Dragino LoRa mini -kehitysalustasta, LED-matriisista, RTC-moduulista sekä painonapista. Kytkentöjen avuksi käytettiin myös kytkentälevyä. Laitteen kytkentä on kuvattu kuvassa 6.1. Kaavion LED-nauhan yksittäisen elementin kaavio on kuvassa 6.2. Prototyypin kuva löytyy liitteestä A.



Kuva 6.1: Järjestelmän lohkokkaavio.

LED-matriisi rakennettiin WS2812B-valonauhasta, josta leikattiin neljä seitsemän



Kuva 6.2: WS2812-valonauhan yksittäinen valoelementti [72].

LED:n pätkää, jotka kytkettiin allekkain. LED-valot ovat riittävän pienet, että ne mah-
tuisivat lääkelokerikon pohjaan. Nauhan valojen väli oli kuitenkin pienempi kuin
yksittäisten lokerojen väli. Valomatriisi jäi tässä prototyypissä vielä irralliseksi varsi-
naisesta lääkelokerikosta. Valonauha on kytketty Draginon digitaaliseen pinniin 4, 3V-
ohjausjännitteeseen ja maahan. Valojen ohjaus tapahtuu `Adafruit_NeoPixel.h`-
kirjaston kuvan 6.3 funktion avulla.

```

1   #define GREEN strip.Color(0, 255, 0);
2   #define RED strip.Color(255, 0, 0);
3   #define LED 4
4   Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(28, LED, NEO_GRB +
      NEO_KHZ800);
5
6   void changeLEDColor(int led, uint32_t color)
7   {
8     strip.setPixelColor(led, color);
9     strip.show();
10  }

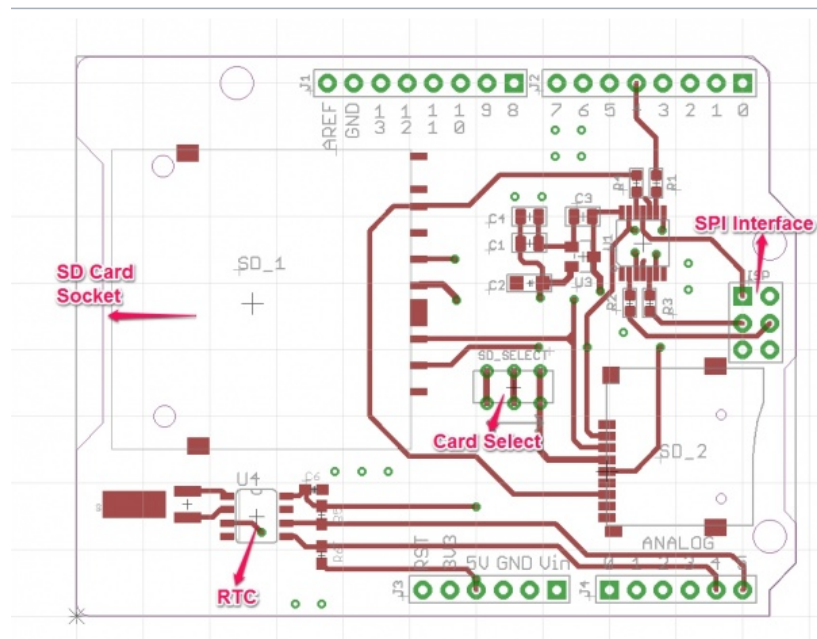
```

Kuva 6.3: Prototyypin LED-valonauhan ohjaus.

Valonauha alustetaan kutsumalla `Adafruit_NeoPixel()` rivillä 3. Rivillä 5
on varsinainen funktio valon vaihtamiseen. Funktiolle annetaan LEDiä kuvaava
kokonaisluku `int` ja väriä kuvaava etumerkitön, kahdeksan bitin kokoinen koko-
naisluku `uint_8`. Tässä tapauksessa `int led` voi saada arvokseen kokonaisluvun
väliltä 0–27. Kutsua helpottaakseen lähdekoodiin on määrätty värit vihreä rivillä 1 ja
punainen rivillä 2. Kun lamppu halutaan sammuttaa, asetetaan väriksi nolla.

RTC-moduulin tarkoitus on pitää järjestelmä oikeassa ajassa, ilman että aika

pitää tarkistaa ulkopuoliselta taholta esim. Wi-Fiä käyttäen. Tässä työssä käytetty komponentti on Elecrow ASC7503RTC. Laite toimii paristolla ja sisältää sekä SD-että Micro SD -muistikorttipaikan. RTC:n analogiset pinnit A4 ja A5 ovat kytketty mikro-ohjaimen vastaaviin pinneihin. RTC:n Vin-pinniin on kytketty Draginon 3V-ohjausjännitteeseen ja GND vastaavasti maahan. RTC-kortin analogiset pinnit A4 ja A5 ovat kytketty varsinaiseen moduuliin, kuten esitetty kuvassa 6.4.



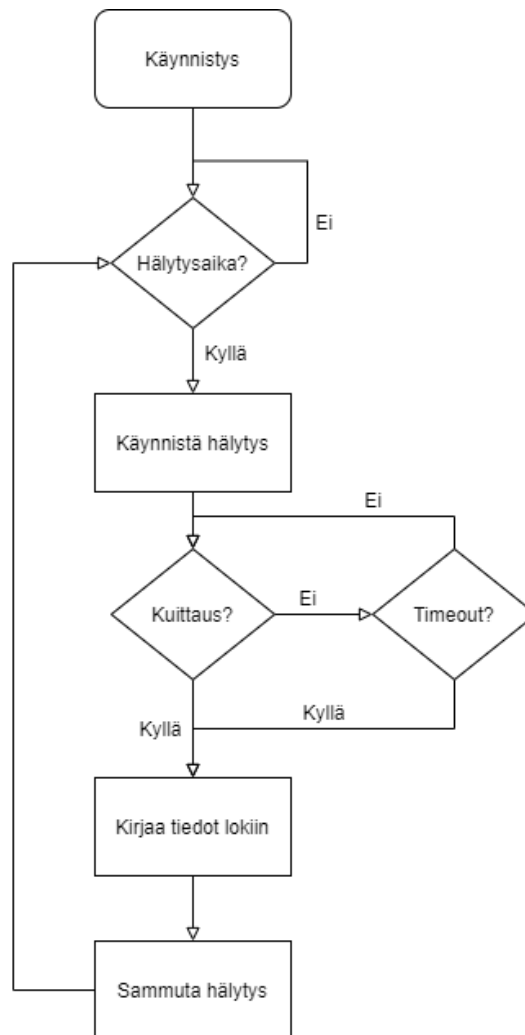
Kuva 6.4: RTC-kortin kaavio [17].

`RTClib.h`-kirjaston funktio `RTC.begin()` käynnistää RTC:n. Toimiakseen se vaatii myös `Wire.h`-kirjaston `Wire.begin()`-funktion, joka avaa I²C-väylän mikro-ohjaimen ja oheislaitteen välistä kommunikaatiota varten. Tämän jälkeen voidaan tarkastaa aika käyttämällä `RTC.now()`-funktiota, joka palauttaa `DateTime`-tyyppisen oliion. `DateTime`-oliolta pystytään pyytämään sen eri osia, kuten vuotta, tuntia tai viikonpäivää, kutsumalla `year()`, `hour()`, `dayOfTheWeek()` jne.

6.3.2 Prototyypin toiminnallisuus

Kuva 6.5 esittää järjestelmän ohjelasilmukan, joka laitteen käynnistyksen jälkeen pyörii aina siihen asti, kunnes järjestelmä sammutetaan. Ohjelmakoodissa on määritetty tiettyjä hälytysaikoja, joita verrataan RTC:n antamaan aikaan. Kun RTC:n antama tunti täsmää seuraavaksi määritetyn tunnin kanssa, käynnistyy hälytys. Järjestelmä jää sitten odottamaan hälytyksen kuittausta ja palaa napin painalluksesta tai

timeoutin aiheuttaman keskeytyksen takia tarkastamaan seuraavaa hälytysaikaa.



Kuva 6.5: Toimintalogiikka

Käynnistyksessä kutsutaan funktio `setup`, jossa alustetaan laitteen eri komponentit. Esimerkki funktiosta on annettu kuvassa 6.6. LoRaWAN-Lähetyksen määrittämiseen tarvittavat funktiot ovat tässä esimerkissä jätetty pois. Ensimmäisellä rivillä määritetään muuttuja `BUTTON` vastaamaan kokonaislukua 3. Sen jälkeen esitellään RTC sekä LED-valonauha.

Varsinainen alustusfunktio alkaa riviltä 5. Rivillä 7 käynnistetään vianmääritystarkoitukseen monitori, johon viestejä voidaan tulostaa, ja josta PlatformIO ottaa tulosteet lokiin. Rivillä 10 kytketään painonappi pinniin 3 ja määritellään se syötettä antavaksi osaksi. Rivin 11 `Wire.begin`-funktio avaa I²-väylän komponenttien välistä kommunikaatiota varten. `RTC.begin` puolestaan alustaa RTC-komponentin

toimintaan.

`RTC.adjust`-funktio asettaa RTC:n oikeaan aikaan. Tämä tehdään laitteelle vain kerran. Kun RTC:hen on asetettu paristo, pysyy se ajassa, eikä alustusta tarvita enää, vaikka järjestelmäkoodi vietäisi laitteelle uudestaan. Riveillä 16–18 kytketään valonauha, asetetaan sen kirkkaus ja asetetaan kaikki valot pois päältä. Tässä esimerkissä kirkkaus on asetettu matalaksi. Funktio voi saada arvoksi kokonaisluvun väliltä 0 ja 255, jossa 0 on enimmäiskirkkaus, 1 pienin kirkkaus ja 255 juuri ennen enimmäisarvoa.

```
1  #define BUTTON 3
2  RTC_DS1307 RTC;
3  Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(60, LED, NEO_GRB +
4      NEO_KHZ800);
5
6  void setup()
7  {
8      Serial.begin(9600);
9      Serial.println("Setup_complete._Welcome!");
10
11     pinMode(BUTTON, INPUT);
12     Wire.begin();
13     RTC.begin();
14
15     RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
16
17     strip.begin();
18     strip.setBrightness(10);
19     strip.show();
20 }
```

Kuva 6.6: Järjestelmän komponenttien alustus `setup`-funktiossa.

Käytetty RTC ei mahdollista keskeytyksiä, joiden avulla mikro-ohjain voi jatkaa muun koodin suorittamista tai mennä virransäästötilaan, kunnes on aika suorittaa keskeytyksen koodi. Prototyypissä funktio `checkTime()` kutsutaan ohjelmasilmukan sisällä, joka käynnistää ajan täsmätessä hälytyksen. Funktio `turnOnAlarm` kutsutaan, kun RTC:n antama tunti täsmää hälytykseksi määrättyyn kokonaislukuun.

Kuvan 6.7 rivillä 1 on esitelty kokonaislukutaulukko `alarmHours`. Se sisältää tunnit, jolloin järjestelmä hälyttää. Apumuuttuja `i` kertoo, mistä indeksistä löytyvää

```

1  int alarmHours[] = {8, 12, 16, 20};
2  int i = 0;
3  int activeLED;
4  int nextAlarm;
5
6  int ledmatrix[7][4] = {{0, 13, 14, 27},
7                        {1, 12, 15, 26},
8                        {2, 11, 16, 25},
9                        {3, 10, 17, 24},
10                       {4, 9, 18, 23},
11                       {5, 8, 19, 22},
12                       {6, 7, 20, 21}};
13
14 void turnOnAlarm(int day){
15   activeLED = ledmatrix[day-1][i];
16   changeLEDColor(activeLED, GREEN);
17   i++;
18   if(i>3) {i=0};
19   nextAlarm = alarmHours[i];
20   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BUTTON), interruptFunction,
21                   FALLING);

```

Kuva 6.7: Hälytyksen käynnistys.

alkiota tarkkaillaan seuraavaksi. Esimerkissä *i* on alustettu nolllaksi, joten ensimmäinen hälytys on aamukahdeksalta.

Funktio `turnOnAlarm` rivillä 14 saa syötteenä päivää kuvaavan kokonaisluvun, jota käytetään taulukon `ledmatrix` ensimmäisenä indeksinä. Toinen indeksi on tallennettu muuttujaan *i*. Näiden avulla haetaan taulukosta sytytettävän valon indeksi. Maanantaipäivää vastaavat indeksit 0, 13, 14, 27, tiistaita indeksit 1, 12, 15, 26 jne. Saatu indeksi tallennetaan muuttujaan `activeLED`, jota käytetään valon sammuttamiseen. Indeksiä *i* kasvatetaan yhdellä.

Jos *i* kasvaa suuremmaksi kuin kolme, asetetaan se takaisin nolllaksi. Tässä kohdassa päivä vaihtuu. Seuraavaksi tallennetaan muuttujaan `nextAlarm` taulukosta `alarmHours` löytyvä arvo kohdasta *i*, joka annettussa esimerkissä on 1. Järjestelmään kytketään rivillä 20 keskeytys painonappiin. Jos nappia painetaan, kutsutaan funktio `interruptFunction`.

Hälytyksen käynnistämisen jälkeen käytetään Arduinon funktiota `millis` las-

kemaan aikaa hälytyksen käynnistyksestä. Kyseinen funktio palauttaa järjestelmän käynnistyksestä kuluneen ajan sekunneissa. Napin painallus vaikuttaa vain kirjattuun lokitietoon, muuten järjestelmä jatkaa molemmissa tapauksissa samalla tavalla. Hälytys sammutetaan eli keskeytys poistetaan painonapista ja LED-valo sammutetaan, jonka jälkeen järjestelmä palaa tarkistamaan, onko aika käynnistää seuraava hälytys.

6.3.3 Protokollat ja viestintä

RTC-moduuli on kytketty mikrokontrolleriin I²C-väylällä analoogeilla pinneillä A4 ja A5. I²C-väylä valittiin SPI-väylän sijaan huonon dokumentaation takia, ts. ainostaan I²C-kytkentä saatiin toimimaan, vaikka kaikki komponentit pystyisivät myös kommunikoimaan SPI:n kautta. Puutteellinen tieto tarvittavista kytkennöistä esti SPI-väylän käytön.

Mikrokontrollerin pinni D3 on varattu keskeytyksille, joten painonappi on liitetty siihen. Keskeytystoiminto kytketään päälle hälytyksen yhteydessä ja pois, kun nappia on painettu. Keskeytysfunktio on Arduinin toiminnallisuus, joka mahdollistaa sen, että ohjelmakoodin ajo voidaan keskeyttää milloin tahansa. Ohjelman ei tarvitse käydä tarkistamassa, onko nappia painettu, vaan voimme muuttaa ohjelman suoritusta napin painalluksella.

Viestintä laitteelta palvelimelle tapahtuu LoRa-teknologialla. Asynkroninen, pitkän kantaman LoRaWAN-viestintä sopii tähän käyttöön hyvin, sillä ratkaisu ei vaadi reaaliaikaisuutta. LoRaWAN-viesti lähetetään Digitan palvelimelle, josta se voidaan johtaa eteenpäin hoitajan päätelaitteelle. Viestin välitystä ei ole toteutettu tämän työn puitteissa, vaan viestintää seurattiin Digitan palvelusta. Järjestelmän kommunikation on esitetty kuvassa 6.9

LoRa-laite voidaan liittää verkkoon joko ABP-menetelmää (sanoista *Activation By Personalisation*) tai OTAA-menetelmää (sanoista *Over The Air Activated*). ABP on suosittu laitteiden kehitys- ja testausvaiheissa, sillä sen avulla yhteyden saa luotua lähes välittömästi, koska istuntoavaimet ovat valmiiksi luotuna lähdekoodissa. Näin ollen menetelmä on näistä kahdesta myös herkempi hyökkäyksille. OTAA on turvallisempi vaihtoehto tuotantoon, sillä avaimet luodaan aina istuntokohtaisesti. Tällöin laite joutuu kuitenkin odottamaan vastaanottajalta tulevaa vastausta istunnon avaamiseksi, mikä saattaa aiheuttaa viivettä lähetyksessä.

Kehitetyn prototyypin LoRaWAN-protokollaksi valittiin ABP sen nopeutensa ja helppokäyttöisyydensä vuoksi. Käytetty kirjasto kuitenkin vaatii, että OTAA-yhteyttä

varten olevat parametrit ovat koodissa mukana, joka samalla tekee siirtymisen yhdistämistavasta toiseen helpon.

```
1 void do_send(osjob_t *j)
2{
3   if (LMIC.opmode & OP_TXRXPEND)
4   {
5       Serial.println(F("OP_TXRXPEND, not sending"));
6       os_setTimedCallback(&sendjob, os_getTime() + sec2osticks(
7           TX_INTERVAL), do_send);
8   }
9   else
10  {
11      String value = "payload";
12      uint8_t payload[value.length() + 1];
13      value.getBytes(payload, value.length());
14      LMIC_setTxData2(1, payload, sizeof(payload) - 1, 0);
15  }
```

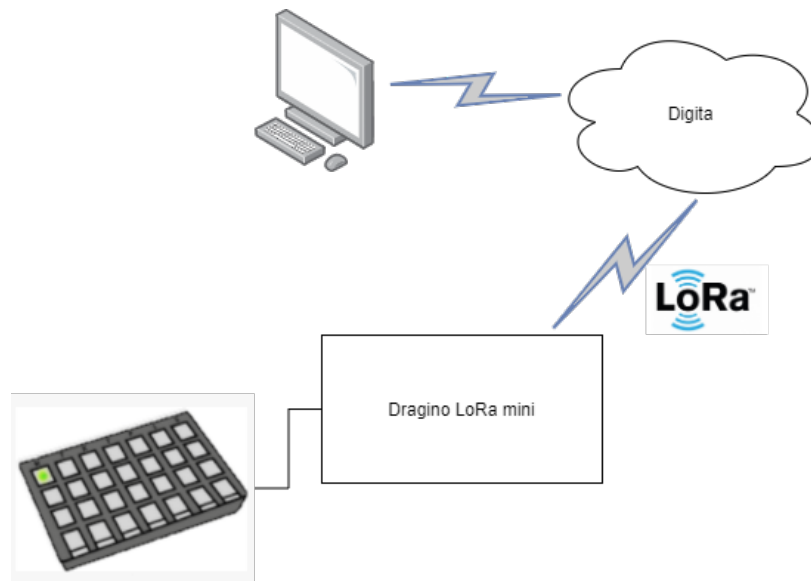
Kuva 6.8: LoRaWAN-viestin lähettäminen

LoRaWAN-viestin lähettäminen tapahtuu `lmic.h`-kirjaston `do_send`-funktiolla. Funktiolle annetaan parametriksi `lmic`-kirjaston `osjob_t`-tietue, jota käytetään lähetyksen tallentamiseen. Rivin 3 `if`-lause tarkistaa, onko lähetys jo meneillään, tulostaa tiedon siitä, ettei lähetystä pystytä suorittamaan ja tallentaa tietueen myöhempää lähetystä varten. Else-lauseessa muodostetaan lähetyksen varsinainen payload riveillä 10-12 ja valmistellaan lähetys rivillä 13. Jotta tässä luotu paketti lähtee, pitää vielä kutsua `os.runloop()`.

6.4 Toimivuuden osoitus

Tässä työssä kehitetty laite on alkeellinen prototyyppi, jota iteraatioiden kautta kehitetään aina eteenpäin, kunnes asetetut tavoitteet toteutuvat. Osa tästä kehityksestä vaatii pitkäaikaisen käytön ja runsaan aineiston keruun laitteen käytöstä, joka ulottuu tämän työn ulkopuolelle. Tämän työn painopiste on järjestelmän suunnitelmassa sekä laitekehitystä ohjaavassa taustatyöstä.

Koronaviruksen aiheuttaman COVID-19-taudin aiheuttamat, maailmanlaajuiset poikkeusolosuhteet estivät tässä työssä kehitetyn laitteen testausta hoivakodeissa,



Kuva 6.9: Järjestelmän kommunikaatio.

sillä ylimääräisiä kontakteja erityisesti ikäihmisiin oli vältettävä. Laitetta testattiin siksi suppeammin kehittäjän toimesta. Seuraavassa on kuvaus laitteen testauksesta, odotetusta toiminnasta ja havainnoista.

Laitetta testattiin kehittäjän toimesta kahden viikon ajan. Laite antoi neljä hälytystä päivittäin kello 8, 12, 15 ja 21. Jos hälytyksiä ei kuitattu kymmenen minuutin sisällä, tallensi järjestelmä tiedon ja lähetti päivän viimeisen hälytyksen jälkeen kootusti tiedon LoRaWAN-viestinä Digitan palvelimelle.

6.5 Evaluaatio

Tässä työssä kehitettiin evolutiivinen proof-of-concept-prototyyppi, jolla pyritään vastaamaan lääkemääräyksen noudattamisen tutkimisen osaongelmaan datan keruusta. Sen tarkoitus ei ole olla valmis järjestelmä, vaan se sisältää lopullisen järjestelmän pääpiirteet. Kehitetty prototyyppi osoittaa, että nykyisellä IoT-teknologialla voidaan rakentaa sellainen järjestelmä, joka pystyy keräämään tietoa lääkkeiden otosta sekä antaa käyttäjälleen hälytyksiä edistäen lääkkeiden ajallista ottoa.

Luvussa 6.2.2 esitettiin vaatimukset tässä työssä kehitettävälle prototyypille. Kyseiset vaatimukset perustuivat aiempiin tutkimuksiin yhdistettynä siihen, mitä tämän työn puitteissa pystytään toteuttamaan. Seuraavassa pohditaan asetettujen vaatimusten toteutumista prototyypissä.

Tuttavuus

Esimerkinomaisesti tähän työhön valittiin perinteinen Dosett-läkelokerikko, joka on monella ikäihmisellä käytössä, erityisesti kun otettavia lääkkeitä on paljon. Käytetyssä läkelokerikossa on joka viikonpäivälle neljä erillistä lokeroa. Päivät juoksevat pystysuunnassa ja eri ottoajat vaakasuunnassa. Lokerikot avataan vetämällä kyseisen päivän kohdalta suojakansi alas.

Liikutettavuus

Prototyyppi ei sellaisenaan ole liikutettava. Siitä puuttuu virtalähde ja kytkennät on toteutettu irtonaisilla johdoilla. Jotta prototyyppiä voidaan käyttää, pitää mikrokontrolleri oheislaitteineen koteloida, kiinnittää läkelokerikkoon ja varmistaa laitteen turvallisuus. Komponentit ovat kuitenkin pienikokoisia ja mahtuisivat käyttäjänsä laukkuun.

Kommunikaatio

Prototyyppi lähettää keräämäänsä tietoa LoRaWAN-viestillä palvelimelle. Siitä sitä ei ole vielä ohjattu eteenpäin, sillä viestin vastaanottava puoli ei ollut osa tätä työtä. LoRa-viestintä toimii luotettavasti määrättyllä tavalla ja sopii kyseiseen käyttötarkoitukseen. Viestin sisältö puolestaan vaatii vielä kehitystä. Prototyypissä havainnointi tapahtuu käyttäjän napinpainalluksella. Se ei ole vielä optimaali tapa havainnoida lääkkeiden ottoa. Hälytys voidaan kuitata ottamatta kyseistä lääkettä, hälytys annetaan vaikka lääke olisi jo otettu ja hälytys annetaan deterministisesti aikaan perustuen, eikä sitä voida siirtää tilapäisesti myöhemmäksi.

Toiminnallisuudet

Prototyyppi ilmoittaa lääkkeen ottoajasta sytyttämällä läkelokerikkoa vastaavan valon ennalta määrättyihin aikoihin. Proof-of-concept-tyyppisessä laitteessa ei koettu tarpeelliseksi implementoida muuta toiminnallisuutta, kuten erilaisia hälytystapoja. Laitteen lähdekoodi on kuitenkin laadittu niin, että erilaisten hälytystapojen lisäys on mahdollista ilman suurta muutosta muussa toiminnassa.

Laajennettavuus

Koska prototyyppi on luonteeltaan evolutiivinen, on laite laajennettava. Laitteeseen voidaan helposti lisätä tai siitä voidaan poistaa toiminnallisuuksia ja komponent-

teja. Prototyypin kehitysalustana käytetty Dragino perustuu ATmega328P-mikro-ohjaimen, joten se on vaihdettavissa mihin tahansa muuhun AVR-perheen ohjaimen. Hälytykset ovat ohjelmoitu niin, että eri hälytystapojen lisääminen tai poistaminen ei vaadi suurta muutosta ohjelmistoon. Kokonaistoiminta ei ole riippuvainen yksittäisen hälytyksen toteutuksesta.

Mukautettavuus

Koska prototyyppi ei ole valmis järjestelmä vaan sen on tarkoitus kehittyä iteraatioiden kautta, on se hyvin muokattavissa. Hälytyksiä voidaan soveltaa käyttäjälle sopivaksi. Kehitetty prototyyppi ei toisaalta sisällä käyttöliittymää, joka on tärkeämpi osa mukautettavuuden suhteen. Prototyyppi ei siten ole käyttäjän mukautettavissa, vaan asetukset tapahtuvat kehittäjän toimesta. Mukautettavuuden todellinen toteuttaminen vaatisi toisen kommunikaatiotavan, kuten Wi-Fi tai Bluetoothin lisäämisen laitteeseen sekä käyttöliittymän, joiden avulla käyttäjä voi ohjata järjestelmää.

Jatkokehitys

Seuraava askel on kehittää laitetta niin, että se ei anna hälytyksiä, mikäli näille ei ole tarvetta. Laitteen tulee havaita, että lääkelokero on tyhjennetty tai avattu. Mahdollisuuksia tähän on monia, ja niiden hyötyjä ja haittoja tulee evaluoida joko kokeellisesti tai teoreettisesti. Lääkkeiden ottoa voidaan havainnoida esimerkiksi luukun avauksen kautta kuten Suzukin et al. [57] tutkimuksessa, laitteen kokonaispainoa havainnoiden tai tarkkailemalla lääkelokerikon sisältöä valoa tai kameraa käyttäen .

Jotta järjestelmään voisi kytkeä samanaikaisesti useamman eri hälytystavan, kuten näytön ja äänimerkin, voisi kytkennän toteuttaa esimerkiksi Arduinoa käyttäen. Tässä ratkaisussa Draginon mikrokotrollerista hyödynnettäisiin LoRa-moduulia, mutta toimintalogiikan toteuttaisi Arduino.

7 Yhteenveto

Tässä työssä kehitettiin suunnittelutieteen menetelmää hyödyntäen prototyyppi, joka muistuttaa käyttäjää lääkkeiden otosta, kirjaa tiedon lääkkeiden otosta ja lähettää tämän tiedon LoRaWAN-viestinä eteenpäin. Yhdistettynä Kokkolan yliopistokeskuksen TEHO-hankkeessa kehitettyyn kodinhoitoa tukevaan järjestelmään, saavat hoitajat tietoa potilaidensa lääkkeiden oton täsmällisyydestä.

Luvussa 2 käsiteltiin ikäihmisen toimintakyvyn mittaamista kotona pärjäämisen arvioinnissa ja siihen liittyviä haasteita eli mittareiden epäluotettavuutta. Toimintakykyä heikentävät monet pitkäaikaiset sairaudet, ja näihin haetaan apua lääkeshoidosta. Lääkeohjelman tehokkuus riippuu vahvasti siitä, kuinka hyvin annettuja ohjeistuksia noudatetaan. Vaikka aihetta on jonkin verran tutkittu, puuttuu vieläkin luotettavat mallit lääkeohjelman noudattamisen ennustamiseen ja sen osatekijöiden ymmärtämiseen.

Jotta lukija saisi yleisen käsityksen IoT:ssä käytetyistä teknologioista käsiteltiin luvussa 3 langattoman kommunikaation teknologioita sekä mikro-ohjaimia ja niiden oheislaitteita. Lisäksi pohdittiin lyhyesti sulautettujen järjestelmien määritelmää.

Luvussa 4 kuvattiin lyhyesti AAL-ratkaisuja, josta siirryttiin tarkastelemaan lääkehoidon seuraamista ja tukemista käsitteleviä tutkimuksia. AAL-ratkaisut tuovat tällä hetkellä apua hoitajien työhön, vaikka niiden päätavoite onkin tukea ikäihmisen itsenäistä asumista. Myös Kokkolan yliopistokeskus Chydeniuksen TEHO-hanke kehittää AAL-järjestelmää, joka seuraa muistisairaana liikkeitä ja ilmoittaa näistä hoitajalle.

Tässä työssä käytetty suunnittelutieteiden menetelmä esiteltiin luvussa 5. Alaluvussa 5.2 puhuttiin myös prototypoinnista, joka jakaa samoja piirteitä suunnittelutieteiden menetelmän kanssa, ja siten toimi tässä työssä laitekehityksen tukena. Ikäihmisille suunnatun tietotekniikan kehityksen haasteita käsiteltiin alaluvussa 5.3. Ohjenuoria kehitystyöhön haettiin ihmiskeskeisestä suunnittelusta, jossa järjestelmäkehityksen lähtökohtana on loppukäyttäjä eli ihminen teknologian tai kestävyuden sijaan.

Lääkkeiden ottoa havainnoivan järjestelmän kehitys kuvattiin luvussa 6. Aiemmissä tutkimuksissa on laadittu taustatutkimuksen tai potilas- ja hoitajahaastatte-

luiden avulla vaatimuksia järjestelmälle, joita tässä työssä käytettiin ensimmäisen prototyypin kehittämisen pohjana. Vaatimuksiksi nousivat tuttavallisuus, liikutettavuus, kommunikaatio, toiminnallisuus, laajennettavuus ja mukautettavuus. Kehitetty järjestelmä on proof-of-concept-tyyppinen prototyyppi, joka kehitettiin evolutiivisesti, iteraatioiden kautta. Prototyypin ei ole valmis järjestelmäkokonaisuus, vaan keskittyy ongelman yhden osaongelman, nimittäin datan keruun, ratkaisemiseen.

Prototyyppi kehitettiin Dragino LoRa mini dev -alustan päälle. Alustaan liitettiin LED-valonauhasta muodostettu 4×7 -kokoinen matriisi, joka kuvaa viikon jokaisen päivän neljää lääkkeiden ottoaikaa: aamu, päivä, ilta ja yö. Lisäksi laitteeseen kiinnitettiin painonappi, jolla laitteen antaman hälytyksen saa kuitattua. Laite lähettää tiedon otetuista ja ottamatta jätetyistä lääkkeistä LoRaWAN-viestinä palvelimelle, josta se voidaan helposti ohjata TEHO-hankkeen järjestelmään jatkokäsittelyä varten. Tämän toteutus jää kuitenkin tässä esitetyn työn ulkopuolelle.

Työn ulkopuolelle jää myös paitsi kahden muun osaongelman eli datan tallennuksen ja datan analyysin ratkomisen myös työssä kehitetyn laitteen jatkokehitys. Prototyypissä lääkkeiden otosta muistuttava hälytys kuitataan painamalla nappia. Tämä ei ole luotettava tapa kerätä tietoa lääkkeiden otosta, sillä käyttäjä voi painaa nappia ottamatta lääkettä. Lääkkeiden ottoa tulisi havainnoida ilman käyttäjän toimenpiteitä. Lääkkeenottoa voisi havainnoida kannen avauksen, lokerikon painon, kameran tai liikkeen avulla.

Lähteet

- [1] TEHO. URL <https://cinetcampus.fi/projektit/aktiiviset-projektit/teho>, viitattu 15.11.2020.
- [2] AHMED, N., RAHMAN, H., JA HUSSAIN, M. I. A Comparison of 802.11ah and 802.15.4 for IoT. *ICT Express* 2, 3 (2016), 100–102.
- [3] AL-FUQAHA, A., GUIZANI, M., MOHAMMADI, M., ALEDHARI, M., JA AYYASH, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE communications surveys & tutorials* 17, 4 (2015), 2347–2376.
- [4] ALDEER, M., MARTIN, R. P., JA HOWARD, R. E. PillSense: Designing a Medication Adherence Monitoring System Using Pill Bottle-Mounted Wireless Sensors. Julkaisusarjassa *2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)* (Kansas City, MO, USA, Toukokuu 2018), IEEE, 1–6.
- [5] ANSARI, S. Designing Interactive Pill Reminders for Older Adults: A Formative Study. Julkaisusarjassa *Universal Access in Human-Computer Interaction. Users Diversity* (Berlin, Heidelberg, 2011), Springer, 121–130.
- [6] ARDUINO. What is Arduino? URL <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>, viitattu 30.10.2020.
- [7] ASHTON, K., ET AL. That ‘Internet of Things’ Thing. *RFID journal* 22, 7 (2009), 97–114.
- [8] ATMEL CORPORATION. ATMEGA328/P Datasheet, 8-bit AVR microcontroller, 2016. URL https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf, haettu 15.11.2020.
- [9] AUGUSTIN, A., YI, J., CLAUSEN, T., JA TOWNSLEY, W. M. A study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors* 16, 9 (2016), 1466.

- [10] BARRETT, S. F., JA PACK, D. J. Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing. *Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems* 7, 2 (2012), 1–2.
- [11] BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP. Radio Versions, URL <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/bluetooth-technology/radio-versions/>, viitattu 4.11.2020.
- [12] BOONNUDDAR, N., JA WUTTIDITTACHOTTI, P. Mobile Application: Patients' Adherence to Medicine In-take Schedules. Julkaisusarjassa *Proceedings of the International Conference on Big Data and Internet of Thing* (London, United Kingdom, 2017), 237–241.
- [13] CENTENARO, M., VANGELISTA, L., ZANELLA, A., JA ZORZI, M. Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios. *IEEE Wireless Communications* 23, 5 (2016), 60–67.
- [14] CHANG, W.-W., SUNG, T.-J., HUANG, H.-W., HSU, W.-C., KUO, C.-W., CHANG, J.-J., HOU, Y.-T., LAN, Y.-C., KUO, W.-C., LIN, Y.-Y., ET AL. A Smart Medication System Using Wireless Sensor Network Technologies. *Sensors and Actuators A: Physical* 172, 1 (2011), 315–321.
- [15] CHARNESS, N. Constrains on adoption of telehealth to support aging populations. Kirjassa *Gerontechnology : Research, Practice, and Principles in the Field of Technology and Aging*, S. Kwon, Ed. Springer Publishing Company, 2017, ss. 271–290.
- [16] DRAGINO. LoRa Mini. URL https://wiki.dragino.com/index.php?title=LoRa_Mini, viitattu 30.10.2020.
- [17] ELECROW WIKI. RTC Data Logger Shield v1.1. URL https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=RTC_Data_Logger_Shield_v1.1, viitattu 24.10.2020.
- [18] ENSTO. LED. URL <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>, viitattu 9.7.2020.
- [19] FIROUZI, F., FARAHANI, B., IBRAHIM, M., JA CHAKRABARTY, K. Keynote paper: From EDA to IoT eHealth: promises, challenges, and solutions. *IEEE*

- Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems* 37, 12 (2018), 2965–2978.
- [20] GANGULY, A. K. *Embedded Systems : Design, Programming and Applications*. Alpha Science Internation Limited, New Delhi, 2014.
- [21] GIACOMIN, J. What Is Human Centred Design? *The Design Journal* 17, 4 (2014), 606–623.
- [22] GOMEZ, C., VERAS, J. C., VIDAL, R., CASALS, L., JA PARADELLS, J. A Sigfox Energy Consumption Model. *Sensors* 19, 3 (2019), 681.
- [23] GORDON, V. S., JA BIEMAN, J. M. Rapid Prototyping: Lessons Learned. *IEEE software* 12, 1 (1995), 85–95.
- [24] GUBBI, J., BUYYA, R., MARUSIC, S., JA PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems* 29, 7 (2013), 1645–1660.
- [25] GUTMAN, G. M., KWON, S., GÜTTLER, J.-F., GEORGOULAS, C., LINNER, T., BOCK, T., FUKUDA, R., JA KWON, S. Smarthome Technologies Supporting Aging in Place. *Kirjassa Gerontechnology : Research, Practice, and Principles in the Field of Technology and Aging*, S. Kwon, Ed. Springer Publishing Company, 2017, ss. 223–249.
- [26] HEVNER, A. R., MARCH, S. T., PARK, J., JA RAM, S. Design science in information systems research. *MIS quarterly* 28, 1 (2004), 75–105.
- [27] HOLT, A., JA HUANG, C.-Y. *Embedded Operating Systems - A Practical Approach*, 2 ed. Springer International Publishing, 2018.
- [28] IHALAINEN, J. Mikrokontrollerit - arkkitehtuuri. Luento. URL <http://users.jyu.fi/~jupeihal/Kontrollerit3.pdf>.
- [29] ISHAK, S., ABIDIN, H. Z., JA MUHAMAD, M. Improving Medical Adherence Using Smart Medicine Cabinet Monitoring System. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 9, 1 (2018), 164–169.
- [30] JABEENA, A., JA KUMAR, S. Smart Medicine Dispenser. *Julkaisusarjassa International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)* (Tirunelveli, India, India, 2018), IEEE, 410–414.

- [31] JÄRVINEN, P. Onko Innovaatioiden Suunnittelu Tiedettä. *Systeemityö 2*, 2006 (2006), 25–27.
- [32] KARDAS, P., LEWEK, P., JA MATYJASZCZYK, M. Determinants of Patient Adherence: a Review of Systematic Reviews. *Frontiers in pharmacology 4* (2013).
- [33] KERR, D., SERRANO, J. A., RAY, P., ET AL. The Role of a Disruptive Digital Technology for Home-Based Healthcare of the Elderly: Telepresence Robot. *Digital Medicine 4*, 4 (2018), 173–179.
- [34] KHAN, I., AMARO, A. C., JA OLIVEIRA, L. IoT-Based Systems for Improving Older Adults' Wellbeing: A Systematic Review. Julkaisusarjassa *14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (Coimbra, Portugal, Portugal, June 2019), IEEE, 1–6.
- [35] KLEMETS, J., MÄÄTTÄLÄ, J., JA HAKALA, I. Integration of an In-Home Monitoring System into Home Care Nurses' Workflow: A Case Study. *International journal of medical informatics 123* (2019), 29–36.
- [36] KLEMETS, J., MÄÄTTÄLÄ, J., HAKALA, I., JA JANSSON, J. Nurses' Perspectives on In-Home Monitoring of Elderlies's Motion Pattern. Kirjassa *Informatics for Health: Connected Citizen-Led Wellness and Population Health*, R. Randell, R. Cornet, C. McCowan, N. Peek, ja P. J. Scot, Eds., vol. 235 of *Studies in Health Technology and Informatics*. IOS Press, 2017, ss. 23–27.
- [37] KOSKINEN, S., MARTELIN, T., JA SAINIO, P. *Ikääntyminen ja toimintakyky: haasteet tutkimukselle*. Kansanterveyslaitos, Terveysten ja toimintakyvyn osasto, 2007, ch. Iäkkäiden toimintakyky: ulottuvuudet, viimeaikaiset muutokset ja kehitysnäkymät, ss. 15–25. URL <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201204193285>, viitattu 8.5.2020.
- [38] KUMAR, S. P., SANJAY, S., JOSE, D., KARAPAKKAM, C., JA NADU, T. Cloud Based Medical Assist for Elderly and Blind. *International Journal of Pure and Applied Mathematics 120*, 6 (2018), 1113–1127.
- [39] LEHPAMER, H. *RFID Design Principles*. Artech House, Boston, London, 2012.
- [40] MAYHORN, C. B., ROGERS, W. A., JA ECHT, K. V. Designing Technology for Older Adults: Augmenting Usefulness and Usability via Cognitive Support.

Kirjassa Gerontechnology : Research, Practice, and Principles in the Field of Technology and Aging, S. Kwon, Ed. Springer Publishing Company, 2017, ss. 389–416.

- [41] MERKEL, S., ENSTE, P., HILBERT, J., CHEN, K., CHAN, A. H.-S., JA KWON, S. Technology Acceptance and Aging. *Kirjassa Gerontechnology : Research, Practice, and Principles in the Field of Technology and Aging*. Springer Publishing Company, 2017, ss. 335–349.
- [42] MORIN, E., MAMAN, M., GUIZZETTI, R., JA DUDA, A. Comparison of the Device Lifetime in Wireless Networks for the Internet of Things. *IEEE Access* 5 (2017), 7097–7114.
- [43] NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. Introduction to 802.11ax High-Efficiency Wireless. URL <https://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/16/introduction-to-802-11ax-high-efficiency-wireless.html>, viitattu 30.10.2020.
- [44] NAUMANN, J. D., JA JENKINS, A. M. Prototyping: the New Paradigm for Systems Development. *Mis Quarterly* (1982), 29–44.
- [45] OSTERBERG, L., JA BLASCHKE, T. Adherence to medication. *New England journal of medicine* 353, 5 (2005), 487–497.
- [46] PAK, J., JA PARK, K. Construction of a Smart Medication Dispenser with High Degree of Scalability and Remote Manageability. *BioMed Research International* 2012 (2012).
- [47] PEFFERS, K., TUUNANEN, T., ROTHENBERGER, M. A., JA CHATTERJEE, S. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of management information systems* 24, 3 (2007), 45–77.
- [48] PORTER, M. E., JA HEPPELMANN, J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard business review* 92, 11 (2014), 64–88.
- [49] RANTANEN, T. *Ikääntyminen ja toimintakyky: haasteet tutkimukselle*. Kansanterveyslaitos, Terveiden ja toimintakyvyn osasto, 2007, ch. Mitä tiedetään ikääntyvän väestön toimintakyvystä?, ss. 26–30. URL <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201204193285>, viitattu 1.9.2020.

- [50] RATASUK, R., VEJLGAARD, B., MANGALVEDHE, N., JA GHOSH, A. NB-IoT System for M2M Communication. Julkaisusarjassa *IEEE wireless communications and networking conference* (Syyskuu 2016), IEEE, 1–5.
- [51] RAY, B. Licensed Vs. Unlicensed Spectrum: What’s The Difference? URL <https://www.iotacomunications.com/blog/licensed-vs-unlicensed-spectrum/>, viitattu 8.7.2020.
- [52] SAHLAB, N., JAZDI, N., WEYRICH, M., SCHMID, P., REICHELT, F., MAIER, T., MEYER-PHILIPPI, G., MATSCHKE, M., JA KALKA, G. Development of an Intelligent Pill Dispenser Based on an IoT-Approach. Julkaisusarjassa *International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications* (Munich, Germany, Syyskuu 2019), Springer, 33–39.
- [53] SANCHEZ, V., RO, R., KENT, L., NAVAS, J., DIYAN, O., ROUSSEL, C., TAYEB, S., PIROUZ, M., CHIU, C., JA PLOUTZ, E. ScanAlert: Electronic Medication Monitor and Reminder to Improve Medical Adherence. Julkaisusarjassa *2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (Las Vegas, NV, USA, Tammikuu 2019), IEEE, 0537–0543.
- [54] SARAVANAN, M., JA MARKS, A. M. MEDIBOX—IoT Enabled Patient Assisting Device. Julkaisusarjassa *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (Singapore, Singapore, Helmikuu 2018), IEEE, 213–218.
- [55] SIGFOX. Use Cases. URL <https://www.sigfox.com/en>, viitattu 15.11.2020.
- [56] SINHA, R. S., WEI, Y., JA HWANG, S.-H. A Survey on LPWA Technology: LoRa and NB-IoT. *Ict Express* 3, 1 (2017), 14–21.
- [57] SUZUKI, S., MITSUGI, J., JA MURAI, J. Improving Medication Adherence in Home Care Using a Bidirectional Medication Assistance System. *Networking Science* 3, 1-4 (2013), 63–70.
- [58] TAN, H.-X., TAN, H.-P., JA LIANG, H. Technology-Enabled Medication Adherence for Seniors Living in the Community: Experiences, Lessons, and the Road Ahead. Julkaisusarjassa *International Conference on Human Aspects of IT for the Aged Population* (Cham, Switzerland, Kesäkuu 2018), Springer, 127–141.
- [59] THE THINGS NETWORK. Duty Cycle. URL <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/duty-cycle.html>, viitattu 29.11.2020.

- [60] TOH, X., TAN, H.-X., LIANG, H., JA TAN, H.-P. Elderly Medication Adherence Monitoring with the Internet of Things. *Julkaisusarjassa 2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops)* (Sydney, NSW, Australia, Maaliskuu 2016), IEEE, 1–6.
- [61] TREVENNOR, A. *Practical AVR Microcontrollers: Games, Gadgets, and Home Automation with the Microcontroller Used in the Arduino*. Apress, Berkeley, CA, USA, 2012.
- [62] TSAI, P.-H., CHEN, T.-Y., YU, C.-R., SHIH, C.-S., JA LIU, J. W. Smart Medication Dispenser: Design, Architecture and Implementation. *IEEE Systems Journal* 5, 1 (2010), 99–110.
- [63] UNITED NATIONS. World Population Ageing 2019: Highlights, 2019. URL <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Highlights.pdf>, viitattu 5.4.2020.
- [64] URZAIZ, G., MURILLO, E., ARJONA, S., HERVAS, R., FONTECHA, J., JA BRAVO, J. An Integral Medicine Taking Solution for Mild and Moderate Alzheimer Patients. *Julkaisusarjassa International Workshop on Ambient Assisted Living* (Carrillo, Costa Rica, Joulukuu 2013), Springer, 104–111.
- [65] VAN DULMEN, S., SLUIJS, E., VAN DIJK, L., DE RIDDER, D., HEERDINK, R., JA BENSING, J. Patient Adherence to Medical Treatment: a Review of Reviews. *BMC health services research* 7, 1 (2007), 55.
- [66] VARSHNEY, U. Smart medication Management System and Multiple Interventions for Medication Adherence. *Decision Support Systems* 55, 2 (2013), 538–551.
- [67] WANT, R., SCHILIT, B., JA LASKOWSKI, D. Bluetooth LE Finds Its Niche. *IEEE Pervasive Computing* 12, 4 (2013), 12–16.
- [68] WEINSTEIN, R. RFID: a Technical Overview and Its Application to the Enterprise. *IT professional* 7, 3 (2005), 27–33.
- [69] WI-FI ALLIANCE. Who We Are — History. URL <https://www.wi-fi.org/who-we-are/history>, viitattu 6.7.2020.
- [70] WIEGERS, K., JA BEATTY, J. *Software Requirements*. Microsoft, 2013, ss. 295–312.

- [71] WORLD HEALTH ORGANIZATION AND OTHERS. *Adherence to Long-Term Therapies: Evidence for Action*. World Health Organization, 2003.
- [72] WORLDSEMI. WS2812 Intelligent control LED integrated light source. URL <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812.pdf>, viitattu 24.10.2020.
- [73] WORTMANN, F., JA FLÜCHTER, K. Internet of Things. *Business & Information Systems Engineering* 57, 3 (2015), 221–224.
- [74] ZHENG, J., JA LEE, M. J. A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4. *Sensor network operations* 4 (2006), 218–237.

A Kehitetyn lääkemuistuttajan proof-of-concept prototyyppi

