



Kuluttajatuotteen ohjelmiston päivitys NFC-rajapintaa käyttämällä

Timo Karhu

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Marraskuu 2023

Tekniikan ala

Robotiikka YAMK

Karhu, Timo

Kuluttajatuotteen ohjelmiston päivitys NFC-rajapintaa käyttämällä

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2023, 91 sivua

Robottiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö, ylempi AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Automaation ja etenkin robotiikan kehittyminen on mahdollistanut toiminnan tehostamisen yhä pienemmissä yrityksissä. Ihmisen suorittamia toistuvia ja yksinkertaisia toimintoja on mahdollista korvata robottien suorittamina, jolloin ihmisen työpanos vapautuu vaativampiin tai ergonomisesti vähemmän rasittaviin tehtäviin. Usea yritys kuitenkin empii robotiikan käyttöönottoa, sillä sitä on perinteisesti pidetty monimutkaisena hallita ja hyödyllisenä pääosin suuremmissa yrityksissä.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli suomalainen, älykkäitä lukitusjärjestelmiä kehittävä ja valmistava iLOQ Oy. Opinnäytetyö kohdistui NFC-rajapintaa hyödyntävän S50-lukkoperheen ohjelmistopäivityksen suorittamiseen automatisoidusti. Tavoitteena oli tutkia, onko päivityksen automatisointi mahdollista, millaista laitteistoa sen suorittaminen vaatisi, ja millaisia muutostarpeita automatisoidun päivityksen käyttöönotto edellyttäisi tuotantoprosessissa.

Tutkimus koostui älykkäisiin lukkoihin ja niissä yleisesti käytettyjen kommunikaatorajapintojen selvitystyöstä, päivityksestä ja sen suunnittelusta vastuussa olevien henkilöiden haastatteluista ja automaatiovaihtoehtojen kartoituksesta päivitysten suorittamiseen. Työssä perehdyttiin NFC-standardeihin ja tutkittiin ohjelmistopäivityksen hyödyllisyyttä tuotteen eri valmistusvaiheissa. Kartoituksen perusteella analysoitiin automatisoidun päivityksen optimointia erilaisilla antenneilla ja päivityksen ongelmakohtien minimointia tuotepakkauksien osalta. Opinnäytetyön lopuksi suunniteltiin ja toteutettiin päivitykseen pelkistetty sovellus päivityslaitteistolla yhteistyörobotia hyödyntäen.

Opinnäytetyön tulosten perusteella automatisointi on mahdollista kohtuullisen yksinkertaisella laitteistolla, mikäli etenkin tuotteiden sijoitteluun pakkauksiinsa kiinnitetään huomiota. Havainnon perusteella tämä vaatimus otettiin huomioon jo eräässä vielä, suunnitteluvaiheessa olevassa tuotteessa. Opinnäytetyö osoittaa että, sovellusten kehittäminen on olemassa olevilla työkaluilla suhteellisen yksinkertaista ja suoraviivaista, jolloin kehitystyöhön liittyvä kynnys on varsin matala. Yhteistyörobotin hyötykuorman suurin sallittu paino voi muodostua rajoittavaksi tekijäksi, jolloin tuotepakkausten kokonaispainoon sekä niiden syöttöön päivityslaitteistoon tulisi kiinnittää huomiota.

Avainsanat (asiasanat)

NFC-teknologia, robotiikka, lukot, valmistustekniikka

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Tämä opinnäytetyö ei sisällä salassa pidettäviä tietoja.

Karhu, Timo

Firmware update for a consumer device over the NFC-interface

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2023, 91 pages

Degree programme in Robotics. Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The evolution of automation, and robotics especially has enabled the improvement of efficiency in smaller companies than ever before. Simple and repeating operations performed by human individuals can be replaced by robots which makes it possible to let human operators focus on more demanding tasks, or to concentrate on tasks that are not ergonomically challenging. Companies are still hesitating to start to implement robotics because traditionally art of robotics has been considered complicated to take in use and assumed to be beneficial only for larger companies mainly.

This thesis was initiated by a Finnish company iLOQ Oy which develops and manufactures intelligent locking systems. The focus of the thesis was to study the applicability of the automation for updating the software over the NFC-interface in S50-family lock types. The goals of the thesis were to find out if the update process can be automated, what kind of equipment would be needed to enable this, and what kind of design changes would be necessary for the existing production process.

The study consisted of the review of the common communication interfaces of present intelligent locks in the market, interviews of the persons responsible for the update process, and a survey of common automation alternatives for the update. Also, an introduction to NFC-standardisation was done and applicability analysis was conducted how to perform SW update at the different phases of the existing manufacturing process. On the basis on the review, optimisation of the update capability by utilising different NFC-antennas was done, and the impact of the product packing to the update capability was studied. A simplified application for the update task was designed and implemented by using a collaborative robot at the end of the study.

The results indicate that the automation of the update is possible even with rather modest equipment in case especially the product packing is designed to be compliant with the automated update. This finding was already paid attention and designed in for one of the new products to be released by iLOQ. The results of the thesis point out that application development with existing tools is rather simple and should not prove out to be an obstacle for companies considering starting to utilise robots. The maximum payload capacity of the collaborative robot might prove out as a limiting factor that should be kept in mind when designing product packaging and the feeding methods for the update equipment

Keywords/tags (subjects)

NFC-technology, robotics, locks, manufacturing technology

Miscellaneous (Confidential information)

This thesis does not contain confidential information.

Sisältö

1	Johdanto.....	8
1.1	Työn tavoitteet.....	8
1.2	Työn rajausta.....	9
1.3	Menetelmät.....	9
1.4	iLOQ Oy	10
2	Mekaanisista lukkoista älykkäisiin.....	12
2.1	Kohti nykymallisia mekaanisia lukkoja.....	12
2.2	Sähkömekaanisista lukkoista älykkäisiin.....	16
2.3	Älykkäät lukot ja iLOQ Oy	17
3	NFC-toimintaperiaate ja käyttökohteet	20
3.1	NFC-menetelmän etuja	20
3.2	NFC:n toimintaperiaate	21
3.3	Keskeiset NFC-standardit.....	24
3.3.1	Standardi ISO / IEC 14443	24
3.3.2	Standardi ISO / IEC 15693	25
3.3.3	Standardi ISO / IEC 18092	25
3.3.4	Standardi JIS X 6319–4	27
3.3.5	Standardien määritelmä ja merkitys	27
3.4	NFC-rajapinnan vertailu muihin langattomiin rajapintoihin	28
3.4.1	Tiedonsiirtokapasiteetti ja -nopeus.....	29
3.4.2	Energiankulutus	30
3.4.3	Laitteiden kantama	31
3.4.4	Turvallisuus	33
3.4.5	Yhteenveto.....	33
3.5	S50 lukkoperhe.....	34
3.5.1	S50-lukon rakenne	34
3.5.2	Lukkotyypit.....	35
3.5.3	NFC-rajapinta S50-lukossa.....	36
4	Ongelmakentän kuvaus	38
4.1	Valmistuksen kustannukset.....	38
4.2	Uudelleenohjelmoinnin tarpeellisuus.....	39
5	Erilaisia ohjelmiston päivitystapoja	41
5.1	Ohjelmointi tehtaalla osana valmistusta	41
5.2	Päivitystapahtuma tehtaalla konfiguroinnissa.....	43

5.3	Päivitystapahtuma varastossa	44
5.4	Päivitys asennusta valmistellessa tai loppukäyttäjän toimesta	45
5.5	Muut päivitykseen vaikuttavat asiat.....	45
5.5.1	Tietoturvallisuus.....	46
5.5.2	Ergonomia	47
5.5.3	Lean-hukkaperiaate.....	48
6	Nykyinen päivitysmalli ja käyttäjien kokemukset	50
6.1	Kyselytutkimus	50
6.2	Prosessi	51
6.3	Kehitettäväksi koettavat toiminnot	51
7	Automatisoitu päivitys.....	54
7.1	Automaation tai robotin hyödyntäminen.....	55
7.1.1	Automaatiolinja.....	55
7.1.2	Teollisuusrobotti	56
7.1.3	Yhteistyörobotti	58
7.2	Paketoinnin vaikutus päivitykseen	60
7.2.1	Lukkojen paketointi lavoilla ja ulkopakkauksissa.....	60
7.2.2	Lukkojen paketointi sisäpakkauksissa	62
8	Toteutus	65
8.1	Päivityslaitteisto	65
8.2	Koejärjestely.....	66
8.3	Koeajojen tulokset.....	68
8.4	Robotin ohjelmointi.....	69
8.5	Ohjelmakoodin toteutus	71
8.6	Ongelmakohtat	72
9	Pohdinta ja jatkokehitys	74
9.1	Tulosten tarkastelu.....	74
9.2	Eettisyys ja luotettavuus.....	76
9.2.1	Lähteiden käyttö	76
9.2.2	Henkilötiedot ja haastattelut tutkimuksen osana	78
9.2.3	Tutkimuksen luotettavuus.....	78
9.2.4	Sidonaisuudet ja luottamuksellisuus	78
9.3	Jatkokehitys.....	79

Lähteet	80
Liitteet	86
Liite 1. Haastattelututkimuksen runko	86
Liite 2. Ohjelmakoodin vuokaavioesitys	87

Kuviot

Kuvio 1. Tappihaittasynterilukon toimintaperiaate	
Kuvio 2. Medeco-tappihaittasynterilukko	
Kuvio 3. Henrikssonin levyhaittalukko	
Kuvio 4. NFC-tiedonvälityspäriate	
Kuvio 5. NFC-tunnisteen konseptiesimerkki	
Kuvio 6. NFC-tiedonsiirron eri toimintatilat	
Kuvio 7. Langattomien tiedonsiirtorajapintojen tunnisteita	
Kuvio 8. IoT-laitteiden määrän kasvuennuste	
Kuvio 9. Esimerkkejä iLOQ Oy:n S50-tuotepäriheen lukkotyypeistä	
Kuvio 10. Esimerkkitoteutus NFC-kommunikaatiosta	
Kuvio 11. Ohjelmointilaitte-esimerkki	
Kuvio 12. Lukkojen ohjelmistoversiot toimitusketjun eri vaiheissa	
Kuvio 13. Perinteinen teollisuusrobotti	
Kuvio 14. Yhteistyörobotti	
Kuvio 15. Lukkolähetys kuormalavalla	
Kuvio 16. Ulkopakkausesimerkkejä	
Kuvio 17. Riippulukkojen sisäpakkausesimerkki	
Kuvio 18. Ovaalilukkojen sisäpakkausesimerkki	
Kuvio 19. Tunnistusetäisyyden tutkimukseen käytettyä laitteistoa	
Kuvio 20. UR5e-robotti, työkaluvaihtaja sekä tarttuja	
Kuvio 21. Lukkojen sijoittelu alkuperäisessä ja muokatussa pakkauksessa	

Taulukot

Taulukko 1. Langattomien tiedonsiirtotekniikoiden vertailu	
Taulukko 2. Lukkotyyppien tunnistusetäisyydet (mm) erilaisilla laitteistoilla tutkittuina	
Taulukko 3. Pakkausyhteenveto eri lukkotyypeillä	

Lyhenteet

5S	Työpisteen järjestelymenetelmä
AES256	Advanced Encryption Standard (256bit), kehittynyt 256-merkkinen salausstandardi
Bluetooth	Lyhyen kantaman radiotaajuinen tiedonsiirtotekniikka
HF	High Frequency, suurtaajuus
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähkö- ja elektroniikka-alan standardisointijärjestö
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, sähkö- ja elektroniikkainsinöörien järjestö
IoT	Internet of Things, esineiden internet
ISO	International Organization for Standardisation, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
JIS	Japanese Industrial Standards, japanilainen teollisuusstandardi
K5	Tuoteperhe; avaimet iLOQ Oy
LF	Low Frequency, matala taajuus
NFC	Near Field Communication, lähikenttäkommunikaatio
P2P	Peer to Peer, vertaisyhteys
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
S5	Tuoteperhe; avainlukot, iLOQ Oy
S50	Tuoteperhe; NFC-lukot, iLOQ Oy
SFS	Suomen standardisoimisliitto ry.
SIG	Special Interest Group, erityystutkimusryhmä
UHF	Ultra High Frequency, ultrataajuus
Wi-Fi	Wireless network protocol, standardien IEEE 802.11x mukainen langaton lähiverkkoprotokolla
ZigBee	Lyhyen kantaman IEEE 802.15.4 standardin mukainen radiotaajuinen tiedonsiirtomenetelmä
Z-Wave	Lyhyen kantaman radiotaajuinen tiedonsiirtomenetelmä

1 Johdanto

Erilaisen robotiikan käyttö on lisääntynyt tuotantotoiminnassa valtavasti viimeisen vuosikymmenen aikana. Erityisesti Industry 4.0 hankkeiden myötä robotiikan soveltamisesta on tullut yrityksille merkittävä kilpailukykytekijä. Aihe on erityisen ajankohtainen, sillä kiinnostusta robotiikan hyödyntämiseen eri puolilla maailmaa ovat omalta osalta lisänneet erilaiset tuotanto-ongelmat, robottien hintojen lasku sekä positiiviset kokemukset ja menestystarinat niiden käyttöönotosta muuallakin kuin pelkästään suuryrityksissä. Erilaisia robotteja ja niiden sovelluksia tarjoavia yrityksiä on tullut markkinoille enemmän, jolloin robotiikan soveltamiseen liitetty kynnyks on madaltunut selvästi. Silti moni etenkin pienempi yritys empii yhä edelleen robotiikan hyödyntämistä ja käyttöönottoa.

Tämän työn toimeksiantaja on oululainen, älykkäitä lukitus- ja kulunhallintajärjestelmiä suunnitteleva ja valmistava iLOQ Oy. Yrityksessä nähtiin tarpeelliseksi lähteä avartamaan tietämystä robotiikasta, miettimään voisiko sille löytyä iLOQ Oy:n tuotannosta kilpailukykyä parantavia sovelluskohteita, ja hankkia kokemusta robotiikan käyttöönotosta. Opinnäytetyön aihe tarkentui osin yrityksen tuotevalikoiman vuoksi, toisaalta halusta perehtyä Near Field Communication -standardeihin, ja kolmanneksi toiminnan kasvaessa, tarpeesta tutkia erilaisten automaattioratkaisujen hyödyntämismahdollisuuksia tuotantotoiminnassa nykyistä enemmän.

1.1 Työn tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan älykkään lukon ohjelmistopäivityksen automatisointia varastossa toimitusta odottavalle lukolle. Automatisoinnilla tavoitellaan päivitykseen liittyvän käsittelyn helpottamista, koska nykyisellään päivitys koostuu useista vaiheista ja sitoo henkilöitä tekemään melko yksinkertaista työvaihetta. Etenkin yksinkertaisten, toistuvien ja ihmisen suorittamien työvaiheiden automatisointi on usein helpointa toteuttaa ja niistä saadaan todennäköisimmin suurin hyöty. Mikäli päivityksen automatisointi onnistuu, on mahdollista toimittaa lopputuotteet asiakkaille sekä nopeammin että pienemmällä henkilötyökustannuksella.

Työn lopputulemana on selvitys siitä, miten ohjelmistopäivitys olisi toteutettavissa siten, että nykyisen kaltaista päivitystapahtumaa voitaisiin parantaa, millaisella laitteistolla päivitys olisi mahdollista automatisoida, ja mitä tulisi huomioida valmistusprosessissa, että automatisoitu päivitys olisi ylipäättään mahdollista.

1.2 Työn raja

Työ on rajattu koskemaan iLOQ:in S50-lukkoperhettä. Tutkimusaiheena oleva lukkojen ohjelmistopäivitys voidaan automatisoida osin tutkimusaluetta mukailevalla tavalla myös NFC:tä hyödyntävän S50-lukkoperheen ohella K5-avainta käyttäviin S5-lukkoihin. Koska olennainen tutkimusalue on nimenomaan S50-lukkoperheelle ominaisen NFC-rajapinnan hyödyntäminen, haluttiin työn sisältö rajata koskemaan tätä ominaisuutta hyödyntäviin tuotteisiin. Päivityksen toteuttamisen kannalta olennaiset tekijät ovat automaatio ja langattomuus, joita on hyödynnetty S50-lukkoperheen valmistuksessa.

NFC-teknologialla on luonnollisesti sille ominaiset etunsa ja rajoitteensa, minkä vuoksi ratkaistavat ongelmat eivät ole täysin samanlaisia kaikille lukkoperheille. Esimerkiksi yrityksen S5-lukkoperhe hyödyntää lukkojen pääsynhallinnassa erilaista rajapintaa kuin S50-lukkoperhe, ja lukkojen valmistusprosessi ja niiden työvaiheet eroavat myös hieman toisistaan. Tämän takia mm. ohjelmiston päivittämiseen näillä kahdella tuoteperehellä on erilaisia mahdollisuuksia, eikä ole tarkoituksenmukaista käydä läpi opinnäytetyössä tutkittavan menetelmän täyttä yhteensopivuutta toisen lukkoperheen tuotantoon. Toisaalta osittaisten yhteneväisyyksien takia on oletettavaa, että osaa tuloksista on sovellettavissa myös muihin tuotteisiin, jolloin opinnäytetyön tuloksilla saavutetaan laajempi hyödynnettävyys yrityksen sisällä.

Työssä on tarkoitus hyödyntää yrityksen käytössä olevia valmiita työkaluja niin pitkälle kuin mahdollista. Täten ei ole tarkoituksenmukaista kehittää uusia, tai jatkokehittää jo olemassa olevia työkaluja opinnäytetyön osana. Opinnäytetyön kuluessa on kuitenkin mahdollista löytää työkalujen parannuskohteita sekä erilaisia optimointimahdollisuuksia, joita toivottavasti voidaan huomioida jatkossa näiden jatkokehityksessä työn ulkopuolella tutkittavien menetelmien sujuvoittamisessa edelleen paremmiksi.

1.3 Menetelmät

Opinnäytetyö pyrkii löytämään vastaukset seuraaviin kysymyksiin: Onko mahdollista suorittaa lukon ohjelmistopäivitys automatisoidusti, voidaanko päivitystapahtuman ergonomiia parantaa ja saavutetaanko automatisoidulla päivityksellä etuja nykyisin käytössä olevaan menetelmään verrat-

tuna? Opinnäytetyössä kehitetään menetelmää tunnetun työvaiheen parantamiseksi tutkimuksellisen kehitystoiminnan keinoin. Toiminnan keinoina käytetään kirjallisuusselvitystä erilaisista teknisistä ratkaisuista lukon automatisoidun käsittelyn ja päivitystoimenpiteen osalta. Edellisen osalta näitä voivat olla vaikkapa perinteinen automaatio, teollisuusrobotti tai yhteistyörobotti, ja jälkimmäisen osalta yksittäisen elektroniikkaosan, puolivalmisteen tai valmiin tuotteen ohjelmointi.

Jotta nykyistä prosessia voitaisiin parantaa, tulee ensin selvittää nykyisen päivitysprosessin työvaiheet. Nykyprosessissa päivitys tapahtuu ihmisen tekemänä ja tekijöillä on todennäköisesti paras käsitys nykymallisen päivitystapahtuman ongelmakohtista. Mahdollisia ongelmakohtia voi olla hankalaa hahmottaa ja todentaa ilman haastattelu- tai kyselytutkimusta. Sama koskee myös nykyisten päivittäjien kokemuksia esimerkiksi ergonomiasta, työn yksitoikkoisuudesta tai siinä tarvittavasta tarkkuudesta. Tästä syystä aikomuksena on toteuttaa lähtötilanteen kartoittamiseksi suunnattu kyselytutkimus päivitystyötä tekeville operaattoreille sekä työnjohdolle, ja kysyä tarkentavia täsmennyksiä nykyisen prosessin mukaiseen työvaiheeseen tutustumisen aikana siten, että mahdolliset tulkintavirheet jäisivät pois.

Ehdotetun ratkaisun todentamiseen tarvitaan myös kokeilu siitä, miten robotti tai automaatioratkaistu pystyy suoriutumaan käytännön päivityksestä. Tähän tarvitaan perehtymistä laitteistojen rakenteeseen, testilaitteiston rakentamiseen sekä laitteiston ohjelmointiin. Lukkojen nykyiset rahti- ja toimituspakkaukset voivat muodostua ongelmaksi, koska on tiedossa, että NFC:n toiminnalle on ominaisia rajoitteita etenkin kommunikointietäisyyden ja tiedonsiirtonopeuden suhteen. Päivitettävä kohde ei tällöin voi olla esimerkiksi kovin kaukana toimituspaketin ulkopinnoista, mikäli päivitys halutaan toteuttaa pakettia avaamatta.

1.4 iLOQ Oy

Toimeksiantajayritys iLOQ Oy on perustettu Oulussa vuonna 2003. Sen toimialaa ovat erilaisten lukitus- ja kulunvalvontajärjestelmien suunnittelu ja yritys onkin näiden osalta yksi alan edelläkävijöistä. Yrityksen liikevaihto vuonna 2022 oli 132 MEUR ja se työllisti samaan aikaan Pohjoismaissa, manner-Euroopassa sekä Pohjois-Amerikassa yli 280 henkilöä. iLOQ Oy on sertifioitu kolmen eri ISO-standardin määritelmien mukaisesti (ISO9001, ISO14001 ja ISO27001) ja yritys on voimak-

kaassa kasvussa liikevaihdon kasvuprosentin ollessa 29 % vuonna 2021. Yrityksen omistaa ruotsalainen pääomasijoitusyhtiö Nordic Capital, jolle omistus siirtyi vuonna 2019. Suomessa yrityksen toimipaikkoja ovat Oulu ja Espoo (iLOQ vuosikertomus 2019, Tietoa meistä 2023).

Yrityksen alkuidea syntyi, kun lukituslalla toiminut yrittäjä Mika Pukari mietti uudenlaista tapaa lukituksen toteuttamiseen mekaanisten lukkojen parissa työskennellessään. Perinteiset mekaaniset lukot toimivat haittaperiaatteella, joissa lukkosylinteriin sopivassa avaimessa olevat erilaiset urat sekä lovet järjestävät lukkosylinterissä olevat haittamekanismit oikeaan järjestykseen. Haittamekanismien asettaminen oikeaan järjestykseen mahdollistaa niiden kääntämisen sivuun tai siirtämisen toiseen asentoon sylinterissä, jolloin lukko avainta käännettäessä avautuu (Fennelly 2017, 118). Perinteisessä lukossa avaimen katoaminen johtaa lukon uudelleensarjoittamiseen sellaiseksi, että kadonneella avaimella ei pystytä enää asettamaan haittamekanismia oikeaan järjestykseen. Mikäli pääsynhallinta perustuu muihin seikkoihin kuin mekaanisesti erilaisiin avaimiin, jää uudelleensarjoittaminen työvaiheena pois. Tämä säästää lukkosepän aikaa sekä lukon omistajan kustannuksia.

2 Mekaanisista lukoista älykkäisiin

Lukkoja on ollut olemassa tuhansia vuosia ja niistä löytyy kuvauksia ja kirjallisuutta eri puolilta maailmaa esimerkiksi Egyptin kulttuurin kultakauden, Rooman valtakunnan ja antiikin Kreikan historiasta. Vanhimpien lukkojen iäksi on arvioitu noin 4000 vuotta (Phillips 2005, 1). Lukkoja on tarvittu suojelemaan omaisuutta ja niiden kehityskaari onkin edennyt lähes käsi kädessä suojattavan omaisuuden määrän kasvaessa, mikä selittää lukkojen kehittymisen muun teollisuuden ja vaurastumisen kasvaessa. Varhaiset lukot olivat tyypillisesti suuria ja niiden avaamiseen tarvittiin jonkinlainen solmittu naru tai kampa muistuttava avain. Lukkojen ja avainten materiaalit muuttuivat materiaalitekniikan kehittyessä alkuvaiheen puumateriaaleista erilaisiin metalleihin, mikä teki niistä myös kestävämpiä.

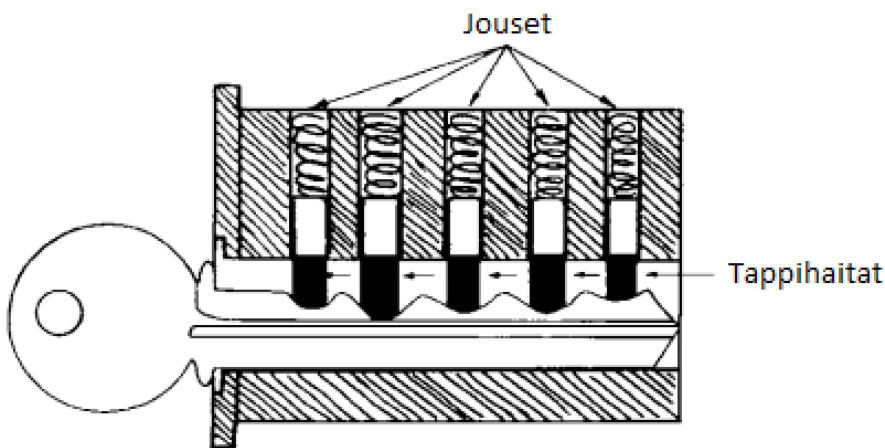
2.1 Kohti nykymallisia mekaanisia lukkoja

Lukkojen ominaisuudet pysyivät kutakuinkin samana alkuperäisistä peruskonstruktioista hyvin pitkään, kunnes lukkoihin keksittiin merkittäviä parannuksia teollistumisen edetessä 1700-luvun loppuun Englannissa. Vuonna 1778 Robert Barron kehitti haittalukon, jossa oli kaksi perättäistä lovetta avaimen vipuliikettä hyödyntävää haittalevyä. Kun lukkoon laittoi sopivan avaimen, levyt vastasivat avaimessa oleviin koloihin ja mahdollistivat avaimen kääntämisen lukossa. Kääntöliike liikutti haittalevyjä ja vapautti salvan liikkumaan haittalevyjen läpi. Salpa taas piti lukittavaa kohdetta lukittuna. Haittalukkoa paranneltiin vuosien varrella useaan otteeseen mm. haittalevyjen määrää lisäämällä, sillä tämäkään lukkotyyppi ei ollut murtovarma, vaan oikean avaimen muodon pystyi tutkimaan siitä, mihin kohtaan haittalevyt laskeutuivat siihen syötettyyn vahapintaiseen avaimeen. Erilaiset palkkiot, joita tarjottiin onnistuneista lukkojen murtoyrityksistä motivoivat kehitystyötä ja paljastivat lukkojen heikkouksia, mikä edelleen edesauttoi lukkojen jatkokehittelyä (Phillips 2005, 1,20).

Seuraavia merkittäviä kehitysaskelaita otettiin Yhdysvalloissa vuonna 1844, jolloin Linus Yale vanhempi patentoi ensimmäisen sylinterimallisen lukon. Hänen poikansa Linus Yale nuorempi jatkoi kehitystyötä ja patentoi vuonna 1856 kahta sisäkkäistä sylinteriä hyödyntävän sylinterilukon. Ulommassa sylinterissä oli jousien varaan kytkettyjä tappihaittoja. Kun avainkanavaan syöttää lukkoon sopivan avaimen, tapit liikkuvat linjaan jousia vasten puristuen ja mahdollistavat sisemmän

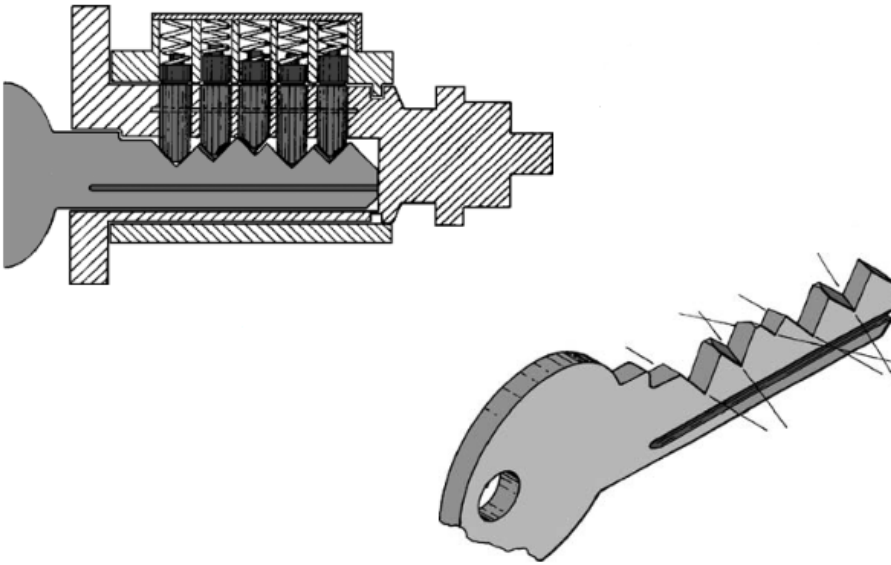
sylinterin pyörähtämisen ja lukon avautumisen avainta pyöritettäessä, kun tapit eivät vastusta tällöin liikettä. Tappihaittalukon toimintaperiaate on esitelty kuviossa 1.

Suurin osa nykymallisista tappihaittasylinterilukoista perustuu suurelta osin tähän keksintöön. Linus Yale nuoremman keksintö käytännössä mahdollisti lukkojen sarjatuotannon, sekä lukkojen asentamisen eri paksuisiin oviin. Esimerkiksi avainten koko pieneni merkittävästi, koska avainten ei tarvinnut olla enää koko oven paksuisia, ja myös lukkojen uudelleensarjoittaminen yksinkertaistui huomattavasti (Phillips 2005, 24). Keksijän nimi on jäänyt elämään, sillä etenkin Yhdysvalloissa puhutaan edelleen ”Yale-lukoista” kyseiseen toimintaperiaatteeseen perustuvien lukkojen synonyyminä.



Kuvio 1. Tappihaittasylinterilukon toimintaperiaate (Phillips 2007, 10, muokattu)

Jatkokehitys eteni pääosin turvallisuuden parantaminen edellä. Tappihaittalukosta tehtiin lukuisia variaatioita lisäämällä mm. tappien määrää joko yhteen riviin tai lisäämällä niitä sylinterin vastakkaisille puolille, millä haluttiin vaikeuttaa tiirikoitavuutta. Eräs merkittävä parannus nimenomaan tiirikoimisen vaikeuttamiseen keksittiin Yhdysvalloissa vuonna 1968 Medeco-yhtiön Roy Spainin toimesta. Haittatappien muoto ns. Medeco-lukossa oli tyypillisen tasaisen tai pyöristetyn sijaan V-muotoinen, ja avaimessa oli tarkat viisteet, jotka vastasivat tappien muotoon (kuvio 2). Avainta käännettäessä tapit eivät pelkästään painuneet suoraan jousia vasten vaan pyörähtivät hieman, mikä teki lukosta niin hankalan tiirikoitavan, että paikallinen lukkoseppäyhdistys ei suositellut lukon asennuksia. Pulfordin (2007, 230–231) mukaan kokeneenkin lukkoseppän suorittamana tiirikointi oli kohtuullisen vaikeaa ja tämä johti käytännössä avainten hukkuessa joko oven tai lukon rikkomiseen.



Kuvio 2. Medeco-tappihaittasylinterilukko (Pulford, 2007, muokattu)

Muunlaisiakin konstruktioita on kehitelty tappihaittalukkojen lisäksi. Suomessa tehtiin viime vuosisadan alkupuolella yksi alan merkittävimmistä keksinnöistä: Helsinkiläinen hienomekaanikko Emil Vilhelm Henriksson sai idean kiertyvillä haittalevyillä toteutettavasta sylinterilukosta korjatessaan vastaavalla levyperiaatteella toimivaa kassakonetta. Ideaan perustuva lukko patentoitiin vuosien kehittelyn jälkeen ensin Suomessa vuonna 1919 ja se sai myöhemmin patentin Yhdysvalloissa vuonna 1924. Henrikssonin lukon periaatekuva patenttihakemuksessa on esitelty kuviossa 3.

Nov. 4 , 1924.

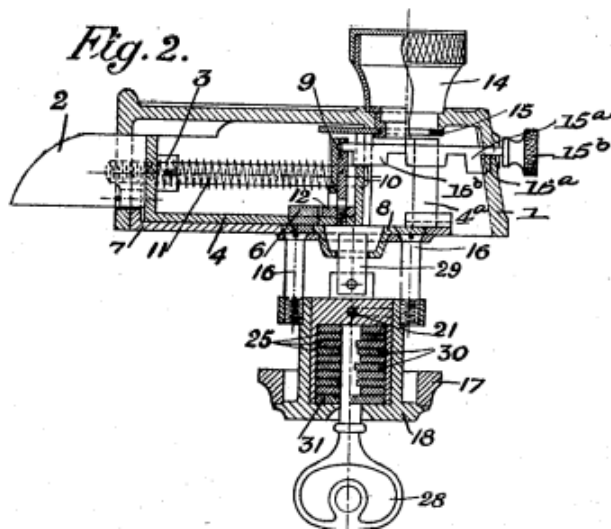
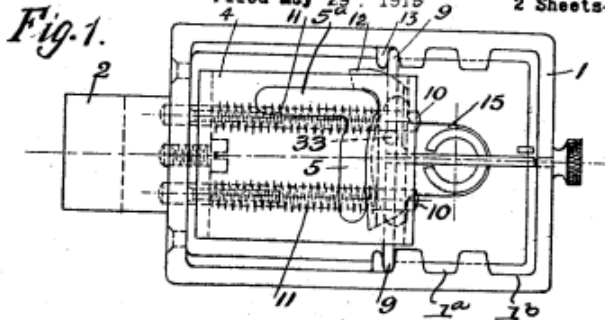
E. W. HENRIKSSON

1,514,318

SAFETY LOCK

Filed May 29, 1919

2 Sheets-Sheet 1



Kuvio 3. Henrikssonin levyhaittasynterilukko (US Patent 1514318A)

Henrikssonin haittalevyihin perustuvalla sylinterilukolla oli monta etua verrattuna sen aikaisiin tappihaittaperiaatteella toteutettuihin lukkoihin nähden: tiirikoitavuus vaikeutui huomattavasti, lukkoja voitiin sarjoittaa paljon laajemmin kuin aiemmin, ja lukon luotettavuus parani, sillä siinä ei ollut lainkaan tappihaittalukoille ominaisia ajan myötä vioittuvia jousia. Lukkotyyppiä pidettiin huomattavan hankalana tiirikoida ja myös avainkopioiden tekeminen oli tarkoin säädeltyä (Juvenen 2007, 195). Erilaiset tappi- sekä levyhaittasynterilukot ovat edelleen hyvin yleisiä erilaisissa lukitusratkaisuissa ympäri maailmaa ja niistä on kehitelty useita variaatioita.

Lukkotekniikan kehityskulku eteni erilaisia parannuksia patentoiden eri maissa ja uusia keksintöjä seurattiin tarkasti jatkokehitystä silmällä pitäen. Esimerkiksi Henrikssonin lukon tapainen levyhaittalukko patentoitiin Saksassa hyvin pian Carl Kästnerin toimesta vuonna 1920, ja osin keksintöön perustuvia ratkaisuja on patentoitu myöhemmin mm. Sargent & Greenleafin toimesta (Pulford

2007, 227, 239). Elektroniikan voimakas kehittyminen auttoi jalostamaan mekaanisten lukkojen toimintaa sähkömekaanisiin, mikä on tehnyt mahdolliseksi liittää lukkojen toimintaan sähköisiä elementtejä. Elektroniikka mahdollistaa mm. lukkojen toiminnan suurina lukitusjärjestelminä, sekä auttaa toteuttamaan lukitustapahtumaan tai oven avaamiseen ja sulkemiseen liittyviä ominaisuuksia, kuten esimerkiksi lukkosylinterin valaisemisen avaamisen helpottamiseksi pimeässä tai oven automaattisen avaamisen ja sulkemisen erillisen moottorin avulla.

2.2 Sähkömekaanisista lukoista älykkäisiin

Älylukolla ei ole varsinaisesti virallista määritelmää. Esimerkiksi Kielitoimiston sanakirja (Kotimaisen kielten keskus ja Kielikone Oy 2022) tai erikoisalojen sanastojen ja sanakirjojen kokoelman termipankki-TEPA (TEPA-termipankki 2023) eivät sisällä määritelmää termille. Puhekieleen vakiintuneen määritelmän mukaan älylukoksi kutsutaankin lähes mitä tahansa lukkoa tai siihen kiinnitettävää laitetta, joka tuo lukkoon tai lukitustapahtuman hallintaan älykkäitä ominaisuuksia. Aleksii Tiira (2017, 2, 6) mainitsee diplomityössään näiden älykkäiden ominaisuuksien olevan pääosin joko turvallisuuden parantamista, elämän helpottamiseen tai toimintojen nopeuttamiseen liittyvää.

Älykkäiden ominaisuuksien käytännön jo varsin arkipäiväisinä esimerkkeinä ovat mm. huoneiston ulko-oven lukon pääsyoikeuksien digitaalinen hallinta vaikkapa Airbnb-käyttöön hetkellisesti tai käyttäjän tunnistamiseen liitetty automaattinen ovenavaus ovesta olevan sähkömoottorin avulla. Liikuntasalin ovet aukeavat oppilaitoksella salia käyttävien harrasteryhmien käyttöön, mutta kiinteistön muut oven pysyvät samaan aikaan ryhmille lukittuina. Taloyhtiön saunatiloihin pääsee tietynä aikana vain vuoron varannut asukas sen sijaan, että kaikilla saunatiloista oman viikkovuoron varanneilla olisi sinne jatkuva pääsy. Kauppakassia kantavalle asukkaalle ulko-ovi aukeaa automaattisesti, kun käyttäjän avain tunnistetaan sopivan etäisyyden päässä ovesta.

Älykkäät lukot keräävät myös tietoa käyttötapahtumista (ns. audit trail). Esimerkiksi tieto siitä, millä avaimella ovesta on kuljettu, on osoittautunut hyödylliseksi vaikkapa rikosten selvittelyssä. Alkupalvesta 2023 uutisoitiin Turussa tapahtuneesta taloyhtiöiden putkilukkojen avainten varkauksen selvittelystä (Poliisi selvittänyt tekijöitä putkilukkovarkauksien takana Turussa – varkailla oli pääsy lähes kaikkiin kerrostaloihin 2023). Putkilukko on tyypillisesti joko pelastuslaitoksen tai julki-

sen infran hallintaa harjoittavien yritysten käyttöön tarkoitettu kiinteistön seinään upotettu lukkosylinteri. Lukko sallii pääsyn seinässä olevaan putkeen, josta on saatavilla avain kiinteistön huoltiloihin tai automaattisen paloilmoitusjärjestelmän ohjauskeskukseen (Pelastustoimen avainsäilöt 2017). Saamalla putkilukon avaimen käsiinsä ja hyödyntämällä sitä putkilukon avaamiseen, saa käytännössä sitä kautta pääsyn tiettyihin tiloihin taloyhtiössä. Uutisen mukaan rikosten selvityksessä oli voitu hyödyntää lukon käyttämisestä tallennettua lokitietoa, sillä älylukoissa on tyypillisesti mahdollisuus kerätä tietoa siitä, milloin ja millä avaimella ovesta on kuljettu. Tämä ei olisi mahdollista perinteisissä mekaanisissa lukoissa, sillä tiedon tallentaminen vaatii muistia ja muistin hyödyntäminen energiaa.

Älylukoissa varsinaisen pääsyoikeuden tunnistuksen voi tehdä yleisimmin mobiililaitteella vaikkapa NFC- tai Bluetooth-yhteyttä käyttäen, vastaavia rajapintoja hyödyntävillä fyysisillä etätunnisteilla tai vaikkapa näppäiltävällä avainkoodilla (Omavoimaiset digitaaliset ja mobiilipohjaiset pääsynhallintajärjestelmät 2023, Rollock älylukko W111/W112 2023, Yale Smart Locks 2023). Muita yleisiä älylukoissa käytettäviä rajapintoja kommunikointiin NFC:n ja Bluetoothin ohella ovatkin mm. Zig-Bee, Z-Wave ja Wi-Fi. Älykkäissä lukoissa pääsynhallintaa voi edellä mainittujen tapojen lisäksi tehdä myös äänentunnistuksella, kuvionpiirtämisellä, koputusrytmillä, sormenjäljellä sekä silmän iiriksen- tai kasvontunnistuksella. Näitä pääsynhallintamenetelmiä käytettäviin lukkoihin viitataan yleensä biometrisinä lukkoina (Phillips 2007, 45).

Eri kommunikointirajapinnoissa on omat hyvät ja huonot puolensa. Varsin yleistä onkin, että rajapintoja markkinoidaan yhteensopivina suurempien Internet of Things eli IoT -ekosysteemien kanssa. Osa älykkäistä lukoista edustaakin yhtenä osana laajaa ja kasvavaa kirjoa IoT -tuotteita ja toisaalta iso osa älylukkotuotteina markkinoiduista lukoista itse asiassa vain päivittää perinteisen mekaanisen lukon etäohjattavaksi tai -valvottavaksi varsinaisen lukko-osan päälle asennettavalla lisäosalla.

2.3 Älykkäät lukot ja iLOQ Oy

Täysin mekaanisia lukkoja on pitkään jatkokehitetty sähköisesti toimiviksi, sillä tämä tuo lukkojen käyttöön sekä hallinnointiin selkeitä etuja. Tuomalla sähköenergia lukkoon, saadaan lukitustapah-tuman hallintaan ominaisuuksia, jotka sallivat mm. käyttäjän tunnistamisen avaimesta, kulkuoi-

keuksien ajallisen hallinnan, sekä lokitietojen hyödyntämisen lukon käytöstä. Kulkuoikeuksien ajallista hallintaa voidaan hyödyntää vaikkapa koulun liikuntasalin käyttövuorojen hallintaan vain vuoron keston ajaksi ja lokitietoja hyödynnetään kohteissa, joissa on tärkeää pystyä pitämään kirjaa kävijöistä. Tällaisia kohteita voivat olla vaikkapa väärinkäytölle alttiit sairaaloiden lääkevarastot tai tietoturvakriittiset datakeskusten serverisalit.

Kaikkien edellä kuvattujen toimintojen toteuttamiseen tarvitaan sähköenergiaa, joka saadaan lukkoon tyypillisesti joko lukon tai avaimen paristolla, tai kiinteällä kaapeloinnilla rakennuksesta johdettuna. Nämä menetelmät aiheuttavat käytönaikaisen ylläpitotarpeen pariston vaihtamisen osalta sen tyhjennyttyä, tai asennus- tai rakennusaikaisen lisätyön lukkoon tarvittavan kaapeloinnin osalta. Pukarin saama idea perustuu siihen, että lukkoon syötettävä avain luo työntöliikkeestä mekaanista energiaa. Mekaaninen energia kerätään talteen ja muutetaan sähköiseksi energiaksi, jolla mahdollistetaan kommunikointi lukossa ja avaimessa olevien mikroprosessorien välillä (iLOQ toi lukot digiaikaan patenttien turvin 2019). Mikroprosessorien välinen kommunikointi taas mahdollistaa sen, että lukolle välitetään avaimelta tieto siitä, onko kyseisellä avaimella pääsyoikeutta lukkoon vai ei. Sähkömekaanisissa lukoissa toimintaperiaatteen ei tarvitse täten perustua pelkästään mekaanisten haittalevyjen tai -tappien hyödyntämiseen, jolloin esimerkiksi kaikki avaimet voivat olla fyysisesti samanlaisia keskenään, ja hyvin pienikin energia riittää lukon avaamiseen ja sulkemiseen.

Edellä mainitut ideat mahdollistavat kaksi merkittävää etua, jotka ovatkin iLOQ Oy:n lukoille ominaisia: erillisiä virtalähteitä, kuten paristoja ei tarvita, ja kaikki avaimet voivat olla keskenään mekaanisesti samanlaisia. Tällöin esimerkiksi avaimen kadotessa lukon uudelleensarjoitukset ovat tarpeettomia, sillä pääsyoikeudet ovat koodattu sähköisesti ja niitä voidaan muuttaa kyseiseen lukkoon välittömästi avaimen kadottua. Näillä eduilla on huomattavia vaikutuksia ympäristöystävällisyyteen, ylläpidettävyyteen ja turvallisuuteen: paristojätettä ei synny, erillisiä kaapelointeja ei tarvita, kadonneet avaimet voidaan poissulkea sähköisesti järjestelmästä välittömästi ja käyttöturvallisuus saavutetaan AES256-tyyppisellä vahvalla salauksella, koska pelkkä avaimen mekaaninen kopiointi ei riitä lukon avaamiseen (Omavoimaiset digitaaliset ja mobiilipohjaiset pääsynhallintajärjestelmät 2023). iLOQ:in tuoteperhe on laajentunut avaimella käytettävistä lukoista myös ilman

erillistä mekaanista avainta käyttäviin lukkoihin. Näissä kommunikointirajapintana käyttäjän ja lukon välillä toimii NFC, eli Near Field Communication ja ”avaimena” toimii matkapuhelin tai erillinen avainfobi eli avausrajapintaa hyödyntävä NFC-laite.

3 NFC-toimintaperiaate ja käyttökohteet

NFC on hyvin yleinen kuluttajatuotteissakin esiintyvä kommunikointirajapinta. Rajapinta on kontaktiton, lyhyen kantaman kommunikaatioon tarkoitettu, usealla eri kansainvälisellä standardilla vakiinnutettu menetelmä, ja se välittää tietoa sähkömagneettisen kentän välityksellä.

3.1 NFC-menetelmän etuja

Kontaktittomuudessa on paljon etuja verrattuna perinteiseen, kontaktia vaativiin rajapintoihin ja varsin tuttuja NFC:tä soveltavia kontaktittomia käyttökohteita ovat mm. lähimaksun käsittelyt, kuten bussi- ja metromatkan maksaminen joukkoliikennevälineissä (Rahul, Krishnan, Krishnan & Rao 2015). Myös tunnistautuminen esimerkiksi laskettelukeskuksen hissijonossa tapahtuu NFC:n välityksellä portin ja taskussa olevan fyysisen lipun välillä. NFC-tekniikan käyttöä edistävä konsortio NFC Forum kuvaa muina sovelluskohteina olevan mm. tuotteiden alkuperän valvonnan väärennösten hankaloittamiseksi, sekä auton ja asunnon ovien avaamisen (What NFC Does 2023). Minihold (2011, 4) tuo esiin myös mahdollisuuden hyödyntää menetelmää automatisoimaan puhelimen tehtäviä esimerkiksi kotitoimiston käyttämiseen tarvittavien asetusten aktivoimisessa. NFC-menetelmää käytetäänkin tyypillisesti pienehkön tietomäärän välittämiseen lähes olemattoman etäisyyden yli, sillä sen edut eivät ole menetelmän tiedonsiirtonopeudessa tai pitkässä kantamassa.

Vaikka suurin osa NFC-laitteista käsittelee vain pientä tietomäärää kerrallaan, voidaan sitä kuitenkin käyttää myös siirtämään suurempia tietomääriä laitteesta toiseen, kuten vaikkapa valokuvia kamerasta tulostimeen (Minihold 2011, 4). Matkapuhelimien ja niiden sovellusten käytön läpimurto on ollut erittäin suuri tekijä NFC-tekniikan yleistymisessä, sillä useimmat puhelimet ovat nykyään NFC-yhteensopivia. Kun vielä otetaan huomioon, että matkapuhelin on käytännössä mukana ihmisten jokapäiväisessä elämässä lähes kaiken aikaa, ei ole ihme, että tekniikka on saavuttanut varsin laajan käyttökohteen. Sekä Coskun ja muut (Coskun, Ok & Ozdenizci 2012, 41) että Rahul ja muut (2015, 142) näkevät nimenomaan matkapuhelimen NFC-tekniikan suurena edistäjänä: Coskun ja muut ennustivatkin kirjassaan jo vuonna 2012 esimerkiksi usean erillisen fyysisen tieto- tai maksuvälineen, kuten avain- tai luottokortin häviävän matkapuhelimeen integroidun NFC:n yleistymisen myötä tulevaisuudessa. Tämän voi todeta toteutuneen, sillä yhä useampi aiemmin pelkästään fyysinen maksu- tai etukortti on saatavana puhelimeen virtuaalisena.

Menetelmä on tiedonsiirtonopeudeltaan nykymittapuun mukaan hidas. Vaikka menetelmä ei hitautensa vuoksi mahdollistakaan suurten tietomäärien siirtoa nopeasti, niin käyttäjäystävällisyyteen liitetään usein palvelun vaivattomuus sekä palvelutapahtuman nopeus. Erilaisten laitteiden parittaminen ennen varsinaista tiedonsiirtoa voidaan tehdä NFC-tekniikalla, sillä yhteensopivat laitteet tunnistavat toisensa automaattisesti tullessaan toistensa kommunikointialueelle. Coskunin ja muiden mukaan (2012, 70) tällainen menettely on huomattavasti nopeampaa kuin vaikkapa tunnistautuminen Bluetoothin yli, joka vaatii tapauskohtaisen laitehaun, parittamisen ja auktorisoinnin laitteiden välille. Tällöin esimerkiksi puhelin voidaan parittaa Bluetooth-kaiuttimen kanssa ensin nopeasti NFC:tä hyödyntäen, ja nopeampaa tiedonsiirtonopeutta tarvitseva musiikin siirto puhelimesta kaiuttimeen tehdään Bluetoothin välityksellä yhteyden avauduttua. Juuri yhteyden synnyttämisen automaattisuus sekä nopeus ovat valtava etu, mistä syystä NFC kommunikointimenetelmänä sopiikin erinomaisesti esimerkiksi älykkäisiin lukkoihin Tiirankin (2017, 14) kuvaamana aikaa säästävänä tekijänä.

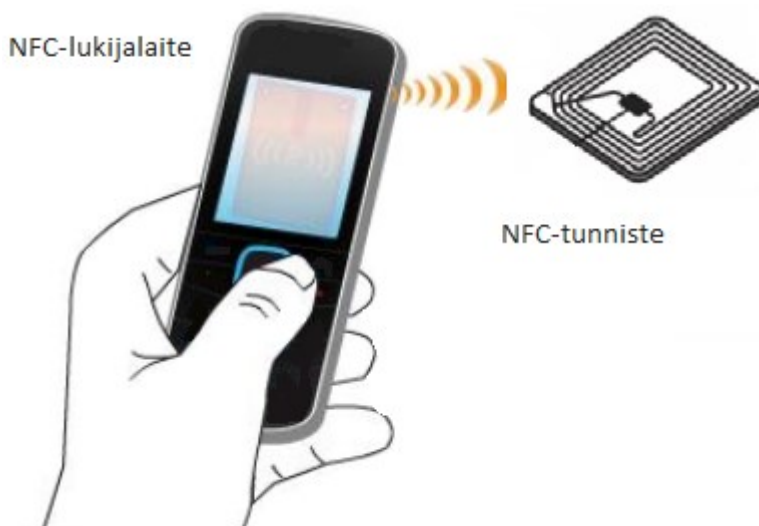
NFC:tä voi hyödyntää myös erityisesti fyysisesti pienten laitteiden tehonsiirtoon, sillä NFC:n kautta toteutettavaksi on luotu spesifikaatio, jota voidaan hyödyntää siirtämään maksimissaan 1W suurista tehoa vaikkapa IoT-laitteiden käyttövirraksi pienikokoisilla antennilla (Technical Overview 2023). Suurempien laitteiden ja isompien tehojen välittämiseen kuten esimerkiksi puhelimien langattomassa latauksessa käytetään eri tekniikkaa (ns. Qi-standardi), joka hyödyntää maksimissaan 45 W tehonsiirtoa, mutta molemmissa tapauksissa toimintaperiaatteena on hyödyntää sähkömagneettista kenttää (NFC for Wireless Charging 2023). Langattomuuden kasvava hyödyntäminen erityisesti tiedon-, mutta myös tehonsiirrossa, onkin selkeästi nähtävissä erilaisten IoT-laitteiden yleistyessä.

3.2 NFC:n toimintaperiaate

NFC on eräs RFID-tekniikan alaluokka, jossa tiedonsiirtoa voidaan tehdä joko yhteen tai kahteen suuntaan, kun taas RFID on yksisuuntainen tekniikka (Tapiainen 2019, 7). NFC:tä käytettäessä tiedonvälitys toimii langattomasti sähkömagneettisia aaltoja synnyttämällä ja niitä lukemalla induktioperiaatteen mukaisesti. Esimerkiksi puhelimen välityksellä suoritettavassa NFC-tunnisteen lukemisessa puhelin generoi sähkömagneettisen kentän, joka sisältää tiedonvälityksen aloittamiseen tarvittavan datan. Tämä kenttä välitetään luettavalle NFC-tunnisteelle lukijalaitteen eli tässä tapauksessa puhelimen NFC-antennin välityksellä. Luettava NFC-tunniste kerää energian puhelimen

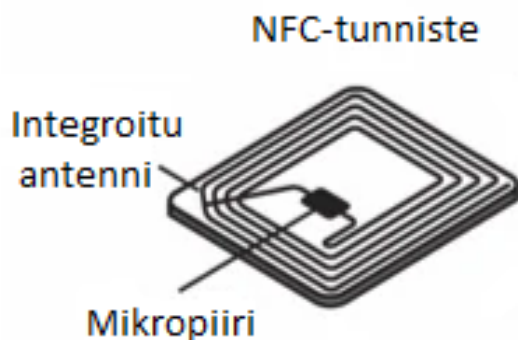
lähetteestä oman antenninsa avulla eli se saa kaiken tarvitsemansa toimintaenergian puhelimen lähetteestä langattomasti. Tunnisteella oleva luettava tieto välitetään NFC-tunnisteen oman antennin avulla niin sanottua kuormamodulaatiota käyttäen takaisin lukijalaitteelle. Rahul ja muut toteavatkin käytännön tiedonsiirrossa olevan pelkistään kyse induktiivisen muuntajakytkennän muodostamisesta kahden tapahtumaosapuolen välille (2015, 135).

Tiedonsiirrossa digitaalisessa muodossa oleva data moduloi 13,56 MHz taajuista kantaaltoa siten, että joko signaalin voimakkuus (Amplitude Shift Keying -modulaatio) tai vaihe (Phase Shift Keying -modulaatio) vaihtelevat lähetettäväksi tarkoitetun datan mukaan (Minihold 2011, 5). Tiedonvälityksperiaate on esitelty kuviossa 4, jossa NFC-lukijalaitteena toimiva puhelin lukee NFC-tunnisteelta tietoa.



Kuvio 4. NFC-tiedonvälityksperiaate

NFC-lähetteen generointi tarvitsee erillisen mikropiirin ja mikropiiri tarvitsee virtalähteen toimiakseen. Lisäksi tietojen välittäminen tarvitsee antennin, joka on usein spiraalin muotoinen ja sovitettu muutamalla passiivikomponentilla toimimaan 13,56 MHz taajuudella. Tyypillinen NFC-järjestelmä koostuukin yksinkertaisimmillaan näistä kolmesta osasta, joskaan virtalähde ei ole pakollinen, mikäli toimitaan passiivisessa moodissa (Minihold 2011, 5). Tällöin edellä kuvatun esimerkin mukaisesti aktiivisena toimiva laite tuottaa jännitteen myös passiiviselle laitteelle. Yksinkertaisesti esimerkki NFC-tunnisteen konseptista on esitetty kuviossa 5, jossa NFC-mikropiiri sekä antenni ovat kiinnitettynä tarramateriaalin päälle.



Kuvio 5. NFC-tunnisteen konseptiesimerkki

NFC eroaa ylälajistaan RFID:stä usealla tavalla. Ensinnäkin siinä missä RFID-pohjainen tiedonvälitys toimii usealla eri taajuudella, ja jossa on vain yhdensuuntaista tiedonvälitystä, käytetään NFC:tä ainoastaan 13,56 MHz taajuudella, ja siinä tiedonvälitystä voi tapahtua molempiin suuntiin. RFID-tekniikassa toimintataajuuksia on sitä vastoin kolmella taajuusalueella: LF-taajuusalueella 125–134 kHz, HF-alueella taajuudella 13,56 MHz sekä UHF-alueen taajuudella 433 MHz ja taajuuskaistalla 865–960 MHz (Tapiainen 2019, 22). Toiminta useammilla taajuusalueilla sekä erillisistä virtalähteistä virtansa saavat aktiiviset RFID-tunnisteet mahdollistavat myös pidempää kantamaa tarvitsevat sovellukset kuten esimerkiksi tietullien automaattiset lukijalaitteet.

Toiseksi RFID-tekniikkaan verrattuna NFC on rajoitettu kantamansa suhteen, sillä se toimii hyvin lyhyellä laite-etäisyydellä: esimerkiksi puolijohdevalmistajat NXP ja Sony kertovat tyypillisen kantaman olevan alle 10 cm (NFC for embedded applications. Your critical link for the Internet of Things 2014, 3; Definition of NFC. N.d), kun taas Coskun ja muut ilmoittavat toimintaetäisyyden olevan maksimissaan muutama senttimetri (2012, 74). NFC-teollisuuden yhteenliittymä NFC Forum ilmoittaa verkkosivuillaan kantaman olevan 2 cm luokkaa (Technical Overview 2023). Puolijohdevalmistaja ST Microelectronicsin mittauksissa eri puhelimien kyvykkyys kommunikoida samalla koejärjestelyllä vaihteli älypuhelinmallin mukaan aina 34 mm etäisyydestä 54 mm:iin (NFC Design Considerations for an Improved User Experience 2022, 16). Puhelimien tapauksissa kommunikointietäisyyttä rajoittavat esimerkiksi antennin koko, sen sijoittelu, sekä materiaalit, joita antennin ympäristössä on. Antennin sovitusta voidaan muokata tarkoitustaan laajakaistaisemmaksi, että sen kyvykkyys kommunikoida vaikkapa heikompien laitteiden kanssa olisi parempi.

Kolmanneksi NFC-tekniikkaa pidetään kohtuullisen turvallisena tapana toteuttaa yhteyksiä. Vaikka tietoliikenteessä pitkä kantama on yleensä etu, on toisaalta ominainen lyhyt kantama iso tietoturvaetu, sillä heikkoa signaalia on vaikeampaa poimia väärinkäyttöön, eikä tiedonsiirtotapahtumaan pääse helposti fyysisesti väliin (Coskun ym. 2012, 70). Ruuhkaisissa paikoissa, kuten metroasemilla on usein helpompaa kommunikoida yksittäisen laitteen NFC:n välityksellä, sillä mahdollisten kilpailevien signaalien määrä rajoittuu huomattavasti, kun etäisyys lukijalaitteeseen lyhenee senttimetriluokkaan. Esimerkiksi Bluetooth- tai Wi-Fi-laitteiden kantama on vähintäänkin metrejä tai kymmeniä, ja ruuhka-aikaan vaikkapa suuren metroaseman laituriporttien läheisyydessä voi olla radiokantaman sisällä satoja ihmisiä. Tyypillinen NFC:n käyttötilanne onkin koskettaa laitetta toisella, jolloin samasta yhteydestä kilpailevia laitteita ei ole joko ollenkaan tai niitä on hyvin vähän tarvittavan kantomatkan sisällä.

3.3 Keskeiset NFC-standardit

Kaupallinen NFC-teknologia on alun perin kahden eri yrityksen, hollantilaisen Philips Semiconductorsista NXP:ksi eriytetyn, ja japanilaisen Sonyn tutkimuksiin perustuvaa. Nämä kaksi yritystä päättivät yhdistää aihepiiriin liittyvät tutkimuksensa vuonna 1999 ja alkoivat ajamaan yhteisiä standardeja NFC-teknologiaan (Paret 2016, 21). Myöhemmin mukaan yhteistyöhön liittyi muita yrityksiä kuten Nokia ja yritykset päättivät perustaa vuonna 2004 voittoa tavoittelemattoman teknologiayhteenliittymä NFC Forumin ajamaan kehitystyötä (Definition of NFC N.d.). Osin edellä mainittujen ja muiden NFC:tä hyödyntävien yritysten ponnistelujen ansiosta, on nykyään varsinaisia NFC-standardeja neljä erilaista (Technical Overview 2023):

- ISO / IEC 14443 standardi tyyppin A ja B signalointiin yhteensopiville älykorteille ja lukijoille
- ISO / IEC 15693 standardi tyyppin NFC-V signalointiin yhteensopiville lähikorteille
- ISO / IEC 18092 standardi yhteensopiville laitteille
- JIS X 6319–4 standardi tyyppin F signalointiin yhteensopiville älykorteille ja lukijoille

3.3.1 Standardi ISO / IEC 14443

Standardiryhmän keskeisin standardi ISO / IEC 14443 on jaettu neljään osaan, joissa on määrittelyt laitteen fyysisille ominaisuuksille kuten NFC-laitteen muistin koolle, datan siirtonopeudelle, signaa-

lien aaltomuodoille sekä tiedonsiirtoon liittyvälle koodaukselle. Lisäksi standardi määrittelee siirrettävän tiedon kehysrakennetta, lukijalaitteen havaitsemien älykorttien tunnistamiseen liittyvää törmäyksenestoa, sekä siirtoprotokollaan liittyviä asetuksia (Coskun ym. 2012, 93).

Standardissa on signalointiin liittyvät määrittelyt tyyppin A ja tyyppin B tunnistelle. Niiden toiminta eroaa toisistaan sekä modulaation (joko 100 % amplitudimodulaatio tai 10 / 90 % amplitudimodulaatio) että käytetyn koodauksen osalta (Miller vs. Manchester-koodaus). Tätä standardia noudattavista älykorttityypeistä ovat tunnetuimpia tyyppin A signalointia käyttävät MIFARE-älykortit, jotka ovatkin pääosin toisen NFC-alan pioneeriyrityksen NXP:n luomus ja ns. Calypso-älykortit, jotka edustavat esimerkkiä standardin signalointitapaa B hyödyntävistä älykorteista (Coskun ym. 2012, 112).

3.3.2 Standardi ISO / IEC 15693

Standardi jakautuu kolmeen osaan ja se määrittelee vastaavia vaatimuksia kuten standardi ISO / IEC 14443 fyysisille ominaisuuksille, ilmarajapinnalle ja tiedonsiirtoprotokollalle. Siinä missä standardi ISO / IEC 14443 määrittelee ominaisuuksia lyhyen toimintaetäisyyden älykorteille, ovat standardin ISO / IEC 15693 sovelluskohteena hieman pidemmän kantaman käyttöön suunnitellut lähikortit, jotka voidaan lukea yli 10 cm etäisyydeltä NFC-yhteensopivilla laitteilla, ja joissa ei ole tietoturvallisuudelle samanlaisia vaatimuksia kuin standardin ISO / IEC 14443 sovelluskohteilla (Understanding RFID (Radio Frequency Identification), Passive RFID 2012, 14). Standardi määrittelee myös erityisen NFC-V tyyppin signaloinnin, mikä poikkeaa hitaamman 26 kbp/s nopeutensa vuoksi muista signalointimenetelmistä (Coskun ym. 2012, 92), mutta usein tietoakaan ei välitetä yhtä paljon verrattuna ISO / IEC 14443 standardin sovelluksiin. Pidempi toimintamatka on helppo todeta vaikkapa hiihtokeskusten hissilippujen etäluennassa: hissien aktiivinen porttilukija lukee lipun helposti ilman kosketusta lukijalaitteen antenniin.

3.3.3 Standardi ISO / IEC 18092

Tämäkin standardi on jaettu osiin. Standardin osien suurin eroavaisuus aiemmin mainittuihin ISO / IEC 14443 ja ISO / IEC 15693 standardeihin verrattuna on siinä, että standardin ISO / IEC 18092 osa neljä määrittelee toimintatilan myös kahden aktiivisen laitteen välille (Coskun ym. 2012, 92, 108).

Eri standardeissa on määritelty NFC-osapuolten välisille yhteyksille alun perin kolme erilaista toimintatilaa ja ne ovat esitelty kuviossa 6:

- Luku- / kirjoitustila
- Peer-to-Peer, eli P2P-tila
- Korttiemulointitila



Kuvio 6. NFC-tiedonsiirron eri toimintatilat (NXP Semiconductor 2014, muokattu)

Näistä ensimmäinen eli luku- / kirjoitustila vastaa jo aiemmin kuvattua tilannetta, jossa aktiivinen laite lukee passiivista älykorttia. Toinen tila, eli toiminta kahden aktiivisen laitteen välillä P2P-toimintatilassa tapahtuu esimerkiksi matkapuhelimen ja kameran välillä, joissa NFC-yhteys on luonnollisesti aktiivinen laitteiden omien virtalähteiden ansiosta. Esimerkki edellä mainitusta tiedonsiirtotapahtumasta NFC:n yli on vaikkapa käyntikorttiedon vaihto tai valokuvien lähettäminen kamerasta matkapuhelimeen. Kolmas toimintatila on emulointitila, jossa aktiivinen laite voi emuloida olevansa passiivinen älykortti sen sijaan, että se olisi oikea aktiivinen laite (Tushie 2012). Toimintatilan sovelluksena yleinen on esimerkiksi puhelimeen tallennettu maksukortti. Tilan valinnalla on merkitystä mm. tiedonsiirrossa käytettävään virrankulutukseen, sekä siihen, että aktiivisessa laitteessa voi olla useita virtuaalisessa tilassa olevia älykortteja, kuten esimerkiksi matka-, maksu- tai jäsenkortteja.

Suurin osa kaikista NFC-tiedonsiirtotapahtumista tapahtuu esimerkiksi aktiivisen lukijalaitteen ja passiivisen älykortin tai tunnisteiden välillä, mutta tämän standardin mukaisesti tiedonsiirtoa voi toteuttaa myös kahden aktiivisen laitteen välillä. Kaksi passiivista laitetta ei sen sijaan voi kommunikoida keskenään, vaan tiedonsiirto tarvitsee aina aktiivisen osapuolen.

3.3.4 Standardi JIS X 6319–4

Suuri osa NFC:n soveltamiseen liittyvästä kehityksestä tehtiin alun perin Japanissa ja siellä NFC:llä on ollut pitkään laajasti sovelluskohteita. Tämän takia yksi NFC:n päästandardeista eli JIS X 6319–4 omaa vahvan perustan erityisesti japanilaisissa sovellusalueissa. Sen pääasiallisena ajurina on toiminut alan toinen suuri pioneeriyritys Sony, jonka käsialaa ns. FeliCa -älykortit ovat. NFC on lähtenyt liikkeelle Japanissa alun perin huomattavasti nopeammin kuin Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, joten standardi on muodostunut etenkin Japanissa vallitsevaksi.

Olellaisena erona muihin standardeihin määritellään tässä rajapinnat tyyppin F signaloinnille, joka mahdollistaa jopa 424 kbp/s nopeudet verrattuna muiden standardien hitaampiin 26 kbp/s, 106 kbp/s ja 212 kbp/s nopeuksiin. Standardi täydentää ISO / IEC 14443 standardia sisältämällä myös joitain erillisiä komentoja sekä viestimuotoja (Relationship between NFC and FeliCa N.d.).

3.3.5 Standardien määritelmä ja merkitys

Kotimaisten kielten keskuksen kielitoimiston sanakirja määrittelee standardin siten, että se *”on määrämenettelyllä laadittu ja vahvistettu normatiivinen asiakirja, jossa esitetään esim. teollisuustuotteiden ominaisuuksia, valmistus- ja testausmenetelmiä, luonnontieteellisiä suureita ja yksiköjä tms. koskevia sääntöjä, ohjeita tai määritelmiä”* (Kotimaisten kielten keskus ja Kielikone 2022). Määritelmää voidaan tarkentaa seuraavasti hyväksynnän osalta: *”standardi on toistuvien ongelmien ratkaisuja esittävä asiakirja, joka perustuu asianosaisten yhteisymmärrykseen ja on tähän tehtävään tunnustetun elimen hyväksymä”* (TEPA-termipankki 2023). Käytännössä isoilla markkinoilla toimivilla tahoilla on sekä tarve että toivomus saada yhdenmukaistettua tiettyjä määrittelyjä tai käytäntöjä siten, että niistä on sovittu ja päätetty yhdessä muiden toimijoiden kanssa.

Standardien noudattaminen on vapaaehtoista verrattuna lakeihin ja säännöksiin, mutta käytännössä standardien noudattamisesta on tullut tärkeä kilpailutekijä, joka helpottaa ja mahdollistaa

mm. kansainvälisille markkinoille pääsyä. Esimerkiksi tarjouksia laitteista pyydetessä, vaatimuk-
 sena voi olla yhteensopivuus tiettyä standardia vasten. Markkinoiden globalisoituessa yhä enem-
 män ja enemmän, on standardinmukaisuus hyvin tärkeä ominaisuus, että esimerkiksi NFC-
 tuotteita voitaisiin käyttää erilaisilla laitteilla eri puolilla maailmaa, ja että niiden ominaisuudet
 ovat vertailukelpoisia. Standardinmukaisuuden hyötyihin voi myös lukea kuluttajien lisääntyneen
 luottamuksen, sillä standardinmukaisuus edistää usein turvallisuutta ja laatua (Standardeista on
 hyötyä meille kaikille 2023).

3.4 NFC-rajapinnan vertailu muihin langattomiin rajapintoihin

Erilaisiin langattomiin tiedonsiirtotekniikoihin voi törmätä kaikkialla ja niiden tuotemerkit ovat tut-
 tuja mm. kauppojen hyllyiltä älylaitteiden kuten älykkäiden lukkojenkin tuotepakkauksia tutkiessa.
 Yleisimmät älykkäissä lukoissa esiintyvät langattomat rajapinnat ovat Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Z-
 Wave ja NFC, ja ne ovatkin vakiintuneet laajasti käyttöön kaikilla markkina-alueilla (kuvio 7).



Kuvio 7. Langattomien tiedonsiirtorajapintojen tunnistetta

Kaikki rajapinnat ovat jalostuneet eteenpäin vuosien varrella standardoinnin sekä teknologian ke-
 hittymisen myötä monin osin. Suurimmat kehityskohteet rajapinnoissa liittyvät signaalin kantaman
 ja tiedonsiirron nopeuden kasvuun, parantuneeseen turvallisuuteen sekä virrankulutuksen piene-
 nemiseen. Näistä etenkin virrankulutuksen minimointi, käyttömukavuus sekä tiedonsiirron turvalli-

suus ovat lukitustapahtumaan liitettyinä olennaisimmat. Sama trendi näkyy myös yleisenä kehityssuuntana suuressa osassa IoT-laitteita tietoliikennevalmistaja Ciscon tutkimuksen mukaan (IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi 2020, 3). Älykkäiden lukkojen osalta on huomioitava se, että niiden kommunikaatorajapinta on väline lukkojen käyttämiseen lukitustarkoituksiin. Työn sisällön kannalta ei ole tarkoituksenmukaista yrittää löytää kommunikaatorajapintaa, joka olisi välttämättä paras jokaiseen käyttökohteeseen, vaan voidaan todeta, että jokaisella valmistajalla on ollut omat perusteensa valitsemansa tiedonsiirtomenetelmän käyttöön tuotteessaan.

3.4.1 Tiedonsiirtokapasiteetti ja -nopeus

Lukitustapahtumassa siirrettävä tietomäärä on varsin pieni, joten menetelmän tiedonsiirtokapasiteetti ei ole missään tapauksessa rajoittava tekijä yhdellekään yleisimmistä tiedonsiirtomenetelmistä. Esimerkiksi yleisten tyyppin 2 ja tyyppin 4 NFC-älykorttien muistikapasiteetit ovat kooltaan kahdesta kilotavusta 32 kilotavuun (Coskun ym. 2012, 102). Tällaiset tietomäärät ovat varsin vaatimattomia verrattuina esimerkiksi tietomäärään, jota siirrellään vaikkapa sanomalehden verkkootikkeliä luettaessa puhelimen välityksellä, jossa jo yksi artikkeli sisältää megatavuja tietoa. Siirtonopeudet ovat kasvaneet eri tiedonsiirtomenetelmissä kuitenkin hyvin paljon siitä syystä, että tietomäärä verkossa lisääntyy jatkuvasti ja uusia laitteita liittyy osaksi tietoverkkoja suuria määriä joka vuosi: Esimerkiksi Wi-Fi-yhteyksissä alkuperäisen standardin ensimmäisen version 2 Mbps nopeudesta on siirrytty satojen megatavujen nopeuksiin sekuntia kohden, mikä on huikea nopeus, kun sitä verrataan NFC-menetelmän maksiminopeuteen 424 kbps (Lazaro 2018, 4).

Uusin Wi-Fi-toimintaa määrittelevä IEEE standardi on 802.11ax vuodelta 2019 (IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi 2020, 14). Wi-Fi onkin muihin menetelmiin verrattua tiedonsiirtonopeudeltaan ylivoimainen. Toki Zigbee, Z-Wave, Bluetooth sekä NFC ovat alun perinkin tarkoitettuja pienempien tietomäärien siirtelyyn, jolloin tarvittava tiedonsiirtonopeus on vaatimattomampi verrattuna Wi-Fi-pohjaiseen siirtomenetelmään: Zigbee-piirisarjoja tarjoava Silicon Labs toteaakin maksiminopeuteen 250 kbps kykenevän menetelmän olevan suunnattu enemmän näytteistävään tiedon siirtoon tai valvontakäyttöön kuin ohjaukseen (UG103.2: Zigbee Fundamentals 2021, 3).

Tiedonsiirtonopeutta tärkeämpää lukkoa käytettäessä onkin siirtotapahtuman kokonaiskesto, mitä käyttömukavuuteen tulee. Lukitustapahtuman kokonaiskesto vaikuttaa pientä tietomäärää siir-

rettäessä suuresti aika, joka kuluu yhteyden luomiseen. Lathiya ja Wang (2021, 10) viittaavat julkaisussaan vertailuun, jossa esimerkiksi NFC-menetelmällä tapahtuva yhteyden luominen on lähes välitön ($<0,1$ s) verrattuna noin 6 s aikaan, joka kuluu vastaavaan tapahtumaan kahden Bluetooth-laitteen välillä. Onkin selvää, että tällä on suuri merkitys siihen, millaisena käyttäjä kokee laitteen toiminnan esimerkiksi ulko-oven lukkoa avatessaan. Samaan päätelmään ovat tulleet myös Coskun ja muut (2012, 71,) sekä Rahul, Krishnan, Krishnan & Rao (2015, 8) menetelmien eroja tutkiessaan. Toisaalta on olemassa myös paljon sovelluksia, joissa siirrettävä tietomäärä on niin suuri, että NFC ei yksinkertaisesti soveltuisi tehtäviin hitautensa vuoksi. Tällaisissa tehtävissä nopean yhteydenluomiskyvyn merkitys häviää, sillä sen kesto siirron kokonaiskesto on mitätön.

3.4.2 Energiankulutus

Lukkojen kannalta pieni virrankulutus on toivottavaa, sillä älykkäiden toimintojen suorittamiseen tarvitaan aina virtaa. Erilaisten älylaitteiden arkipäiväistyminen on tuonut mukanaan myös laitteiden energiankulutuksen pienentymisen. Langattomuus yhdistettynä paristokäyttöisyyteen, on lisännyt tarvetta kasvattaa toiminta-aikoja latausten välillä tai tarvetta minimoida lataustarve kokonaan toteuttamalla laite esimerkiksi vaihdettavan pariston tarjoamalla energiamäärällä toimivaksi. Pienempään energiankulutuksen vaatimukseen puolijohdeteollisuus on pystynyt vastaamaan tois- taiseksi kohtuullisesti, sillä uusien mikropiirien valmistustekniikka luo edellytyksiä myös aiempaa pienemmälle virrankulutukselle.

Virrankulutusta optimoi myös erilaisten sovellusten jatkokehitys sekä standardointi. Standardoiduista tiedonsiirtomenetelmistä hyötyvät myös kuluttajat, sillä kilpailevat menetelmät ovat kehittyneet vastaamaan kuluttajien tarpeisiin: esimerkiksi Ericssonin alun perin kehittämästä Bluetoothista on julkaistu erityinen matalamman energiankulutuksen versio Bluetooth LE, jossa lähetteen tehoa on saatu pienennettyä reilusti aina 0,01 mW tehotasoon sopivissa oloissa verrattuna alkuperäiseen standardin versioon, jossa tehotaso oli minimissään 0,25 mW (The Bluetooth Low Energy Primer 2022, 15). Uusin versio Bluetoothista onkin v5.4 vuodelta 2023 (Paatsila, 2023).

Sama kehitys näkyy muissakin standarditekniikoissa, joita parannellaan ja jatkokehitetään vakiintuneen käyttäjäkunnan ja kilpailevien tekniikoiden kirittäminä jatkuvasti. Kotiautomaatiosovelluksiin kehitetty Zigbee-tekniikka käy esimerkistä: siitä on julkaistu parannettu versio Zigbee 3.0, jossa on

parannuksia mm. kantamaan ja virrankulutukseen. Sen pientä energiankulutusta kuvaa edellä mainittua standardia hyödyntävä anturi, jonka kehittäjä Silicon Labs kertoo voivan toimia hyvin suunniteltuna jopa 20 vuotta yhdellä paristolla. (UG103.2: Zigbee Fundamentals 2021, 3).

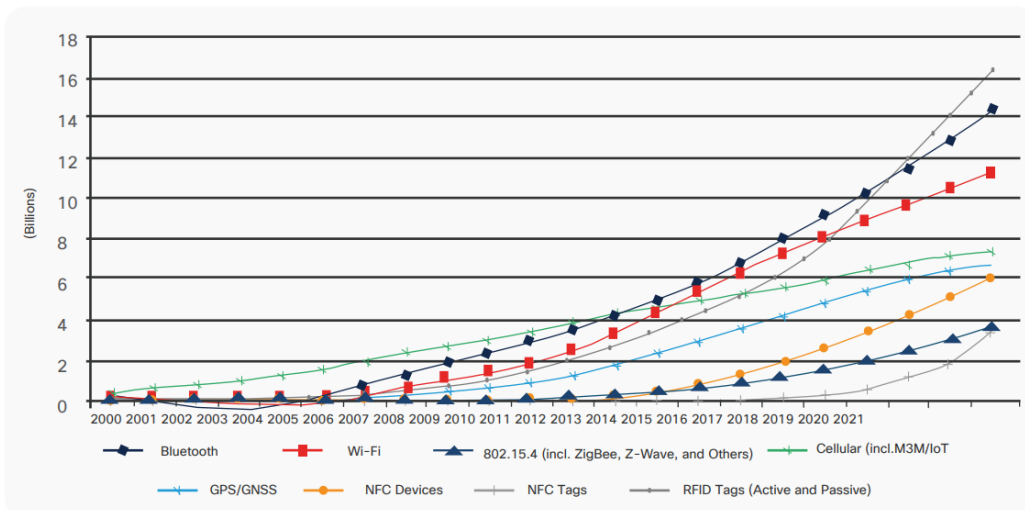
Kiinteään sähköverkkoon jatkuvasti kytkettyjen laitteiden (esimerkiksi älylamput) osalta virrankulutus ei luonnollisesti ole yhtä kriittistä kuin laitteissa, joiden toiminta on pariston varassa. Tästä syystä esimerkiksi Wi-Fi-tekniikkaan perustuvaa tiedonsiirtoa käytetäänkin yleensä suuria tiedonsiirtonopeuksia tarvitsevilla laitteilla, jotka operoivat kiinteän sähköverkon tai verraten suurikapasiteettisen akun avulla. Paristokäyttöisissä laitteissa akun- tai pariston kapasiteetin kasvaessa, myös niiden fyysinen koko kasvaa, mikä saattaa olla rajoite etenkin fyysisesti pienissä laitteissa kuten IoT-käyttöön tarkoitetuissa sulautetuissa järjestelmissä.

Energiatavallisten paristojen yleinen raaka-ainemateriaali on Litium, jonka riittävyys ja kierrätettävyys mm. sähköautojen akkutarpeen lisääntymisen myötä on nykyään usein esillä. Lazon, Villarinon ja Girbaun (2018, 1) mukaan useimmat paristot ovat ongelmajätettä, jolloin niiden käytöstä poistamisesta tulee huolehtia. Paristotarpeen poistaminen on toivottavaa, sillä se vähentää suoraan omalta osaltaan syntyvän jätteen määrää ja siitä huolehtimista. Vertailun vuoksi iLOQ Oy:n tuotteissa paristottomuus tarkoittaa sitä, että 50 000 kg paristojätettä jää syntymättä joka vuosi (Visio ja strategia 2023). 3,2 gramman kappalekohtaisella paristopainolla laskettuna (Lithium Battery Coin Cell 2012) tämä vastaisi esimerkiksi yli 15,6 miljoonaa kappaletta CR2032-kokoista nappiparistoa.

3.4.3 Laitteiden kantama

Lukituksessa laitteiden tiedonsiirronkantamalla on merkitystä siinä, kuinka etäältä lukko voidaan avata paikallisesti. Mikäli lukko ja käyttäjä ovat langattoman lähiverkon kantaman piirissä, on käytännössä mahdollista avata lukko etänä mistä tahansa. Muilla tekniikoilla avauskäyttö rajoittuu langattoman signaalin kantamaan. Langatonta tiedonsiirtoa käyttävien laitteiden määrä on kasvanut suuresti, jolloin samasta signaalitiestä kilpailee useampi laite. Eri lähteiden mukaan arvioidaan laitteita olevan käytössä kymmeniä miljardeja vuonna 2023 (kuvio 8). Osin myös kotiautomaation suosio on tuonut runsaasti uusia käyttäjiä ja soveltajia esimerkiksi Zigbee sekä Z-Wave-pohjaisiin ratkaisuihin, joissa suurimpina ajureina ovat olleet Wi-Fi:in verrattuna erityisesti minimoitu virran-

kulutus sekä mahdollisuus ketjuttaa laitteita laajemman kantaman verkoiksi erilaisten Mesh-tekniikoiden avulla. Kaikkien radiota hyödyntävien laitteiden tapauksessa kantama määräytyy kuitenkin eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta, kuten lähetystehosta, siirtotien laadusta, halutusta nopeudesta, muiden samalla kaistalla operoivien laitteiden määrästä sekä vastaanottimen herkkyydestä. Kaikilla näillä on oma vaikutuksensa mm. virrankulutukseen sekä siirrettävän tiedon nopeuteen ja signaalin kantamaan.



Kuvio8. IoT-laitteiden määrän kasvuennuste (IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi. Technical White Paper 2020)

Tiedonsiirtoon käytetyllä taajuuskaistalla on omat etunsa ja haittansa. Tiettyjen kaistojen käyttö on luvanvaraista ja kaistasta riippuen, niillä toimivien laitteiden määrissä ja lähetystehoissa on huomattavia eroja. Suurempien taajuuksien käyttö mahdollistaa nopeamman tiedonsiirron, mutta suosituimmat lupavapaat kaistat alkavat olla varsin ruuhkaisia. Etenkin suosittu 2,4 GHz:n taajuuskaista, jota usea langaton tiedonsiirtomenetelmä käyttää, on paikoin hidastunut merkittävästi. Laitteiden antamat vaihtelevat käytetyn tekniikan mukaan NFC:n muutamasta senttimetristä Bluetoothin kymmeneen ja Wi-Fi:iin jopa satojen metrien kantamiin, joskin käytännössä kantama vaihtelee suuresti esimerkiksi avoimissa sisätiloissa verrattuna rakennuksiin, joissa on paljon luontaisia esteitä kuten seiniä. Kantaman osalta Zigbee ja Z-Wave tekniikat sijoittuvat eri lähteiden mukaan kymmenien metrien ja sadan metrin tuntumaan (Coskun ym. 2012, 69), Z-Wave-tekniikalla saavutettavaan hieman pidempään kantamaan Zigbeehen nähden. Ruuhkaisen 2,4 GHz kaistan välttävät sekä NFC, Zigbee ja Z-Wave tiedonsiirtomenetelmät, jotka operoivat pääosin lupavapailla alemmilla taajuuksilla.

3.4.4 Turvallisuus

Lukitustapahtumassa ehdoton vaatimus on luottamus siihen, että lukko pysyy lukittuna ja aukeaa luotettavasti niin haluttaessa. Tiedonsiirron turvallisuuteen on kiinnitetty yhä enemmän huomiota ja siksi laitteiden välisen kommunikaation sisältö halutaan salata mahdollisimman vahvoilla algoritmeilla. Näissä algoritmien salaukset vaihtelevat 128 bittisestä salauksesta 192 bittisiin. Tästä poikkeuksena on NFC, jossa salausta ei ole sisäänrakennettuna, mutta sensitiivisen tiedon osalta tiedonsiirtokanava on salattavissa vastaavin algoritmein kuin muissakin tiedonsiirtomenetelmissä.

3.4.5 Yhteenveto

Huomattavaa on, että läpikäytyjen langattomien teknologioiden osalta ei ole olemassa ”parasta” tai ”huonointa”, vaan teknologian soveltuvuutta kannattaakin arvioida käyttötärpeeseen peilaten. Varsinkin teknologioita ajavien allianssien lähteissä esitetään siirtonopeuksiksi ja kantamiksi varsin optimistisia lukemia, mitkä pitävät toki paikkansa teoreettisina ja laboratorio-olosuhteissa mitattuina, mutta ovat käytännössä hyvin harvoin täysin saavutettavissa. Tämän voi huomata esimerkiksi ruuhkaisessa avokonttorissa, jossa runsaslukuisten käyttäjien Bluetooth-laitteet ruuhkauttavat tiedonsiirtokaistan ja kantamat jäävät usein kauas optimaalisesta etenkin etäisyyden kasvaessa kauemmas tiedonsiirron osapuolten välillä.

Yhteenvetona vertailun osalta voi todeta, että NFC:n edut muihin teknologioihin tässä opinnäytetyön kontekstissa ovat nimenomaan sen olemattomassa virrankulutuksessa, nopeassa yhteydenluomiskyvyssä, yksinkertaisessa sekä halvassa toteutuksessa ja lyhyessä kantamassa, mikä parantaa esimerkiksi turvallisuutta olennaisesti, joskaan se ei tee turvallisuudesta aukotonta. Se, missä NFC jää jälkeen muista tiedonsiirtotekniikoista, on vaatimaton tiedonsiirtonopeus sekä yhteyden kantama. Erilaisten tekniikoiden suorituskykyä on arvioitu alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Langattomien tiedonsiirtotekniikoiden suorituskykyvertailu

	NFC	Bluetooth	BLE	Wi-Fi	Zigbee	Z-Wave
<i>Tehonkulutus</i>	--	++	+	+++	+	+
<i>Nopeus</i>	26 kbps – 424 kbps	1 – 3 Mbps	125 kbps – 2 Mbps	2 Mbps – 4,8 Gbps	20 kbps – 250 kbps	40 kbps – 100 kbps
<i>Turvallisuus</i>	Avoin	128 bit AES	128 bit AES	192bit WPA3	128 bit AES	128 bit AES
<i>Kantama</i>	<10 cm	1 – 10m	<10m	100 – 300m	< 100m	< 150m
<i>Taajuusalue</i>	13,56 MHz	2,4 GHz	2,4GHz	2,4 GHz / 5 GHz	868 MHz / 915 MHz / 2,4 GHz	868 MHz / 915 MHz

Yllä olevassa taulukossa tehonkulutusta on vertailtu suhteellisen absoluuttisen kulutuksen sijaan, ottamatta kantaa siihen kuinka tehokas menetelmä on siirrettävään tietomäärään verrattuna.

3.5 S50 lukkoperhe

iLOQ Oy:n NFC:tä hyödyntävä lukkoperhe on myyntinimeltään S50. Lukkoperheen lukot ovat kaikki EN15684 sertifioituja, mikä asettaa standardoidut vaatimukset mekatronisille lukkosylintereille (SFS-EN 15684:2020:en 2020). Standardissa on vaatimukset esimerkiksi digitaaliselle sekä fyysiselle murto suojaukselle, ympäristön olosuhteille ja kulutuskestävyydelle. S50-lukkoperheen lukkojen avaimena toimivat joko NFC-yhteensopivat Apple iPhone tai Android-puhelimet, tai erillinen NFC-avainfobi. Lukot ovat omavoimaisia, eli saavat energiansa lukon avaustapahtumasta avaimena toimivan laitteen kautta.

3.5.1 S50-lukon rakenne

Lukkoperheen lukot koostuvat yksinkertaistaen erillisestä nappikokoonpanosta, core-kokoonpanosta, sekä core-kokoonpanon ja telkiosat sisälleen paketoivasta mekaniikasta. Lukkosylinterin ydinosa eli core-kokoonpano sisältää elektroniikkaa sekä mikromekaniikkaa ja se on yhteinen kaikille tuoteperheen lukkoille. Core-kokoonpanon ”aivoina” on mikrokontrolleri, joka tulkitsee nappikokoonpanon antennilta tulevan autentikointitiedon ja sallii tiedon perusteella tarvittaessa lukon avautumisen. Mikrokontrolleri myös lukitsee lukon tarvittaessa automaattisesti käyttäjän määrittelemän ajan mukaisesti ja tallentaa tiedot tehdyistä lukitustapahtumista.

Toinen alikokoonpano, eli nappiosa muodostuu yksinkertaistettuna NFC-antennista sekä sen kotelovasta mekaniikasta. Tämä toimii myös käyttäjälle lukitusrajapintana lukkoa avattaessa ja suljettaessa. Lukkoa operoidessa avaimena toimiva puhelin tai avainfobi tuodaan lukon nappiosan antennipiirin läheisyyteen, jolloin NFC-yhteys syntyy ja operointitapahtuma käynnistyy automaattisesti. Nuppikokoonpanosta on olemassa useampi mukaelma erilaisten käyttökohteiden vaatimusten mukaisesti. Nuppi sekä core-kokoonpano ovat galvaanisesti yhdistetyt keskenään, eli tiedonsiirto näiden välillä on kiinteää, kun taas nupin NFC-antenni toimii ilmarajapintana käyttäjän avaimena toimivan laitteen ja lukon elektroniikan välillä.

3.5.2 Lukkotyypit

Erilaisia lukkotyyppejä on hyvin erilaisia käyttötärpeesta ja -käyttömaasta johtuen. Skandinavian maissa käytetään yleisesti ovaaliprofiilin lukkosylintereitä, kun taas keski-Euroopassa käytetään europrofiiliin lukkosylintereitä. Näissä kahdessa pääasiallisin toiminnallisin ero on teljen sijainnissa, mikä ovaalimallissa on lukon peräosassa, kun taas kuvan europrofiilimallissa telki on sylinterin ja peräosan välissä. Edellä mainittujen tyyppisiä lukkosylintereitä on yleisesti käytössä ulko-ovissa ja lukkotyyppiä voidaan varioida esimerkiksi eri tavalla oven eri puolille korvaamalla vaikkapa NFC-antennin sisältävä nappiosa perinteisellä mekaanisella vääntönupilla, mikä ei sisällä antennia. Myös lukon telkiosan muoto vaihtelee käyttökohteen mukaisesti.

Kuviossa 9 on esitelty esimerkkejä S50-lukkoperheen lukoista (kuvio 9, esimerkkejä S50-tuoteperheen lukoista, iLOQ Oy). Vasemmalla ylhäällä ns. ovaalisylinteri ja alhaalla europrofiili- eli DIN-sylinteri. Ylärivissä keskellä on esimerkki avainsäilölukkosylinteristä ja alarivissä keskellä on esimerkki kaluste-, eli camlock -lukkotyypistä. Kalustelukkotyyppiä käytetään mm. erilaisissa tietoliikenteen laitekabineteissa tai sairaaloiden lääkekaapeissa, joissa on usein vaatimuksena lukitustapahtumien jäljitettävyyden väärinkäyttöriskin minimoimiseksi. Ylärivin avainsäilölukkosylintereitä asennetaan rakennusten ulko-ovien läheisyyteen tai sisääntuloauloihin, joissa niitä hyödynnetään esimerkiksi pelastuslaitoksen tai julkisen infrastruktuurin tarpeissa säilyttämällä näiden käyttöön varattuja avaimia lukitussa sylinteriputkessa. Sylintereille on eri maissa erilaisia vaatimuksia mm. ulkomittojen tai ulkoisten haittalevyjen määrän suhteen, josta syystä lukkosylinteriä on saatavana eri ulkomitoille. Esimerkiksi Suomessa ja Saksassa käytetään yleisesti 38 mm halkaisijalla olevaa sylinteriä, kun taas Ruotsissa halkaisija on 45 mm.



Kuvio 9. Esimerkkejä iLOQ Oy:n S50-tuoteperheen lukoista

Erilaiset riippulukot ovat hyvin yleisiä esimerkiksi ulkokäytössä mm. ajoporteilla ja ulkoalueiden kulkuovissa tai tarkastusluukuissa. Näistä voisi mainita esimerkkinä vaikkapa matkapuhelinverkkojen tukiasemasuojat tai vesilaitosten pumppuasemat. Kuviossa 9 äärimmäisenä oikealla ovat esimerkit kahdesta S50-tuoteperheen riippulukosta, joista ylempi edustaa suojausluokan 3 lukkoa ja alempi järeämpää suojausluokan 4 riippulukkoa. Kahdessa viimeisessä esimerkissä tyypillinen variointi on erilainen sangan pituus käyttökohteen mukaan. S50-tuoteperheessä on riippulukkoja kolmeen eri suojausluokkaan (ns. Grade 3, Grade 4 ja Grade 5) ja näiden suojausluokkien keskeiset erot ovat toteutettu lukkosylintereihin ulkoisesti sankamateriaalin paksuudella sekä ulkoisen mekaniikan mitoituksessa suurempaan ja vahvempaan suojausluokan kasvaessa.

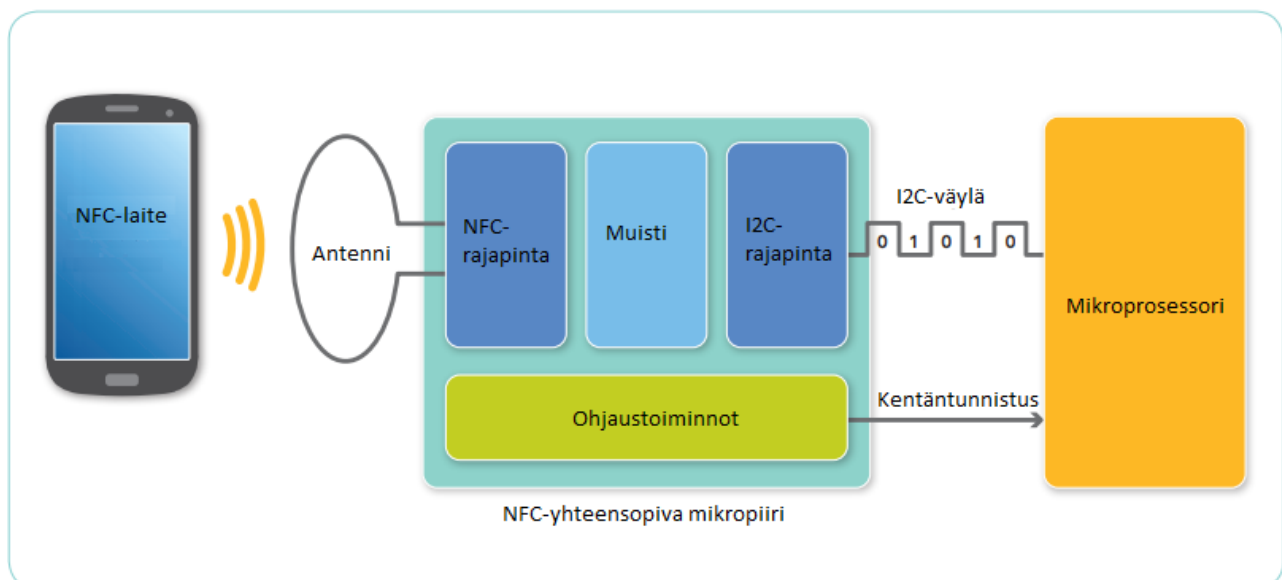
3.5.3 NFC-rajapinta S50-lukossa

Kappaleessa 3.3.3 esiteltiin NFC-rajapinnan erilaisiksi toimintatiloiksi kolme erilaista tilaa. Näistä tiloista lukkoa lukittaessa ja avatessa on käytössä luku-/kirjoitustila. Lukko sekä avaimena toimiva laite kommunikoivat keskenään ja lukon tapauksessa liittymän toisessa päässä on sulautetun järjestelmän mikrokontrolleri. Lukitustapahtuma tarvitsee kommunikointiin NFC-rajapinnan yli toimivan avainlaitteen eli puhelimen tai fob-avaintunnisteen. S50-lukot ovat yhteensopivia ISO / IEC

14443 standardin mukaisesti ja toimivat NFC Forumin tyyppin 2 tunnisteelle määrittelyille ominaisuuksille hyödyntäen tiedonsiirtonopeutta 106 kbps.

S50-lukossa NFC-rajapinta on toteutettu siten, että lukon nappiosassa oleva antenni ottaa vastaan puhelimelta tulevan NFC-lähetteen. Tämä lähete kytketään nupin antennilta lukon coreosassa olevalle erilliselle NFC-piirille, joka myös kerää tästä lähetetulosta toimintaansa tarvitseman energian. Sama lähete tuottaa myös tarvittavan energian coreosassa olevalle mikroprosessorille, jolloin tarvittavat ohjelmistokomennot sekä niihin liittyvät tiedonvaihdot voidaan suorittaa pääsynhallintapahtumaa ohjaavan autentikoinnin osalta.

Autentikointitoiminto käynnistyy, kun NFC-piiri tunnistaa NFC-rajapintaan tuodulta läheteeltä signaalin. Tällöin kentäntunnistus aktivoituu ja mikroprosessori käynnistetään aktivoitulla signaalilla. NFC-piiri tunnistaa avainlaitteelta tulevan signaalin ja käsittelee siitä tarvittavan osan mikroprosessorille välitettäväksi. Mikroprosessori sekä NFC-piiri ovat tiedonvaihdon osalta yhteydessä toisiinsa I2C-väylän välityksellä. Eräs esimerkkitoiteutus käyttäen I2C-väyläohjattua NFC-piiriä on esitetty kuviossa 10 (NFC for embedded applications. Your critical link for the Internet of Things 2014, muokattu).



Kuvio 10. Esimerkkitoiteutus NFC-kommunikaatiosta

4 Ongelmakentän kuvaus

Mikään sulautettu järjestelmä ei toimi ilman ohjelmistoa. Lukkojen ohjelmiston ajantasaisuus on tarpeen, sillä minkä tahansa älykkään laitteen ominaisuudet perustuvat hyvin pitkälle sulautetussa järjestelmässä toimivaan ohjelmistoon. Ohjelmistoa jatkokehitetään uusien ominaisuuksien hyödyntämiseksi, sen turvallisuutta voidaan parantaa, havaittuja puutteita voidaan korjata, ja ohjelmistoa voidaan muuttaa tukemaan erilaista hardwarerakennetta. Esimerkiksi koronapandemian myötä sähköisten sekä mekaanisten komponenttien saatavuusongelmat tulivat tutuiksi suurelle osalle tuotekehitystä tekeviä yrityksiä, ja niiden täytyi sopeutua tilanteeseen mm. tuotteiden designia muuttamalla, jolloin myös ohjelmistopäivityksen olivat tarpeen, että tuote toimisi myös muutetulla versiolla. Ohjelmistopäivityksiä voidaan tehdä valmistus- ja logistiikkaketjun eri vaiheissa tarpeen ja hyödyn mukaan.

4.1 Valmistuksen kustannukset

Jokaisella valmistusvaiheella on oma vaikutuksensa tuotteen hintaan, sillä kaikki työvaiheet valmistuksessa maksavat joko suoraan tai epäsuorasti. Kustannukset voidaan jakaa Grooverin (2015) mukaan kiinteisiin tai muuttuviin. Kiinteitä kustannuksia ovat kaikki kustannukset, jotka eivät ole riippuvaisia tuotannon koosta, kuten esimerkiksi laitteet, tehdasrakennus, rakennukseen liittyvät vakuutukset sekä kiinteistövero. Muuttuvia kustannuksia ovat kaikki sellaiset, joiden suuruus on riippuvainen tuotannon koosta, kuten valmistukseen tarvittavan henkilöstön palkat, laitteistojen käyttämiseen kuluva sähkö sekä valmistamisen materiaalit. Kustannukset voidaan jaotella myös toisella tapaa: suoriin työvoimakustannuksiin, materiaalikustannuksiin sekä yleiskustannuksiin, joita syntyy esimerkiksi hallinnosta ja kaikesta sellaisesta, mitä ei suoraan liitetä valmistukseen vaan yleiseen yritystoiminnan pyörittämiseen. (Groover 2015, 76–77).

Jos materiaali- ja kiinteät kustannukset jätetään huomioimatta, niin esimerkiksi ohjelmistopäivitystapahtuman kustannukseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi nopeuttamalla päivitysvaihetta sekä pienentämällä vaiheen soveltamiseen vaadittavaa tilantarvetta tai valmistamiseen tarvittavaa työvoimaa. Nopeudella on vaikutusta esimerkiksi tuotantolinjan kapasiteettiin: mitä vähemmän tuotteen valmistamiseen menee aikaa, sitä suurempi on linjan saavutettavissa oleva kapasiteetti ja sitä vähemmän tarvitaan laitteita. Tuotantovaiheissa käytettävät erilaiset menetelmät vaativat sovel-

tamiseen fyysistä tuotantotilaa eri tavalla esimerkiksi tarvittavien laitteiden muodossa sekä vaiheista valmistuvien alikokoonpanojen tai osien varastointitilan tarpeen muodossa. Esimerkiksi tehtaalla tuotantotilalle voidaan laskea oma kustannusvaikutuksensa, jolloin on tehokkaampaa valmistaa tuotteita pienemmässä tilassa, koska kokonaiskustannus vähempien lattianeliöiden osalta on pienempi. Vapautuvaa tilaa voidaan hyödyntää samassa rakennuksessa toiseen toimintoon, jolloin se ei rasita kyseisen tuotteen kustannuksia. Luonnollisesti jokaista konetta operoimaan ja ylläpitämään tarvitaan myös henkilöitä, jolloin työvoimakustannus osin lisääntyy, joskin automatisointi tehostaa toimintoja sekä yleensä vähentää työvoiman tarvetta. Mikäli koneita voi käyttää useamman tuotteen valmistamiseen, on niiden yksikkökustannus valmistettavaa tuotetta kohti volyymin kasvaessa pienempi.

4.2 Uudelleenohjelmoinnin tarpeellisuus

Päivitystarvetta tarkastellessa on syytä kysyä, voisiko päivityksen välttää kokonaan? Tuotteessa on aina ohjelmisto, joka päivitetään tarvittaessa uusimpaan. Tällöin, jos jokaiseen valmistettavaan tuotteeseen ensimmäisen kerran ladattava ohjelmisto olisi aina uusin mahdollinen, ei päivitystarvetta teoriassa esiintyisi ennen tuotteen toimittamista.

Tällaisessa toimintamallissa olisi kaksi suurta etua: alun perin Toyotan ideoima Lean-filosofia lähestyy aihetta ns. hukkaterrin avulla, mikä tarkoittaa sitä, että kaikki turhaan tai useaan kertaan tapahtuva toiminta ei ole arvoa lisäävää toimintaa vaan hukkaa (Nicholas 2018, 62). Toisaalta toiminnan ajoittaminen mahdollisimman aikaiseen vaiheeseen tuotannossa toteuttaa Tashiogloun ja Prestdridgen kymmenkertaisuuden sääntöä ("rule of tens"), mikä tarkoittaa sitä, että toiminnan toteuttamisen hinta myöhemmässä vaiheessa kymmenkertaistuu prosessissa edetessä (Davis 1994, 75). Sääntö on alun perin sovitettu vikadiagnostiikan teoriaan, mutta sitä voidaan soveltaa muuallekin, sillä esimerkiksi ohjelmointitapahtuman toteuttamisen laitehinta ja nopeus on komponenttitasolla toimittaessa pienin.

Käytännössä uudelleenohjelmointia ei voida useinkaan välttää. Tämä on seurausta siitä, että toimitusketjun eri vaiheet komponenttien toimituksesta tehtaalle, eri valmistusvaiheiden välisiin viiveisiin, sekä rahtiin tehtailta jakeluun ja loppuasennukseen aiheuttavat sen, että tuotteita on aina keskeneräisenä jossain, mikä käytännössä pakottaa päivitykset myöhempisiin vaiheisiin. Tuotteen

ohjelmiston jalostuessa uusille ominaisuuksille, on päivitykselle hyvä syy, sillä päivityksen tavoitteena on joko parantaa tuotetta tai korjata siinä olevassa ominaisuudessa havaittu puute. Tuotteen omaan ohjelmistoa hyödynnetään usein elektroniikkatuotteita toiminnallisesti testattaessa. Tällöin myös testaustapahtuman kehittäminen laadullisesti tai sen tapahtuman optimoiminen voi vaatia uutta versiota tuotteen ohjelmistosta, että parannusta voidaan ottaa käyttöön. Välttämättä siis kaikki tuotteen ohjelmistomuutokset eivät ole tähdättyjä vain tuotteen toimintojen parantamiseen, vaan niitä voidaan tehdä myös tuotannon kehittämisen tarpeisiin.

5 Erilaisia ohjelmiston päivitystapoja

Lukon ohjelmiston ajantasaisuuden varmistamiseen ja päivittämiseen on olemassa erilaisia mahdollisuuksia, joihin liittyvät menetelmät ja hyödyllisyys riippuvat osin siitä vaiheesta, jossa tuote on valmistamisen aloittamisen ja loppukäyttäjän tekemän käyttöönoton välillä. Toimitusketjuna voi tässä yhteydessä käsitellä tuotteen matkaa lukon ohjelmiston tallentamiseen käytettävän komponentin toimituksesta piirilevyn ladontaan ja kasaukseen erilaisiin kokoonpanoihin tehtaalla aina tuotteen pakkaamiseen saakka. Tästä vaiheesta on asiakkaan käyttöön kuitenkin vielä pitkä matka: tehtaalta tuotteet lähetetään logistiikkakeskukseen, josta ne kerätään jälleenmyyjille asennettaviksi. Vasta asennustapahtuman jälkeen lukko on loppukäyttäjällään, joten näin laskettuna toimitusketju on sekä vaiheiden määrän mukaan että ajallisesti mitattuna pitkä, vaikka itse valmistaminen ei kestäisi vaiheaikoina pitkään.

5.1 Ohjelmointi tehtaalla osana valmistusta

Tuotetta valmistettaessa ohjelmisto ladataan mikroprosessorin Flash-muistiosioon. Nykyisellään S50-tuoteperheessä tämä tehdään osana ladotun piirilevyn testausta erillisen neulapetitesterin avulla, jolla päästään jousikontaktien avulla kiinni mikroprosessorin ohjelmointiin tarvittaviin liityntöihin. Varsinaiseen ohjelmointiin tarvitaan tällöin vain yksinkertainen laite, jolla saadaan yhteys mikroprosessorille ja joka pystyy kommunikoimaan sen kanssa ohjelmoinnin suorittamiseksi.

On myös mahdollista suorittaa ohjelmointi ennen mikroprosessorin ladontaa, jolloin komponenttien ladontakoneeseen syötettävä komponenttikela on esivalmisteltu lataamalla kelan komponenteille ohjelmisto etukäteen. Tällöin ladottujen piirilevyjen mikroprosessoreilla on ohjelmisto valmiina ennen testaukseen saapumista. Mikroprosessorin ohjelmoinnin voi suorittaa joko mikroprosessorin valmistaja tai jakelija, tai se voidaan tehdä valmistelevana vaiheena ennen piirilevyn ladontaa erillisellä laitteella valmistavalla tehtaalla tai osana ladontakoneen komponenttien syöttölaitetta (Smith 2011). Smithin mukaan menetelmän hankaluudet piilevät mahdollisessa riskissä komponentin juotospisteiden vaurioitumisessa sekä suurten ohjelmien ohjelmointiajassa, joka voi hidastaa muuten nopean ladontakoneen käyttöä. Muun muassa näistä syistä puolijohdevalmistajat tarjoavat ohjelmointipalvelua ja sitä perustellaan sekä turvallisuudella että tuoteväenrennosten ja harmaatuotannon riskin minimoimisella. Toimintamallia hyödynnettäessä, ladattava ohjelmisto voidaan salata ja tallentaa piirille jo ennen kuin se päätyy ladontaan ja komponentit

ovat identifioitavissa yksiköllisellä koodilla, joka mahdollistaa niiden seurannan (Nine things IoT device makers can do with Custom Part Manufacturing Service (CPMS), N.d.).

Ohjelmistopäivityksen ajankohdan kannalta edellä kuvatuissa menetelmissä on ajallisesti merkittävä ero siinä, milloin uudella ohjelmistolla valmistetut tuotteet saadaan tehtaalta toimitukseen. Mikäli ohjelma päivittyy, voidaan uusi ohjelmaversio toimittaa joko mikroprosessorien toimittajalla esiohjelmoivaksi ennen komponenttien toimitusta, tai tehtaalle, joka suorittaa joko komponenttien ohjelmoinnin ja ladonnan tai ladotun piirilevyn ohjelmoinnin ja testauksen. Joidenkin komponenttien toimitusajat voivat olla nykyisessä maailmantilanteessa hyvin pitkiä, jopa kuukausia. Vaikka toimituseriä saataisiinkin tehtaalle ladottaviksi viikoittain, ehtivät tuotetta valmistavat tehtaot ladata suuria määriä levyjä komponenteilla, joissa on vielä edellinen ohjelmistoversio, mikäli ohjelmiston päivitys suoritettaisiin komponenteille alun perin niiden toimittajalla. Jos siis ohjelmointia tarkastellaankin vain tästä näkökulmasta, on viive todennäköisesti liian suuri. Jos taas ohjelmointi tehdään vasta ennen komponenttia ladottaessa tai testauksen yhteydessä tehtaalla, voidaan ohjelmisto ottaa käyttöön huomattavasti lyhyemmällä viiveellä, jolloin uudella ohjelmistolla valmistettuja tuotteita saadaan nopeammin toimitukseen.

Smithin mukaan kustannuksia tarkastellen mikropiirin valmistaja voi suorittaa ohjelmoinnin osana omaa valmistusprosessiaan, jolloin se on sekä tehokkaampaa että halvempaa kuin tehtaalla suoritettuna (Smith 2011). Yksittäisen piirin ohjelmointiin tarvittava aika on riippuvainen siitä nopeudesta, jota ohjelmitava piiri tukee, ja nopeudesta, jota ohjelmoiva laite pystyy hyödyntämään. Kokonaishyödyt ovat tällöin riippuvaisia valmistettavien tuotteiden määrästä, jolloin valmistusmäärien kasvaessa pienetkin aikasäästöt kertautuvat.

Ohjelmointiin tarvittavat laitteistot ovat varsin edullisia, eikä ohjelmointiaika S50-tuoteperheen valmistuksessa näyttele kovin suurta osaa, sillä ohjelmiston koko on tyypilliselle sulautetulle järjestelmälle pieni. Kuviossa 11 on esitelty kaksi laitteistoa, joilla ohjelmointi voidaan suorittaa. Vasemmalla on pienikäyttöinen laite, joka voidaan helposti integroida osaksi ladotun piirilevyn testauslaitteistoa (Microchip) ja oikealla laitteisto, joka on tarkoitettu komponenttirullien esiohjelmointiin (Xeltek). Luonnollisesti komponenttirullia käsittelevällä laitteistolla saavutetaan suurempi kapasiteetti.

teetti, mutta se on myös huomattavasti kalliimpi verrattuna yksittäistä mikroprosessoria jo ladotulla levyllä ohjelmoivaan laitteeseen. Sellaisten laitteiden kustannukset ovat tyypillisesti vain satoja euroja per laite.



Kuvio 11. Ohjelmointilaitte-esimerkki (Microchip, Xeltek)

5.2 Päivitystapahtuma tehtaalla konfiguroinnissa

Toisenlainen menetelmä lukon ohjelmiston päivittämiseen on suorittaa se juuri ennen vaihetta, jolloin valmis lukko lähtee tehtaalta jakelukeskukseen. Menetelmän etuna on se, että tällöin kaikki lähtevä tuotanto jo pakkauksissa ja rahdissa olevia lukuun ottamatta voidaan päivittää, jolloin kaikki lähtevä tuotanto on saman ohjelmistoversion piirissä päivityshetkestä laskettuna. Koska lukkojen valmistukseen kuuluu piirilevyn kokoaminen core-alikokoonpanoon ja sen kokoaminen aina lukkoyksiköksi saakka, on tehtaan tuotannossa aina eri vaiheissa olevia tuotteita, jolloin osassa tuotteita voi olla vanhempi ohjelmisto kuin toisissa, joihin on jo ehditty ottaa uudempi käyttöön edellisessä kappaleessa kerrotuin menetelmin. Jos halutaan että lähtevät lukot on varustettu samalla ohjelmistolla, täytyy kaikkiin jo valmistuneisiin lukkoihin suorittaa tarvittaessa päivitys.

Menetelmä toimii S50-lukon tapaisessa tuotteessa siten, että valmiin tuotteen toiminnallista NFC-rajapintaa hyödynnetään ohjelmiston päivittämiseen. Koska S50-tuoteperheen lukoissa toiminnallinen rajapinta on NFC-tyyppinen ja sen nopeus on maksimissaan vain 106 kbps, kestää ohjelmointitapahtuma huomattavasti pidempään, kuin suoraan mikroprosessoria kirjoittamalla ja lukemalla sen ohjelmointirajapinnan kautta. Pienten mikroprosessorien ohjelmointirajapinnat ovat usein sarjamuotoisia, mikä hidastaa ohjelmointia, mutta niiden väylänopeudet ovat silti useita megahertzejä, jolloin verrattuna NFC:n välityksellä tapahtuvaan ohjelmointiin tarvittava aika on usein yli kymmenen kertaa lyhyempi. Tästä syystä päivityksiä onkin syytä tehdä rinnakkaisena usealle tuotteelle samanaikaisesti, että päivitystapahtuma olisi ajallisesti tehokas.

5.3 Päivitystapahtuma varastossa

Globaaliin talouteen kuuluu olennaisena osana maailmanlaajuinen valmistus- ja logistiikkaketju. Suurin osa elektroniikan komponenteista valmistetaan Aasiassa ja elektroniikan valmistustoiminnotkin ovat hyvin pitkälti keskittyneet Aasiaan. Usein loppuasiakkaat eivät kuitenkaan ole maantieteellisesti sijoittuneet tehtaan lähelle, jolloin etäisyys ja aika tuotteen saamiseen tehtaalta jakeiluun ovat maantieteellisesti pitkiä ja ajallisesti suuria. Rahdit ovat tilanteen mukaan yhdistelmiä maantie-, rautatie-, -meri- sekä ilmakuljetuksia, jolloin lyhimmilläänkin puhutaan vähintään päivistä lähetyksen lähdöstä sen saapumiseen toimituspaikkaansa. Rahtikustannuksia pyritään luonnollisesti optimoimaan, jolloin halvempi hinta tarkoittaa tyyppillisesti hitaampaa rahtimenetelmää.

Toimitusaika tehtaalta logistiikkakeskukseen voi aiheuttaa tilanteen, jossa tehdas on valmistanut ja toimittanut uusimmalla ohjelmistolla olevia lukkoja tietystä päivästä lähtien, mutta vielä matkalla olevat, tai jo logistiikkakeskuksessa olevat lukot sisältävät eri ohjelmiston. Tällöin ollaan tilanteessa, jossa jo varastoidut ja myyntiä odottavat lukot tarvitsevat päivityksen, mikäli ne halutaan toimittaa uusimmalla ohjelmistolla varustettuna. Varastolla mikä tahansa tapahtuva toimitus tarkoittaa keräilyä tilauksen tarpeita vastaavasti. Tilauksen saavuttua asiakkaalta, sen sisältöä vastaavat tuotteet kerätään ja valmistellaan lähetettäväksi. Tällöin lukon tapauksessa päivityksen täytyy tapahtua joko keräilyn yhteydessä tai ennakkoon päivittämällä koko varastopaikalla oleva artikkeli määrä, jolloin lukot ovat valmiiksi päivitettyjä, kun keräily asiakkaan toimitukseen tapahtuu. Päivitysmenetelmä on vastaava kuin edellä kuvattu päivitys tehtaalla tapahtuvassa konfiguroinnissa,

sillä erotuksella, että lukot täytyvät käydä erikseen noutamassa päivitettäviksi sekä purkaa varastopakkauksistaan. Mikäli lukko ei lähde välittömästi toimitettavaksi jälleenmyyjille, on edessä vielä lukon varastointi takaisin varastopaikalleen, mikä lisää tapahtumaan kuluva aikaa.

5.4 Päivitys asennusta valmistellessa tai loppukäyttäjän toimesta

S50-lukkojen myynti tapahtuu jälleenmyyjien toimesta. Tällöin jälleenmyyjät ovat ostaneet lukkoja, joita he myyvät loppuasiakkailleen. Jälleenmyyjinä toimivat lukitusalan liikkeet, jotka yleensä järjestävät myös lukkojen asennuksen asiakkaiden kohteisiin. Ennen asennusta on mahdollista suorittaa lukon ohjelmiston päivitys erillisellä ohjelmointilaitteella, joka ohjelmoi lukkoon valitun ohjelmiston. Samassa yhteydessä voidaan ohjelmoida lukkoon tarvittavat pääsyoikeudet. Päivitys tapahtuu erillistä ohjelmointilaitteen käyttöliittymää käyttämällä NFC-rajapinnan yli. Asennus voi koskea yksittäistä ovea, suurempaa yksittäistä kohdetta kuten koulukiinteistöä tai useampaa kiinteistöä, jotka voivat sijaita kaukanakin toisistaan.

Loppukäyttäjät voivat päivittää halutessaan lukon ohjelmiston itse erillisen S50-mobiiliapplikaation avulla. Puhelimen ja S50-mobiiliapplikaation avulla lukkoa käytettäessä on mahdollista päivittää lukkoon tarvittaessa uusi ohjelmisto samaan tapaan, kuin esimerkiksi uutta puhelinta käyttöönotettaessa. Käyttöönoton yhteydessä puhelin yleensä ilmoittaa, että siihen on saatavana uudempi ohjelmisto. Jos lukkoon on saatavilla usin ohjelmisto, loppukäyttäjä voi halutessaan antaa S50-mobiiliapplikaation ohjelmoida lukon uudelleen puhelimen NFC-rajapintaa hyödyntämällä. Edellä mainituissa tapauksissa päivitysviive on kaikkein lyhyin ohjelmiston julkaisusta käyttöön, sillä se saadaan loppukäyttäjälle parhaassa tapauksessa välittömästi, kun uusi ohjelmistoversio on julkaistu.

5.5 Muut päivitykseen vaikuttavat asiat

Päivityksen tekeminen ei ole vain sen suorittamispaikasta tai tuotantovaiheesta riippuvainen toimenpide, vaan käytettävän menetelmän on oltava soveltuva esimerkiksi myös tietoturvallisuuden sekä ergonomian suhteen. Tietoturvan merkitystä ei voi nykyään korostaa liikaa, ja etenkin turvallisuusalalla, jonka osa-alueisiin lukitustekniikkakin kuuluu, se on suorastaan elinehto. Aleksi Tiira tutki diplomityössään vuonna 2017 ihmisten suhtautumista älylukkoihin, ja tuli siinä mm. johtopäätökseen, jossa todettiin, että ihmisten kiinnostus on suurta, mutta silti enemmistö työikäisistä

suomalaisista suhtautuu älylukkoihin epäillen, ovat uhkakuvat (turvallisuus; kirjoittajan huomio) sitten tosia tai ei (Tiira 2017, 94). Itse päivitystapahtumaan liittyvä ergonomia on myös tärkeää huomioida, sillä esimerkiksi Suomessa väestön ikääntyessä, on suuri halu pidentää ihmisten työuria, ja vastaavasti erilaiset fyysistä jaksamista parantavat toimenpiteet voivat olla helpompia toteuttaa tehtailla tai logistiikkakeskuksissa esimerkiksi automaation avulla.

5.5.1 Tietoturvallisuus

Älylukon tapauksessa luonnollisesti pahin mahdollinen tapahtuma olisi sellainen, jossa lukko ei enää suorittaisi normaalia pääsynhallintaa kohteeseen ja tämä on myös *virheettömyyden* uhakuva, jonka kuluttajat toivat esiin suhtautumisessa älylukkoihin Tiiran diplomityössä (Tiira 2017, 86). Kuten aiemmin todettiin, on lukon ohjelmisto päivitettävissä joko muistin sisältävää mikroprosessoria suoraan ohjelmoimalla tai NFC-rajapinnan yli. Suoraan ohjelmointi on mahdollista vain silloin kuin mikroprosessorille on galvaaninen kontakti, mikä rajoittaa menetelmän käytön vain piirilevyn valmistus- ja testausvaiheeseen. Myöhemmät tuotantovaiheet eivät enää mahdollista galvaanisen kontaktin käyttöä, koska mikroprosessorin sisältävä piirilevy paketoidaan mekaniikan sisään. Sen sijaan käyttäjärajapinta eli NFC-yhteys on käytettävissä, kunhan lukko on koottu valmiiksi coren ja nupin osalta.

NFC-yhteyden yli tapahtuvaa kommunikaatiota pidetään yleisesti varsin turvallisena, sillä yhteyden kantomatka on rajoitettu käytännössä muutamaan senttimetriin (Coskun ym. 2012, 70) pois lukien standardin ISO / IEC 18092 mukaiset sovellukset, joissa käyttöetäisyydet ovat hieman pidemmät. Lyhyt kantama heikentää mahdollisuuksia päästä tiedonvaihdon väliin esimerkiksi tuomalla toinen laite kommunikointitapahtuman ajaksi lukemaan ja kirjoittamaan välitettävää tietoa avaimelta lukolle. NFC-rajapinta on lukossa jatkuvassa käytössä normaaliin operointiin ja se on täten kenen tahansa fyysisen pääsyn lukolle omaavan henkilön käytettävissä. Avaus-/lukitustapahtumien hallinnan lisäksi NFC-rajapintaa voidaan käyttää lukoissa sen ohjelmiston päivittämiseen, jolloin käytännössä riski liittyy siihen, onko päivitettävä ohjelmisto virallinen vai jollain tavalla haitallisesti muokattu. Muokatulla ohjelmaversiolla voitaisiin mahdollistaa toimenpiteitä, jotka eivät normaalisti olisi sallittuja, tai sillä voitaisiin haitata ja estää normaaleja toimintoja (Ackerman 2017, 382).

S50-lukolle ohjelmitava päivitettävä ohjelmisto on salattu ja sen siirtämiseen ensinnäkin ohjelmoivalle laitteelle ja toiseksi ohjelmoivalta laitteelta ohjelmoitavalle lukolle liittyy monia toimenpiteitä, joilla tapahtuman tietoturvasuutta voidaan parantaa. Näiden toimenpiteiden yksityiskohdat ovat luottamuksellisia, eivätkä ne varsinaisesti liity työn sisältöön, joten niiden kuvausta ei ole sisällytetty opinnäytetyöhön mukaan. Käytännössä NFC-rajapinnan käyttämiseen liittyviä tietoturvariskejä voidaan pienentää toteuttamalla suojattu kanava tiedonsiirron ajaksi (Haselsteiner, E. & Breitfuss, K. 2009). Ohjelmiston siirron jälkeiset toimenpiteet, kuten uuden ohjelmistoversion käyttöönotto ja korvaaminen lukossa esimerkiksi tahallisen muuntelun varalta ovat myös suojattu erilaisin varmistuksin ja toimenpitein.

5.5.2 Ergonomia

Kansantaloudellisesti yksi merkittävimmistä haasteista Suomessa liittyy väestön ikääntymiseen ja työurien pidentämistavoitteeseen. Väestön pidentyvä elinikä ja ikääntymisen kustannukset pitäisi pystyä kattamaan jatkossakin pidentämällä työuria. Tutkija Noora Järnefelt toteaa toimittamansa suomalaisia työoloja ja työuria tarkastelevassa eläketurvakeskuksen tutkimuskokoelmassa (2016 15,21), että paremmat ergonomiset järjestelyt ehkäisisivät työkyvyttömyyttä ja mahdollistaisivat jatkamisen työelämässä pidempään. Tästä syystä myös päivitystapahtuman ergonomian huomioiminen on yksi tärkeä tekijä työvaiheen parantamisessa ja syytä huomioida sitä tutkittaessa.

Päivitystapahtuma nykyisellään ei ole erityisen ergonominen, sillä se on täysin manuaalinen toimenpide. Se pitää sisällään lukot sisältävän toimituspakkauksen poimimisen varastohyllystä, laatikon siirtämisen päivityspaikkaan, lukkojen purkamisen pakkauksistaan ja niiden päivittämisen. Päivittäminen vaatii valppautta ja tarkkaavaisuutta. Päivityksen valvominen on teknisesti hyvin yksinkertainen ja yksitoikkoinen suorite, mikä on täten erittäin altis inhimilliselle virheelle. Päivityksen jälkeen lukot pakataan uudelleen pakkauksiinsa, kerätään varastolaatikkoon, jonka jälkeen laatikko siirretään paikalleen varastohyllyyn odottamaan keräilyä tilauksiin.

Laatikkojen painot vaihtelevat suuresti. Laatikot tulevat tehtailta lavapakattuina, jolloin yhdellä lavalla on aina useampi laatikko. Esimerkiksi painavimpien lukkojen eli riippulukkojen osalta laatikossa voi olla jopa 40 lukkoa, jolloin yksittäisen laatikon paino on 25 kg. Lukkojen määrä laatikoissa voi olla suurempikin riippuen lukkotyypistä, mutta on selvää, että laatikoiden jatkuva siirtely ja

nostelu on fyysisesti raskasta. Oma vaiheensa on lukkojen poimiminen laatikoistaan päivitystä varten.

5.5.3 Lean-hukkaperiaate

Tuotannossa tapahtuvaan toimintaan liitetään usein hukkaperiaate. Autoteollisuuden pioneeri Henry Ford määritteli, että ”mikäli toiminta ei lisää arvoa, se on hukkaa” (Nicholas 2018, 61). Määritelmänsä mukaan keskittyminen arvoa lisäävien toimintojen suorittamiseen ja hukan minimointiin, johtaa tuotannon tehostumiseen, sillä tuotteen valmistamiseen liittyvä työ on hukan minimoituessa yhä enemmän puhtaasti arvoa lisäävää toimintaa, ja resurssit voidaan suunnata kyseisiin toimintoihin sen sijaan, että niitä kulutettaisiin myös muihin. Nykyaikaisen autoteollisuuden ja Fordin työn jatkokehittäjä, sekä Lean-tuotannon pioneeriyritys Toyota on taas määritellyt hukan siten, että ”se on kaikki poikkeama minimimäärästä materiaalia, laitteita, osia, tilaa tai aikaa, mikä on tarpeellista tuotteen arvon lisäämiseksi” (Nicholas 2018, 64). Määritelmänsä mukaan toiminnassa yritetään pyrkiä arvoa lisääviin toimintoihin siten, että vain tarpeellinen tehdään ja kaikki ylimääräinen olisi karsittu. Niin ikään Toyotallekin työskennellyt 5S-menetelmän kehittäjä Hiroyuki Hirano pelkisti vastaavasti hukan ”kaikeksi, mikä ei ole ehdottoman olennaista” (Santos, Wysk & Torres 2006, 7). Yhteisenä elementtinä kaikissa edellä mainituissa määritelmissä onkin hukan tunnistaminen erottamalla se olennaisesta, ja sen eliminointi, mikä on Lean-valmistuksen kantava periaate. Bouchardin (2017, 54) mukaan hukka voidaan jakaa seitsemään (kahdeksaan) eri alalajiin:

- viallisten valmistaminen
- ylituotannon tai yliprosessoinnin tekeminen
- kaikenlainen odottelu
- materiaalin tai tuotteiden kuljetukset
- varastointi ja välivarastointi
- turha siirtely tai liike
- tarpeeton käsittely
- taitojen hyödyntämättä jättäminen

Kahdeksatta alalajia - taitojen hyödyntämättä jättämistä - ei ole alun perin ollut mukana Toyotan määrittelyssä, vaan se on ilmaantunut kirjallisuuteen tämän jälkeen. Nicholaksen (2018, 66) mukaan taitojen hyödyntämättä jättämisenä voi pitää esimerkiksi sitä, että ihmisen kyvykkyyttä kehittää osaamistaan ja suorittaa monimutkaisempia tehtäviä ei mahdollisteta, vaan teetetään ihmisvoimin tehtäviä, joita koneetkin voisivat suorittaa.

Päivitystapahtuman optimointia voi käsitellä myös hukan minimoimiseen näkökulmasta riippumatta prosessin vaiheesta tai menetelmästä, missä se tehdään. Esimerkiksi sen sijaan, että päivitys tehtäisiin purkamalla lukot laatikoistaan logistiikkakeskuksessa, voisi päivitys olla mahdollista oman pakkauksensa läpi, jolloin lukkojen turhaa siirtelyä ja pakkausten aukomista päivitystä varten voitaisiin minimoida. Tämä toki edellyttää, että pakkaus mahdollistaa päivityksen sitä avaamatta. Myös tekemällä päivitystyö koneen avulla ihmisen sijaan vähentää taitojen hyödyntämättä jättämisen hukkaa, sillä yksinkertaisen mutta monotonisen päivitysvaiheen sijaan ihminen voi samaan aikaan tehdä jotain vaativampaa työvaihetta. Edelleen sen sijaan, että toimitettu komponenttikela ohjelmoidaan erillisellä laitteistolla kelaan jo saavuttua, ohjelmointi voitaisiin tehdä jo piiriä pakattaessa kelaan sen toimittajalla, jolloin turha siirtely ja varastointi jäisi työvaiheista pois.

6 Nykyinen päivitysmalli ja käyttäjien kokemukset

Lukkojen ohjelmiston päivittämiseen liittyy nykyisellään esivalmisteluja ja paljon manuaalista toimintaa. Se, miten työn suorittajat kokevat manuaalisen päivityksen parantamisen, on olennaisessa osassa, sillä päivitystapahtuman kehittämällä on vaikutusta heidän työtehtäviinsä. Toisaalta työnjohto on vastuussa päivitysten teettämisestä, ajoittamisesta sekä suunnittelusta, ja päivityksen sujuvoittaminen vapauttaisi työntekijöitä muihin tehtäviin päivitysten ajaksi. Hanna Vilkkä tähdentää kirjassaan Tutki ja kehitä (2021, 109) tärkeäksi kriteeriksi haastateltavien valinnasta asiantuntemuksen tai omakohtaisen kokemuksen omaamisen tutkittavasta aiheesta. Edellä mainituiden syitten takia työssä päädyttiin haastattelemaan kahden ryhmän edustajia: työnjohtoa ja operaatoreita.

6.1 Kyselytutkimus

Kyselytutkimus toteutettiin haastatteluina työpaikalla kahdessa eri vaiheessa. Koska päivitystapahtumaa suunnittelevia ja suorittavia henkilöitä on varsin pieni joukko, päädyttiin suuntaamaan haastattelut heihin harkinnanvaraisen näytteen periaatteella. Hirsjärvi ja Hurme esittävät teoksessaan Tutkimushaastattelu – Teemahaastattelun teoria ja käytäntö (2022, 58) harkinnanvaraisen näytteen käyttämisen syyksi tilastollisten yleistysten löytämisen sijaan pyrkimyksen ymmärtää tapahtumaa syvällisemmin ja etsiä uusia näkökulmia tapahtumaan. Menetelmä sopi päivitystapahtuman tutkimiseen mainiosti, koska suorittajia on vähän, eikä vähäisen määrän takia haastattelujen tuloksista voi vetää tilastollisesti sellaisia merkittäviä päätelmiä, joita suuremman otosjoukon käyttäminen mahdollistaisi.

Haastateltavien joukkoon valittiin edustajat sekä työvaihetta työnjohdollisesti suunnittelevien (haastattelu 1) että vaihetta suorittavien henkilöiden tahoilta (haastattelu 2). Tämä siksi, että saataisiin näkemystä vaiheen kuormittavuuden osalta ja mahdollisesti myös siitä, millaisia vaikutuksia päivitystapahtumalla on muihin haastateltavien henkilöiden suorittamiin työtehtäviin. Koska työtehtävät eroavat olennaisesti toisistaan ja haluttiin saada kaikkien ääni kuuluviin, päätettiin tehdä haastattelut kahdessa osassa.

Suuren suorittajamäärän tilastollisen näkemysvahvistamisen sijaan pienemmälläkin määrällä haastateltavilla henkilöillä on arvokasta omakohtaista näkemystä sekä päivityksen suorittamisesta että

päivityksen teettämisen vaikutuksista muihin työtehtäviin. Haastattelututkimuksen eduiksi esimerkiksi kyselyyn verrattuna kirjoittajat mainitsevat mm. mahdollisuuden selventää vastauksia sekä saada syventäviä tietoja aiheesta (Hirsjärvi & Hurme 2022, 32). Tässä tutkimuskohteessa nykyisen menetelmän ongelmakohdat olivat ilmeisiä ja pääosin ainakin osin selvillä ennen haastatteluja, mutta koska tutkimuksen tekijällä ei ollut omakohtaista kokemusta päivitystapahtumasta laajassa mittakaavassa, oli tärkeää saada selvyyttä ja syventävää tietoa haastatteluissa siitä, millaiseksi haastateltavat kokevat kohteena olevat osa-alueet. Haastattelujen runko on esitetty liitteessä 1.

6.2 Prosessi

Haastattelujen pohjalta muodostui tarkka kuva päivitystapahtuman tehtävistä. Päivityksen läpikäyvät lukot kulkevat käytännössä seuraavien työvaiheiden läpi:

- Engineering Change Order (muutostiedote) päivitystarpeesta
- Päivitystyön ajoituksen sekä resurssoinnin työnjohdollinen suunnittelu
- Työtilaus päivitystyöstä
- Lukkojen keräily varastopaikoilta työpisteeseen
- Lukon purku toimituspakkauksestaan
- Ohjelmistopäivitys
- Päivityksen versiotarkistus
- Toimenpiteen kirjaaminen tuotannon ohjausjärjestelmään
- Lukon pakkaus takaisin toimituspakkaukseen
- Lukkojen siirto varastopaikoille

6.3 Kehitettäväksi koettavat toiminnot

Työnjohdon haastattelun (Työnjohdon haastattelu 2023) perusteella päivityksen suunnittelijoiden suurimmat huolenaiheet liittyivät siihen, että päivitykset sitovat työvoimaa ja ne ovat kestoaltaan välillä pitkäaikaisia. Päivitysten suorittaminen on pois muusta tekemisestä, johon henkilöt ovat normaalisti varattuja. Ohjelmistopäivityksiä tulee jaksoittain ja niihin liittyy epävarmuustekijöitä etenkin seurannan suhteen siitä, missä vaiheessa päivitykset ovat menossa. Päivitysten etenemän

tilannekuva on tärkeää toimituksen parissa työskenteleville henkilöille, sillä he seuraavat myyntiä sekä lukkojen määrää varastossa, että toimituksia voidaan tehdä ajallaan.

Myös lukkojen liikuttelu koettiin ongelmaksi, sillä päivitettävät lukot siirrettään yleensä erillisille varastopaikoille, etteivät ne sekoitu vahingossakaan toimitettaviin. Liikuttelu ei ollut päivitystyötä suorittavien henkilöiden (Palokangas, Saari & Seppälä 2023) haastattelun perusteella vielä muodostunut erityiseksi ongelmaksi ergonomian osalta, joskin merkkejä tästä oli havaittu. Siirtely ja nostaminen oli ajoittain koettu raskaaksi ja fyysisesti rasittavaksi toimenpiteeksi. Painavimpien pakkausten siirtelyä on nykyään minimoitu siten, että lukkopakkaukset ovat lavoilla, joita voidaan siirrellä haarukkakuljettimin. Laatikoiden nostelu on sitä vastoin väistämätöntä, sillä lukot ovat monipakkauksissa lavoilla, jolloin ne täytyy nostaa lavalta yksi pakkaus kerrallaan päivitystä varten. Päivitykset voivat koskea pahimmillaan tuhansia lukkoja, eikä niitä ole mahdollista suorittaa toimitusaikatavoitteiden takia siinä vaiheessa, kun lukot ovat menossa toimituksiin, vaan päivitykset täytyy suorittaa valmiiksi ennen keräilyä.

Päivityksen suorittaminen koettiin laadullisesti toimivaksi ja hyvin suoraviivaiseksi lukkojen osalta verrattuna esimerkiksi toisen tuotetyypin eli väläohjaintuotteiden päivittämiseen. Tilankäytön optimointi on suotavaa päivitystyön ajaksi, sillä logistiikkavarastolla ei ole myöskään juurikaan ylimääräistä tilaa käytettävissään. Tällöin olisi hyödyllistä, että nykyistä varastotilaa voisi hyödyntää jatkossakin tehokkaasti muihin toimenpiteisiin päivitysten ulkopuolella. (Työnjohdon haastattelu 2023).

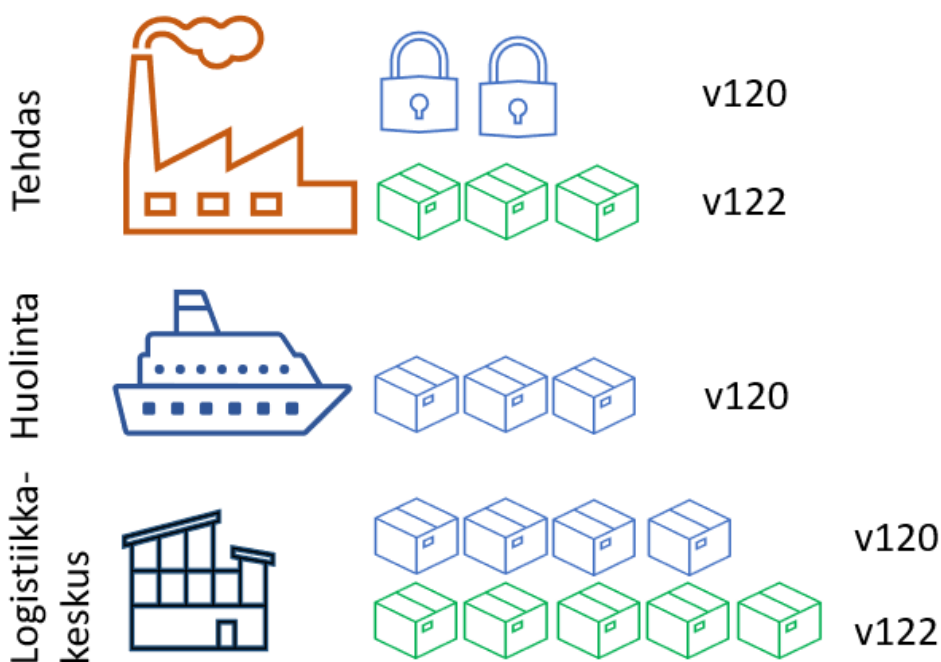
Lukkojen päivitykseen liittyy erityisesti Palokankaan ja muiden (2023) haastattelun perusteella myös lisätöyövaiheita, kuten ohjelmistoversion päivittämisen todentaminen sekä tapahtuman kirjaus tietojärjestelmiin. Hirsjärven ja Hurmeen (2022) esittämä näkemys teemahaastattelun eduista uusien näkökulmien löytämiseen osoittautui hyödylliseksi, sillä päivitystapahtumaan liittyvät lisätoiminnot ovatkin vaihetta tekevien haasteltavien mukaan varsinaista päivitysvaihetta työllistävää, eikä näitä vaiheita pidetty ennakkoon kovinkaan merkittävänä. Päivitystapahtuman onnistumisen todentaminen ja päivitysvaiheen jälkeiset toiminnot kuten lukkojen uudelleenpakkaus myyntipakkauksina toimiviin sisäpakkauksiin vaativat huolellisuutta ja vievät työaikaa. Esimerkiksi lukkopakkaukset ovat sarjanumerokohtaisia, jolloin päivitetyn lukon pitää päätyä samaan pakkaukseen, josta se on päivitykseen otettukin. Mikäli päivittäminen voitaisiin tehdä automatisoidusti

pakkauksen ulkopuolelta sitä avaamatta, ei kyseisiä vaiheita tarvittaisi ollenkaan. Molempien edellä mainittujen haastattelujen (Työnjohdon haastattelu 2023, Palokangas ym. 2023) osalta unelmatilaksi koettiin se, että joko päivittämistä ei tarvittaisi ollenkaan, tai että se voitaisiin tehdä tarvittaessa asentamisen tai käyttöönoton yhteydessä.

7 Automatisoitu päivitys

Käytännön syistä opinnäytetyössä päädyttiin tutkimaan vaihtoehtoa logistiikkakeskukseen jo toimitettujen lukkojen ohjelmiston päivittämisestä. Kuten aiemmin todettiin, että lukkojen logistinen ketju valmistuksesta varastoon on ajallisesti pitkä, on helpointa koordinoida lukkojen ohjelmiston päivitys tehtäväksi yhdessä paikassa. Tällöin kaikki lukot päivitetään tarvittaessa uusimpaan ohjelmistoon, eli ohjelmistoversion vaihtuessa mahdollisesti myös jo valmistuksen ohjelmointivaiheen ohittaneet lukot voidaan päivittää ennen niiden lähettämistä loppukäyttäjilleen (kuvio12, v122). Tällöin päivitys koskee vain niitä lukkoja, joissa on vanhempi ohjelmistoversio kuin tuotantoon valmistusvaihetta varten käyttöönotettu.

Kaikki lukot, jotka on valmistettu viimeisimmällä ohjelmistoversiolla valmistavan tehtaan toimesta (kuvio12, v122), voidaan toimittaa ilman ylimääräistä päivittämistä, mutta jo varastossa, mahdollisesti matkalla tai tehtaalta vielä valmistumattomat, esimerkiksi korjausprosessissa olevat lukot (kuvio 12, v120), vaativat päivityksen. Tässä vaihtoehdossa loppukäyttäjän tai asennusyrityksen ei tarvitse tehdä päivitystä, mikä säästää loppukäyttäjän ja asennusyrityksen vaivaa sekä aikaa. Kuviossa 12 on kuvitteellinen esimerkki toimitusketjun eri vaiheissa olevista lukoista hypoteettisen ohjelmistoversion (joko v120, valmistuksessa olevat, tai uudempi v122, paketeissa olevat) mukaan.



Kuvio 12. Lukkojen ohjelmistoversiot toimitusketjun eri vaiheissa

7.1 Automaation tai robotin hyödyntäminen

Logistiikkakeskuksessa tapahtuva päivitys on automatisoitavissa eri menetelmin. Päivityksen lähtötilanteena on logistiikkakeskukseen saapunut pakkaus ja päivityslaitteisto antennineen. Koska päivitys tapahtuu NFC-rajapinnan yli, täytyy joko lukot sisältävä pakkaus siirtää päivityslaitteiston antennin läheisyyteen tai liikuttaa antennia pakkauksessa olevien lukkojen nuppiosan läheisyyteen, jolloin voidaan muodostaa yhteys laitteiston ja lukon välille. Oman haasteensa aiheuttaa lukkojen pakkaussijoittelu pakkauksen sisään, mikä nykyisellä pakkauksella voi olla este päivityksen tekemiselle ilman lukkojen poistamista pakkauksesta, sillä etäisyys lukon nuppiosan antennilta päivityslaitteen antennille voi olla liian suuri. Eri mallisille lukoille on myös erilaiset pakkaukset, joissa lukkojen määrä vaihtelee. Päivityslaitteiston tulisi pystyä mukautumaan erilaisille pakkauksille.

Päivityslaitteistoa suunniteltaessa huomioitiin kolme erilaista vaihtoehtoa: automaatiolinja, teollisuusrobotti sekä yhteistyörobotti. Nämä kolme vaihtoehtoa ovat esitelty lyhyesti alla olevissa kappaleissa.

7.1.1 Automaatiolinja

Teolliseen tuotantoon liittyy yleensä jonkinlainen automaatio. Nykypäivänä robotiikka on tullut erilaisten teknologisten innovaatioiden myötä yleisemmäksi ja helpommaksi toteuttaa, mutta perinteiselle automaatiolle on edelleen vahva tarve. Automaatiolinjoilla tavoitellaan parempaa tehokkuutta manuaaliseen toimintaan verrattuna ja ne hyvin usein suunnitellaankin toteuttamaan yhtä tiettyä tehtävää suurille kappalemäärille. Linjat suunnitellaan tyypillisesti kiinteiksi ja niiden muutokset esimerkiksi uusille tuotteille vaativat usein aikaa sekä erilaisia komponentteja. Toisaalta komponentit ovat suuren kilpailun vuoksi saatavilla usealta eri toimittajalta ja ovat usein merkittävästi halvempia kuin esimerkiksi mukautuvammat yhteistyörobotit tai teollisuusrobotit. Automaatiolinjat koetaan melko turvallisiksi käyttää, mutta liikkuvia osia sisältävinä niiden täytyy olla varustettu erilaisilla turvamekanismeilla, ettei automaatiolinjalla työskentelevillä henkilöillä olisi loukkaantumisen vaaraa.

Vahvasti yksinkertaistettuna lukkojen ohjelmointiin tarvittavassa linjassa tulisi olla kuljetin lukot sisältävän pakkauksen liikuttamiseen ja kääntämiseen, tunnistimet pakkauksen tarkan paikan määrittämiseen, sekä mekanismi, jolla lukon ohjelmointiin käytettävää antennia voitaisiin liikutella

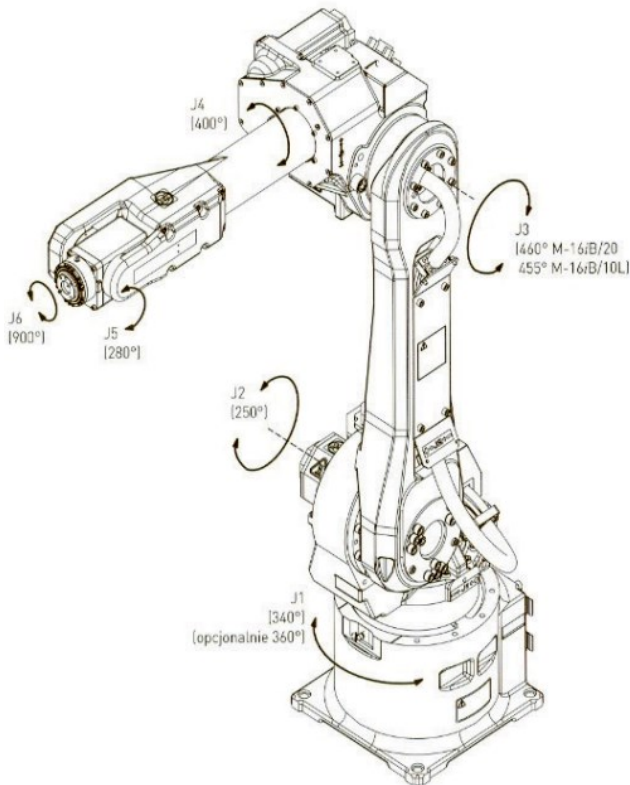
pakkauksen ulkopuolella päivityksen kohteena olevan lukon kohdalle. Tämä lisäksi tarvittaisiin jonkinlaiset merkkivalot toimintakunnon ilmaisemista varten sekä ohjain kuljettimeen siirtämään mahdollisesti päivityksessä epäonnistuneen lukon sisältävän pakkauksen erilleen onnistuneesti päivitetystä. Pakkauksen tarkan paikan määrittäminen on olennaista siksi, että päivitykseen käytettävä antenni saataisiin riittävän lähelle lukkoa. Pakkausta liikuttavan kuljettimen täytyy olla pysähdyksissä päivitystapahtuman ajan, etteivät lukon ja päivityslaitteen antennit poistu toistensa vaikutuspiiristä.

7.1.2 Teollisuusrobotti

Robotit voidaan jakaa kuuteen alaluokkaan niiden rakenteen mukaan. Olszewskin artikkelin (Olszewski 2020) mukaan perinteinen käsivarsimallinen teollisuusrobotti on niistä edelleen yleisin. Perinteiset teollisuusrobotit ovat kehittyneet 1960-luvulta nykypäivään siten, että niitä on saatavana minikokoisista alle kilon massoja käsittelevistä pöytäroboteista aina useamman tonnin nostokyvyn omaaviin mammutteihin (Olszewski 2020, 6). Teollisuusrobottien etuina ovat etenkin suurempien hyötykuormien käsittelykyky, suurempi liikenopeus sekä liikkeen tarkkuus, mitkä ovat seurausta raskaammasta ja vankemmasta rakenteesta (Owen-Hill 2022; Olszewski 2020, 10). Muita etenkin teollisuusrobotteihin liitettyjä ominaisuuksia ovat kyvykyys työskennellä ympäristössä, joka ei ole ihmiselle riskitön tai turvallinen, tai on robotille vaativa.

Teollisuusrobotteja ei ole lähtökohtaisesti suunniteltu toimimaan yhdessä ihmisen kanssa, vaan niiden pääasiallisina käyttöpaikkoina on alun perin ollut autoteollisuus, jossa valmistusmäärät ovat suuria ja mallisarjojen elinikä pitkäkö (Bouchard 2017, 25). Kappalemääräisesti suuret ja kooltaan isokokoiset sarjat vaativat tehokkuutta etenkin liikenopeuden sekä suuren toiminta-alueen osalta. Nämä luovat tarpeen, että robotit toimivat yleensä erilaisten fyysisten turvamekanismien rajamaana eristetyillä alueilla. Robottien liikenopeus voi olla jopa 10 m/s, mikä yhdistettynä jopa metrien pituiseen liikealueeseen painavalla kuormalla, asettaa erityisiä vaatimuksia turvallisuudelle (Manufacturer's Guide to Robotics 2019). Koska robottien toiminta-alueilla ei sallita ihmisiä, on robottien rakenne usein sellainen, että niissä ei ole ollut erityistä tarvetta kiinnittää huomiota siihen, millaisia vaikutuksia mahdollisilla törmäyksillä ihmisten kanssa voisi olla. Tarvittavat suojamekanismit ovat yleensä esimerkiksi suojahäkkeitä sekä valoverhoin toteutettuja tunnistimia, joiden

laukeaminen aiheuttaa robotin toiminnan välittömän pysähtymisen niin pitkään, kunnes laukeamiseen johtanut syy on poistettu. Perinteisen teollisuusrobotin esimerkkirakenne on esitelty kuviossa 13 (Olszewski 2020, 6).



Kuvio 13. Perinteinen teollisuusrobotti

Vaikkakaan päivitysovelluksessa painavan hyötykuorman siirtokyky tai liikenopeus ei ole lähelläkään teollisuusrobottien suorituskyvyn maksimia, niin logistiikkakeskuksessa tämä tarkoittaisi sitä, että robotille pitäisi rakentaa erillinen suoja-alue, jossa robotti voisi työskennellä ilman riskiä siitä, että ihminen osuu samalle alueelle. Ottaen huomioon myös sen, että ohjelmistoversioiden päivittäminen ei ole jokapäiväistä toimintaa, voi tilanvaraus muodostua rajoittavaksi tekijäksi. Olszewski mainitseeikin kustannussyistä toimintamahdollisuuden samassa tilassa ihmisten kanssa erääksi kehityssuunnaksi, mikä on ohjannut automaatiota teollisuusrobottien käytöstä yhteistyörobottien eli käyttöön (2020, 9). Käyttöönotto vaatii myös robottisovelluksen ohjelmoinnin. Teollisuusrobottien ohjelmointi on tyypillisesti enemmän asiantuntemusta ja aikaa vaativaa yhteistyörobottien ohjelmointiin verrattuna, ja teollisuusrobottisovellukset ovatkin suunniteltu enemmän kiinteisiin asennuksiin ja vain tiettyä tehtävää varten.

Teollisuusrobotilla tapahtuva lukkojen ohjelmistopäivitys vaatisi eristetyn suoja-alueen robotille ja lukkopakkausten kuljettamisen alueelle, joko kuljettimella tai ihmisen tuomana päivittämistä varten. Robotti olisi sopivalla tarttujalla varustettuna kyvykäs kääntämään pakettia päivityksen edellyttämään asentoon päivityslaitteen antenniyhteyttä varten ja roboteista yleisesti löytyvät I/O-linjat olisivat käytettävissä toiminnan ilmaisemiseen, sekä ohjaamaan pakettikuljetinta.

7.1.3 Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotit eli cobotit tai yhteistoimintarobotit, ovat suunniteltu toimimaan yhdessä ihmisten kanssa. Ne ovat tyypillisesti kevytrakenteisempia kuin teollisuusrobotit ja niissä on sisäänrakennettuina turvamekanismeja, jotka rajoittavat liikenopeutta ja -voimaa ihmisen läheisyydessä toimimiseen, ja tarvittaessa ne pysähtyvät kosketuksesta. Cobottien mekaaninen rakenne on usein sellainen, että jopa osuessaan ihmiseen, vahingon suuruus on minimoitu esimerkiksi materiaalien pehmeämmän rakenteen ja pyöristysten ansiosta. (Olszewski 2020, 9; A guide to collaborative robot safety. Strategies for ensuring safe operation in collaborative applications 2019, 4). Järjestelmäintegraatiota tekevä Machinetool Oy toteaa esittelymateriaalissaan cobottien yhden suurimmista eduista olevan nimenomaan siinä, että yleensä erillisiä suoja-alueita ei tarvita, jolloin tilankäyttö on tehokasta (Tehosta tuotantoa yhteistyöroboteilla N.d., 6). On huomattava, että cobotit ovat kuitenkin koneita, joten niille on tehtävä riskikartoitukset käyttöturvallisuuden osalta, vaikka toiminta ihmisen läheisyydessä on tehty mahdolliseksi niin pitkälle kuin mahdollista. Cobottien muina etuina mainitaan yleisesti nopea käyttöönotto, ohjelmoinnin helppous sekä joustava muunneltavuus erilaisiin sovelluksiin. Esimerkki yhteistyörobotista on esitelty kuviossa 14, josta käy ilmi cobotin ominaispiirteenä osien pyöristykset verrattuna kuvion 13 teollisuusrobottiin (TM5-700 2023).



Kuvio 14. Yhteistyörobotti

Vertailtaessa teollisuusrobotteja cobotteihin on muistettava, että sovelluskohteet ja sarjojen suuruudet vaihtelevat. Siinä missä teollisuusrobotit ovat suunniteltu teollisiin ympäristöihin, raskaampiin sovelluksiin ja suurempiin sarjoihin, on cobottien ominainen toimintaympäristö ihmisten parissa ja etenkin kevyemmissä ihmisen suorittamissa tehtävissä. Teolliset ympäristöt voivat sitä vastoin olla lämpötila-alueiltaan vaativampia, ja usein esimerkiksi pölyisiä, joissa ihmisten on hankalaa työskennellä. Sama rajoite koskee osin cobotteja ja etenkin toiminta pölyisessä ympäristössä voi vaatia jonkinasteista suojausta, mitä esimerkiksi teollisuusrobotit eivät välttämättä tarvitse. Cobottien heikkoudet tulevat esiin myös niiden hitaampina toimintanopeuksina: vaikka toiminta voisi olla teknisesti nopeaa, rajoittaa ihmisten läsnäolo liikenopeudet automaattisesti alhaisiksi. Esimerkiksi kuvion 14 Techman TM5-700 mallin tapauksessa valmistajan mukaan maksiminopeus on 4 m/s ja tyypillinen nopeus 1,1 m/s. Saman cobottimallin datalehden (TM5-700 2023) mukaan nostokyky, ulottuvuus sekä liikkeiden tarkkuus (6 kg, 700 mm, 0,05 mm) ovat huomattavasti vaatimattomampia kuin teollisuusroboteilla, joskin kyseinen cobotti edustaa esimerkkinä pienehköä laitetta, ja Olszevskin mukaan nekin ovat usein riittäviä hyvin monenlaisiin tehtäviin (2020, 10).

Yhteistyörobotin avulla tehtynä päivityksessä voitaisiin välttää kustannuksia kasvattavana tekijänä erilliset suoja-alueet, eikä varsinaisesti muunlaisia järjestelyjä lukuun ottamatta cobotin tekemää

paketin kääntelyä tai antennin liikuttamista pakettia vasten tarvitsisi tehdä, joten ratkaisu vaikuttaisi hyvin suoraviivaiselta verrattuna automaatiopohjaiseen ratkaisuun tai teollisuusrobottiin. Päivitystapahtuman satunnaisuus ja cobotin soveltaminen muina aikoina erilaisiin tehtäviin puoltaisi tätä ratkaisumallia. Koska cobotille on tunnistettu yrityksessä jo muunlaisiakin tehtäviä, on tämä toteutusmalli näistä syistä houkuttelevin vaihtoehto.

7.2 Paketoinnin vaikutus päivitykseen

Lukkojen paketoinnilla on suuri vaikutus siihen, miten päivitys voidaan toteuttaa. Tähän vaikuttaa kolme seikkaa: pakettien paino, pakettien koko ja lukkojen antennien etäisyys pakettien reunoista. Yhteistyörobottien nostokyky on rajallinen, jolloin sillä voidaan siirrellä pääosin kevyehköjä paketteja. Samalla yhteistyörobottien toimintaetäisyys on varsin pienehkö, jolloin niiden kyky käsitellä lukkoja tai lukkopaketteja rajoittuu pakettien lähietäisyyteen. Kolmanneksi NFC-yhteys on mahdollinen vain kohtuullisen läheltä, jolloin paketeissa olevien lukkojen asemointi tulisi olla yhteyden muodostamiseen suotuisa, mikä tarkoittaa käytännössä lukkojen antennien suuntaamista pakettien ulkoreunoja kohti. Erilaiset lukot pakataan erityyppisesti lähinnä lukkojen erilaisen fyysisen koon takia, mistä syystä pakkausten määrä on hyvin kirjava.

7.2.1 Lukkojen paketointi lavoilla ja ulkopakkauksissa

Lukot saapuvat logistiikkakeskukseen kuormalavoilla. Kuormalavoja on helppo siirrellä ja ne ovat tehokas kuljetusmuoto saapuvalla tavaralla, sillä ne ovat vakiokokoisia. Logistiikan maailma -verkkosivuston mukaan (Kuormalava 2023) esimerkiksi yleinen EUR-lava on mitoiltaan 800 mm x 1200 mm ja se mahdollistaa vakiokokoisena ja -mallisena tehokkaan kuormauksen, kuljettamisen ja purkamisen eri kuljetusvälineissä.

Lavoilla saapuvat lukot ovat pakattuna ensin erillisiin kartonkisiin ulkopakkauksiin, jotka sisältävät pienempiä kartonkisia sisäpakkauksia. Ulkopakkauksia on lavoilla useita, mikä mahdollistaa helppomman siirtelyn varastossa sekä tehokkaan paketoinnin lähetettävälle lavalle. Ulkopakkauksissa oleviin sisäpakkauksiin pakataan yleisimmin viidestä kymmeneen lukkoa, mutta lukkoja voidaan paketoita myös yksittäis- tai paripakkauksiin.

Pakkausten paino vaihtelee hyvin paljon. Esimerkiksi ulkopakkaus, jossa on yhteensä 90 kappaletta lukkoja sisäpakkauksissaan, voi painaa 12 kg, mutta pakkaus, jossa on 20 kappaletta riippulukkoja, voi olla painoltaan jopa 25 kg. Edellä mainitun painoisten pakettien nosteluun ja siirtelyyn tarvittaisiin teollisuusrobotti, sillä yleisimpien yhteistyörobottien nostokyky on harvoin näin suuri, joskin yhteistyörobottejakin on saatavana entistä nostokykyisimpinä. Kuviossa 15 on esimerkki saapuvasta kuormalavasta ulkopakkauksineen, ja kuviossa 16 on kaksi esimerkkiä vastaavasta kuljetuksesta avatuista ulkopakkauksista. Kuvion 16 vasemmanpuolisesta ulkopakkausesimerkistä käy ilmi sisäpakkausten yhdeksän kappaleen määrä, jonka jokaisessa sisäpakkauksessa on 10 kappaletta lukkoja. Vastaavasti kuvion 16 oikeanpuoleisesta osasta käy ilmi toinen esimerkki, jossa ulkopakkauksessa on yhteensä 24 yhden lukon sisältävää sisäpakkausta. Sisäpakkaukset ovat kooltaan ja painoltaan sellaisia, että ne ovat yleisimpien yhteistyörobottien käsiteltävissä.



Kuvio 15. Lukkolähetys kuormalavalla



Kuvio 16. Ulkopakkausesimerkkejä

7.2.2 Lukkojen paketointi sisäpakkauksissa

Sisäpakkaukset ovat mitoitettu kooltaan sellaisiksi, että ne ovat helppoja käsitellä käsin keräilyä varten asiakastoimituksiin. Myös sisäpakkauksia on monenlaisia ja lukkojen sijoittelu niissä perustuu pääosin ajatukseen, että lukko on suojattu riittävän hyvin kuljetusta varten. Pakkausten ulkopuolelta ei nykyisellään näe miten päin lukko on pakkaukseen sijoitettu, vaikkakin niiden suuntaus voitaisiin tarvittaessa merkitä pakkauksiin. Sisäpakkausesimerkkejä ja lukkojen sijoittelua niihin on esitelty kuvioissa 17 (riippulukko) ja 18 (ovaalilukkosylinteri).



Kuvio 17. Riippulukkojen sisäpakkausesimerkki

Riippulukkojen tapauksessa samaa pakkausta käytetään usealle eri lukkotyypille. Kuviossa 17 ylempänä on esitelty saman pakkauksen käyttö Grade 3 -tason riippulukolle, ja samaa pakkausta hyödyntävä Grade 4 -riippulukko on esillä alempana. Sama Grade 4 – tason riippulukko voidaan toimittaa myös kiinnitysketjulla varustettuna, jolloin myös ketju sopii kuviossa 17 esiteltyyn pakkaukseen.



Kuvio 18. Ovaalilukkojen sisäpakkausesimerkki

Kuvion 18 ovaalilukkojen sisäpakkausesimerkissä tulee hyvin ilmi lukkojen sijoittelu antennin suunnan osalta. Esimerkilukkojen sijoittelu tällaisenaan pakkaukseen ei mahdollista lukon kanssa kommunikointia NFC-yhteydellä pakkausta avaamatta, sillä lukon nupissa olevan antennin ja ohjelmointilaitteen antennin välinen etäisyys jää väistämättä liian suureksi. Sen sijaan edellä kuviossa 17 esitelty riippulukkojen sijoittelu mahdollistaa teoriassa lukkojen kanssa kommunikoinnin, mutta epävarmuustekijäksi saattaa muodostua lukkojen tahaton liikkuminen pakkauksessa kuljetuksen tai käsittelyn aikana. Tällöin lukon nuppiosa ei ole välttämättä paketin reunassa, jolloin etäisyys antennien välillä voi muodostua päivityslaitteistolle liian pitkäksi. Mikäli lukkojen ohjelmistopäivitystä halutaan automatisoida, on syytä kiinnittää huomiota pakkaussuunnitteluun lukkojen sijoit-

telun sekä pakkausten ulkopuolisten suuntamerkintöjen osalta. Taulukossa 3 on esitelty yhteenveto erilaisista pakkauksista sekä niiden sisältämistä lukkomääristä tutkimuksen kohteena olevien lukkojen osalta.

Taulukko 3. Pakkausyhteenveto eri lukkotyypeillä

Lukkotyyppi	Leveys (mm)	Syvyys (mm)	Korkeus (mm)	Pakkauksia (kpl)	lukkoja / pakkaus (kpl)
D50S.531					
<i>ulkopakkaus</i>	470	265	170	1	90
<i>sisäpakkaus</i>	250	150	50	9	10
F50S.321					
<i>ulkopakkaus</i>	325	215	115	1	20
<i>sisäpakkaus</i>	90	60	45	20	1
G50S.241					
<i>ulkopakkaus</i>	460	270	170	1	90
<i>sisäpakkaus</i>	240	150	50	9	10
C50S.111					
<i>ulkopakkaus</i>	320	250	150	1	60
<i>sisäpakkaus</i>	240	180	30	6	10
H50S.331					
<i>ulkopakkaus</i>	320	260	190	1	40
<i>sisäpakkaus</i>	225	80	30	20	2
H50S.431					
<i>ulkopakkaus</i>	-	-	-	-	-
<i>sisäpakkaus</i>	225	80	30	344	1
H50S.531					
<i>ulkopakkaus</i>	430	240	160	1	20
<i>sisäpakkaus</i>	230	80	35	20	1

8 Toteutus

Päivityksen käytännön toteutusta lähdettiin suunnittelemaan pakkauskartoituksen jälkeen. Ensimmäisenä vaiheena oli tutkia yksittäisten lukkojen tunnistamista NFC:n avulla erilaista koelaitteistoa käyttäen. Koelaitteisto muodostui tietokoneesta, avainfobista, ohjainkortista sekä erilaisista antenneista. Lopuksi valittiin yksi sisäpakkaustyyppi demopakkaukseksi, jonka sisällä olevien lukkojen tunnistamista todennettiin valitulla koelaitteistokonfiguraatiolla. Toisessa vaiheessa edettiin kokeiluun yhteistyörobotin kanssa. Siinä tapahtuvaan päivitystapahtumaan optimoitiin pakkauslaatikkoa ja suunniteltiin cobotille kommunikointisovellus.

8.1 Päivityslaitteisto

Päivitykseen tarvitaan yksinkertaisimmillaan avainfobi, tai ohjainkortti sekä antenni, sillä päivitettävä ohjelmisto täytyy pystyä siirtämään langattomasti lukolle. Tässä vaiheessa verrattiin erillisen ohjainkortin ja siihen integroidun antennin, ohjainkortin ja kahden ulkoisen antennin sekä varsinaisen avainfobin suorituskykyä tunnistusetäisyyden osalta. Avainfobi on lukkojen avaamisen ja lukitukseen käytettävä NFC-laite, jota voi käyttää NFC-yhteensopivan puhelimen sijaan. Avainfobissa on integroituna erillinen kommunikointielektroniikka sekä antenni. Ohjainkortti taas on erikseen lukkojen kanssa kommunikointiin suunniteltu testikortti, jossa on oma antenni sekä mahdollisuus kytkeä korttiin ulkoinen antenni.

Jo hyvin aikaisessa vaiheessa avainfobilla tehdyt kokeilut logistiikkakeskuksessa tuottivat pettymyksen lukkojen tunnistamisesta paketin ulkopuolelta tätä yritettäessä. Lukkojen tunnistus avainfobin avulla oli hyvin vaikeaa pakkauksen ulkopuolelta edes hyvin läheltä lukon antennia. Tämä on luonnollinen seuraus siitä, että avainfobi on käytännössä suunniteltu toimivaksi kuluttajalle avaamaan lukko sen nappiosaa koskettamalla. Koska tunnistusetäisyys on päivitystarpeeseen vaatimaton, päädyttiinkin ensimmäisessä vaiheessa vertailemaan ensin erilaisten lukkojen tunnistusetäisyyksien eroavaisuuksia ja mahdollisuuksia maksimoida tunnistusetäisyys siten, että kommunikointi olisi selkeästi mahdollista pakkauksen ulkopuolelta. Kuviossa 19 on esitelty tunnistusetäisyyden tutkimiseen käytettyä laitteistoa sekä tunnistusetäisyyden mittaamiseen hyödynnettyjä lukkoja.



Kuvio 19. Tunnistusetäisyyden tutkimukseen käytettyä laitteistoa

Kuvion 19 etualalla oleva vihreä piirilevy on ohjainkortti, johon on integroitu antenni. Sininen laite kuvion oikeassa reunassa on avainfobi ja punaiset piirilevyt ovat ohjainkorttiin kytkettävissä olevia antennia, joiden antennisilmukat ovat eri suuruisilla halkaisijoilla ja antenniosien sovitukset hieman erilaisia. Tutkittavina lukkoina oli erilaisia riippulukkoja, ovaali- sekä DIN-lukkoja ja camlock-tyyppinen lukko. Lukot eroavat toisistaan mm. erilaisen nuppiosan muodon osalta.

8.2 Koejärjestely

Koska lukkojen ja päivityslaitteiden välisen yhteyden luominen on olennaisin osa päivitystapahtumaan, haluttiin tässä vaiheessa selvittää parasta mahdollista yhdistelmää tunnistusetäisyyden optimoimiseen, sekä tutkia sitä, mitkä lukot ovat haastavimpia päivityksen tekemisen kannalta. Lukon tunnistaminen voidaan todeta yksiselitteisesti ohjainkortilla olevan ledin syttymisen avulla.

Kun ohjainkortin antenniosa tuodaan riittävän lähelle tutkittavan lukon antennia ja signaalinvaimakkuus on riittävä kommunikaation toteuttamiseen, syttyy ohjainkortilla oleva LED yhteystunnistuksen merkiksi. Päivitystapahtumassa yhteistyörobotin olisi mahdollista vaihtaa työkalua eli lukkojen kanssa kommunikoivaa laitetta tarpeen mukaan, mutta yksinkertaisinta olisi, mikäli laite olisi aina sama.

Testikappaleina toimivissa lukoissa oli kolmenlaisia antennia, joiden sovitukset ja muoto vaihtelee hieman. Myös lukkojen mekaniikkaosien metalli vaikuttaa siihen, kuinka kaukaa lukon kanssa voidaan kommunikoida (NFC Design Considerations for an Improved User Experience 2022, 16). Mittaamalla tunnistamisen mahdollistavaa etäisyyttä testiantennin ja lukon välillä, saadaan suuntaa antava arvio yhdistelmän sopivuudesta päivitystapahtumaan. Koska ohjainkortti on aktiivinen laite, tuotiin käyttäjän ohjainkortille kortilla olevan USB-liittimen ja kaapelin välityksellä tietokoneelta. Sitä vastoin avainfobi toimii sen sisäisen akun avulla, joten se ei tarvitse erillistä virtalähdettä. Tietokoneella ei ollut tässä vaiheessa koejärjestelyä muuta käyttöä kuin tuottaa pelkkä käyttäjän ohjainkortille USB-liittymän avulla.

Etäisyysmittaukset toteutettiin sijoittamalla antenni kiinteästi paikalleen ja siirtämällä lukkoa lähemmäs antennia aina kohtaan, jossa ohjainkortin led indikoi tunnistamista. Tämä etäisyys mitattiin ja kirjattiin ylös. Mittaukset toistettiin kolmesti jokaisella yhdistelmällä kutakin eri lukkotyyppiä tutkien ja mitatuista etäisyyksistä lyhin etäisyys jäi merkitseväksi. Koska mittaus oli vain suuntaa antava, riittäväksi tarkkuudeksi todettiin 1 mm erottelutarkkuus. Esimerkkilukkotyyppien suorituskyky oletettiin samanlaisiksi kutakin tyyppiä kohden ja testilukot oli valittu sattumanvaraisesti.

Toisessa mittausvaiheessa tutkittiin ferriittimateriaalin vaikutusta lukuetaisyyteen. Ferriittimateriaalikerros heikentää signaalin etenemistä ferriitin suuntaan, jolloin testiantennista saadaan suuntaavampi kommunikointisuuntaansa, jossa ferriittimateriaalia ei ole. Koejärjestelyssä verrattiin kahden lupaavimman yhdistelmän lukuetaisyyden parantamista siten, että ohut ferriittimateriaaliliuska liimattiin antennin taustapuolelle. Mittaukset toteutettiin samalla tavalla kuin ensimmäisessäkin järjestelyssä ja tuloksia verrattiin mittauksiin ilman ferriittiliuskaa tehtyjä mittauksia.

8.3 Koeajojen tulokset

Koeajoissa tutkittiin NFC-yhteyden synnyttämiseen tarvittavaa etäisyyttä neljällä erilaisella yhdistelmällä: avainfobilla, antennin sisältävällä ohjainkortilla sekä samalla ohjainkortilla, johon oli kytketty vuorollaan kaksi erilaista antennia (antenni 1 ja antenni 2). Antennin sisältävää ohjainkorttia muokattiin ulkoisen antennin kytkemistä varten siten, että sen oma antenni kytkettiin irti poistamalla kaksi sovituskomponenttia, jotka sarjamuotoisina katkaisivat fyysisen yhteyden antenniin. Tämä lisäksi juotettiin ohjainkorttiin SMA-liitin, joka mahdollistaa ulkoisen antennin kytkemisen SMA-kaapelin avulla ohjainkorttiin. Mittauksissa käytetyt kaksi ulkoista antennia erosivat toisistaan antennikämin halkaisijan sekä sovituksen suhteen. Tulokset mittauksista on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Lukkotyypin tunnistusetäisyydet (mm) erilaisilla laitteistoilla tutkittuna

Lukkotyyppi	Avainfobi	Ohjainkortti	Antenni 1	Antenni 2	Ohjainkortti + ferriitti	Antenni 2 + ferriitti
<i>C50S.110</i>	4 mm	15 mm	5 mm	23 mm	22 mm	23 mm
<i>C50S.121</i>	4 mm	15 mm	-	28 mm	27 mm	26 mm
<i>G50S.231</i>	4 mm	18 mm	3 mm	23 mm	22 mm	23 mm
<i>D50S</i>	3 mm	15 mm	3 mm	27 mm	26 mm	24 mm
<i>H50S.330</i>	3 mm	6 mm	-	10 mm	15 mm	13 mm
<i>H50S.430</i>	3 mm	7 mm	-	10 mm	14 mm	12 mm
<i>H50S.530</i>	1 mm	8 mm	-	12 mm	15 mm	12 mm

Mittauksista kävi ilmi, että avainfobi pitää käytännössä viedä lähes kiinni lukon nuppiosaan, eli sen käyttäminen päivityksiin pakkauksen ulkopuolelta ei ole mahdollista kaikille lukkotyypeille. Sama koskee ohjainkortin ja antennin 1 yhdistelmää, jonka suorituskyky on varsin vaatimaton tähän tarpeeseen; osaa lukkoja ei tunnistettu tällä yhdistelmällä ollenkaan ja muidenkin lukkojen osalta tunnistusetäisyydet jäivät vaatimattomiksi. Antennin viritystä tulisikin parantaa siten, että se sovituisi paremmin ohjainkortin elektroniikkaan. Ohjainkortin ja siihen integroidun antennin yhdistelmä sitä vastoin vaikutti heti lupaavalta ja senkin suorituskykyä voitiin parantaa edelleen ferriittiliuskaa antennielementin taustapuolella käyttämällä. Myös ohjainkortin ja antennin 2 yhdistelmä oli etenkin riippulukoilla hyvä ja se toimi hyvin muillakin lukoilla. Ferriittimateriaalin käyttäminen antennin taustapuolella paransi myös tämän yhdistelmän suorituskykyä riippulukoilla, mutta ei juurikaan muilla lukkotyypeillä. Mittaustulokset olivat toistettavia, sillä samaa lukkoa tutkittaessa useaan kertaan, saatiin sama tulos 1 mm tarkkuudella.

Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että riippulukkojen (H50S) tunnistaminen on selkeästi vaikeampaa kuin muiden tutkittujen lukkotyyppien (C50S, G50S ja D50S). Tämä johtuu hyvin suurella todennäköisyydellä riippulukkojen suuremmasta metallisesta kuoresta, kuten ST Microelectronics -yrityksen sovellusohjekin esittää metallimateriaalien vaikutuksesta (NFC Design Considerations for an Improved User Experience 2022, 16). Myös lähetin- ja vastaanottoantennien muotojen yhteensopivuus vaikuttaa kommunikointietäisyyteen: Nordic Semiconductor -puolijohdeyrityksen sovellusohje (nRF52832 NFC Antenna Tuning nWP-026 2021, 5) toteaa maksimitehonsiirron tapahtuvan silloin, kun antennien koko sekä muoto ovat samanlaiset. Tällä näyttää olevan esitetty vaikutus, sillä riippulukkojen antennit ovat ovaalin muotoisia, kun taas mittauksissa käytettyjen laitteiden antennit ovat pyöreitä, jolloin lukkojen antennien ovaalimuodot eivät mahdollista optimaalista tehonsiirtoa pyöreän antennin kanssa. Joko antennin muotoa tai sovitusta täytyisikin parantaa, mikäli siitä haluttaisiin optimaalinen.

Sovitusta voidaan parantaa antennia myös virittämällä, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa antennin diskreettien sovituskomponenttien kapasitanssi- sekä resistanssiarvon muuttamista. Tähän on esitetty menetelmä esimerkiksi NXP Semiconductors puolijohdeyrityksen sovellusohjeessa (2014). Sovitusta ei lähdetty tässä vaiheessa kuitenkaan muuttamaan, koska nykyisen virityksen katsottiin mahdollistavan lukkojen kanssa kommunikoinnin riittävän etäältä. Mittaustulosten sekä yhdistelmän pienemmän fyysisen koon perusteella päädyttiin tekemään koeajot ohjainkortin sekä sen ferriittiliuskalla parannetun oman antennin yhdistelmällä. Pieni koko on myös suotavaa, sillä antennia on tällöin helpompi kohdistaa täsmälleen pakkauksessa olevan ohjelmoitavan lukon nuppiosan kohdalle.

8.4 Robotin ohjelmointi

Toisessa vaiheessa tehtiin lukkojen ohjelmointiin yksinkertainen ohjelmointisovellus. Käytettävänä laitteistona oli Universal Roboticsin yhteistyörobotti UR5e, jolla on maksimissaan 850 mm toimintasäde ja 5 kg hyötykuormakapasiteetti. Robotti oli varustettu Millibar Roboticsin MTC-UR3510 työkaluvaihtajalla sekä Robotiq Hand-E adaptiivisella tarttujalla. Robotti, työkaluvaihtaja sekä tarttuja on esitelty kuviossa 20.



Kuvio 20. UR5e robotti, työkaluvaihtaja sekä tarttuja

Koska laatikoiden poiminta lavalta on hyvin yleisesti käytössä oleva sovellus ja sovelluksen tekemiseen on olemassa esimerkiksi Universal Roboticsin käyttöliittymästä käytettävä opastava sovelluspohja, keskityttiin tässä vaiheessa tekemään sovellus, joka suorittaisi yhteistyörobotilta tarvittavat toimenpiteet ohjelmointiadapterin liikutteluun sekä I/O-linjojen ohjaamiseen tarvittaessa.

Ohjelmoinnin kohteeksi valittiin kuviossa 18 esitelty 2 x 5kpl C50S lukkoja sisältävä paketti, sillä se edustaa 10 kpl sisällöllään hyvin tyypillistä sisäpakkausta. Ohjelmoinnin välineenä käytettiin aiemmissa kokeiluissa parhaaksi osoittautunutta ohjainkortin ja siihen integroidun antennin sekä ferriitiliuskan yhdistelmää. Ohjelmointiväline on mahdollista tuoda robotilla hyvin lähelle sisäpakkauslaatikon reunaa. Vaikka C50S lukkotyypille vaadittava kommunikointietäisyys ei olekaan lyhin taulukon 2 yhteenvedon mukaan, niin kattaa pakkauksen reunalle tuotu antenni käytännössä myös tilanteen, jossa päivitetäisiin edellä mainitun yhteenvedon vaativinta tapausta, eli riippulukkoa H50S. Näillä perusteilla voitiin todeta, että lukkotyyppin valinta kokeiluun on sopiva.

8.5 Ohjelmakoodin toteutus

Ohjelmakoodi oli mahdollista toteuttaa käyttämällä robotin opetusohjainta eli pendanttia. Robotille täytyy ennen ohjelman aloittamista kertoa hyötykuorman paino, työkalun keskipiste eli TCP, sekä sen painopiste. Nämä ovat riippuvaisia robotilla käytettävistä työkalutyypeistä, joiden mitat ja painot vaihtelevat valmistajan mukaan. Toimenpiteillä mahdollistetaan työkalun tarkempi ajaminen tavoitepositioon. Kaikki asetukset ovat tehtävissä ohjatusti, eli ohjelman kirjoittamista aloitettaessa robotti ohjataan opastetusti riittävän erilaisiin asentoihin ja robotti määrittää asetusarvot näiden ohjausten mukaan. Varsinainen ohjelmakoodi kirjoitetaan valitsemalla pendantin kosketusnäytöltä erilaisia komentoja ja ohjaamalla robotti tarvittaessa esimerkiksi komennon vaatimaan positioon, joka vahvistetaan kyseisen kohdan tavoitepositioksi. Ohjelmakoodi mahdollistaa erilaiset ehdot, silmukat ja aliohjelmakutsut. Lisäksi käytettävälle työkalulle eli tässä tapauksessa tarttujalle täytyy määritellä sen vaatima käyttöjännite, ohjaussignaali sekä avaus- ja sulkuasennot.

Ohjelmassa on mahdollista hyödyntää myös robotin I/O-kanavia erilaisiin tilojen monitorointeihin ja ohjauksiin. Kanavien tiloja voidaan käyttää vaikkapa ohjelmakoodin haarautumisehdoissa tai merkkivaloina operaattorille. Näiden asettaminen toteutettiin seuraavasti:

- Output1: lukon sijainnin järjestysnumeron bitti 1 (=LSB)
- Output2: lukon sijainnin järjestysnumeron bitti 2 (=LSB+1)
- Output3: lukon sijainnin järjestysnumeron bitti 3 (=LSB+2)
- Output4: lukon sijainnin järjestysnumeron bitti 4 (=MSB)
- Output5: yhteydenoton onnistuminen (yhteys OK = LOW, yhteys epäonnistui = HI)
- Output6: ohjelmiston päivitystarpeen toteaminen (päivitys ei tarpeen = LOW, päivitystarpeen = HI)
- Output7: päivityksen onnistuminen (päivitys OK = LOW, päivitys epäonnistui = HI)
- Output8: laatikon läpikäynnin tila: (laatikko valmis = LOW, laatikko kesken = HI)

Päivityslaitteelle on mahdollista lähettää komentoja sarjaväylää hyödyntäen ja laitteen sarjaporttia lukemalla voidaan myös lukea lukon vastaus lähetettyyn komentoon. Näitä komentosarjoja ja niiden tulkitsemista hyödynnetään sarjaporttikutsuina tarvittaessa. Yksittäisen laatikon lukkojen päivityssovellus on toiminnaltaan seuraava:

- 1) Alusta käytettävät I/O-kanavat alkutiloihinsa
 - a. Output4 = 0 Output3 = 0, Output2 = 0, Output1 = 1 (ensimmäinen lukko)

- b. Output5 = 1 (yhteys epäonnistui)
 - c. Output6 = 1 (lukon päivitys tarpeen)
 - d. Output7 = 1 (päivitys epäonnistui)
 - e. Output8 = 1 (laatikon läpikäynti kesken)
- 2) Aja robotti aloituspositioon
- 3) Toista ao. tehtäviä, kunnes koko laatikko on käyty läpi:
- a. Aja robotti päivitettävän lukon antennin kohdalle positioon, ts. laske antenni kohtisuoraan alaspäin lukon antenniosan kohdalle
 - b. Suorita kommunikointitarkastelu, päivitä I/O-kanava Output5
 - c. Suorita päivitys, jos tarpeen. Päivitä I/O-kanavat Output6 ja Output7 (tarve, onnistuminen), sekä I/O-kanavat Output1-Output4 (käsittelyyn tulevan lukon numero).
 - d. Aja robotti pois päivitettävän lukon kohdalta yläpositioon, ts. nosta antenni kohtisuoraan ylös yläpositioon
 - e. Suorita siirtymä seuraavaa lukkoa vastaavaan yläpositioon, ts. siirry sivuttaissuunnassa tai laatikon toisella reunalla olevan lukkorivin aloituspisteeseen (ns. positio 6)
- 4) Aja robotti päätöspositioon, mikäli I/O-kanava Output8 ilmaisee koko laatikon läpikäydyksi.

Kommunikointia lukon ja adapterin välillä (sarjaporttiliikenne) ei rakennettu tässä työssä ohjelmakoodiin vaan kommunikointia vaativat kohdat on merkitty koodiin erillisinä aliohjelmakutsuina.

Ohjelman lohkokaaaviokuvaus on esitetty liitteessä 2.

8.6 Ongelmakohdat

Varsinaisia ongelmakohtia havaittiin sovelluksen tekemisen osalta kaksi. Näistä ensimmäinen ongelma seuraa siitä, että lukkojen nykyinen sisäpakkaus ei mahdollista kommunikointia ja siten ohjelmointia lukkojen vääränlaisen sijoittelun vuoksi, sillä antennien etäisyys on liian suuri. Tästä syystä vakiopakkausta muutettiin koejärjestelyyn siten, että lukot voitiin sijoittaa pakkauksiin nupiosa antennineen ulospäin. Muokkaus tehtiin siirtämällä pakkauksen sisällä olevia kahta kartonkista tukiseinämää hieman siten, että lukot asettuvat oikeisiin paikkoihin ohjelmointia silmällä pitäen. C50S-lukkopakkauksen tapauksessa pakkauksen muuttaminen on helppoa, mutta muiden lukkojen osalta se voisi vaatia suurempaa muutosta, mikäli tähän ei kiinnitetä huomiota jo pakkausta suunnitellessa. Kuitenkin kaikkien tutkimuksen kohteina olevien lukkotyyppien osalta muutokset olisivat mahdollisia kohtuullisin muokkauksin, joilla varmistetaan pakkauksessa olevien lukkojen antennien sijainti sisäpakkauslaatikon reunan läheisyyteen. Lukkojen alkuperäinen sijoittelu (vasemmalla) sekä sijoittelu muokattuun pakkaukseen (oikealla) on esitetty kuviossa 21.



Kuvio 21. Lukkojen sijoittelu alkuperäisessä ja muokatussa pakkauksessa

Toinen ongelma liittyi siihen, että ohjelmointiin käytettävä ohjainkortti on aktiivinen laite ja tarvitsee käyttöjännitteeksi +5 VDC tasoisen jännitteen USB-liittimeen. Jännite ei sinällään ole ongelma, mutta sen tuominen kaapelilla jännitelähteestä tai tietokoneesta täytyy huomioida siten, että robotia ohjattaessa kaapeli ei rasitu ja katkea tai irtoa. Tämä voidaan toteuttaa huomioimalla tarvittavat liikeradat ja johtamalla kaapeli esimerkiksi robotin jalustan läpivientinä. Toinen mahdollisuus olisi käyttää jännitelähteenä vaikkapa virtapankkia, joka kiinnitetään osaksi ohjelmointikorttia. Tällöin robotin liikuttaessa ohjelmointikorttia, liikkuvat virtapankki sekä sen ja ohjelmointikortin yhdistävä virtakaapeli samaan tapaan, jolloin kaapeliin ei kohdistu rasitusta. Haittapuolena on virtapankin lataustarve tai vaihto tarvittaessa. Kokeiluvaiheessa päädyttiin käyttämään virtapankin ja ohjainkortin yhdistelmää, sillä yksittäinen pakkaustyyppi mahdollisti vakioidun liikeradan.

9 Pohdinta ja jatkokehitys

9.1 Tulosten tarkastelu

Tämä opinnäytetyö käsitteli NFC-rajapinnan omaavan kuluttajatuotteen ohjelmistopäivitystä valmistusprosessin osana. Opinnäytetyö koostui kirjallisuustutkimuksesta erilaisten tietoliikenne-rajapintojen sekä erityisesti NFC-rajapinnan toiminnan osalta siihen liittyvine standardeineen. Tutkimuksen kohteena olleen sovelluksen osalta nykytilaa kartoitettiin operaattoreiden sekä työnjohdon kohdennettujen haastattelujen avulla, ja erilaisia toteutusmahdollisuuksia selvitettiin tutustumalla robotiikan ja automaation tarjoamiin käytännön mahdollisuuksiin. Työssä testattiin myös erilaisia antennivaihtoehtoja kommunikaatioetäisyyden maksimointia varten ja toteutettiin yksinkertaistettu robottisovellus kuluttajatuotteena toimivan älykkään lukon päivittämiseen yhteistyörobotin avulla.

Tutkimuksen pääkysymyksenä oli, että onko mahdollista suorittaa älykkään lukon ohjelmistopäivitys automatisoidusti nykyisen manuaalisena tehtävän päivittämisen sijaan? Tarkentavina tutkimuskysymyksinä oli, voidaanko päivitystapahtuman ergonomiaa parantaa ja saavutetaanko automatisoidulla päivityksellä etuja nykyisin käytössä olevaan menetelmään verrattuna? Mielenkiinnon kohteena oli myös se, millaisia muutoksia nykyiseen tuotantoprosessiin tulisi tehdä, että automatisointi olisi ylipäätään mahdollista.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että automatisointi on ehdottomasti mahdollista yhteistyörobotin avulla, mikäli lukkojen sijoitteluun sisäpakkauksissa kiinnitetään huomiota pakkaus suunnittelun keinoin. Nykyisellään sisäpakkauksissa ei ole tietoisesti huomioitu vaatimuksia automatisoinnille, joskin osa pakkauksista mahdollistaisi tämän. Sopivammalla sisäpakkaustyypillä voidaan mahdollistaa luotettava kommunikointi lukon ja ohjelmointilaitteen välillä. Tämä vaatimus huomioitiin välittömästi erään vielä suunnitteluvaiheessa olevan NFC-tuotteen pakkaus suunnittelussa. Opinnäytetyössä tehty selvitys erilaisista ulkopakkauksista ja niiden painoista osoittaa myös, että nykyisellään ulkopakkauslaatikoiden painot ovat osin suuria, jolloin joko päivityksen automatisointiin käytettävän yhteistyörobotin hyötykuorman nostokyvyn tulisi olla varsin suuri, tai ulkopakkauslaatikon painoa olisi syytä rajoittaa sellaiseksi, että se mahdollistaisi pienemmän kokoluokan yhteistyörobotin käytön.

Työssä tehdyt käytännön mittaukset erilaisilla antennilla ja lukkotyypeillä osoittivat, että nykyinen, manuaaliseen päivitykseen käytössä oleva avainfobi ei ole soveltuva automatisointiin, sillä sen antennin suorituskyky on liian vaatimaton. Mittausten ja kokeilujen perusteella selvisi kuitenkin, että avainfobin vaihtaminen tutkimuksessa mukana olleeseen ohjainkorttiin mahdollistaa kommunikaation siten, että ohjelmiston päivittäminen lukkoihin sisäpakkauslaatikkoja avaamatta on mahdollista. Havainto tukee lähdeaineistojen aikaisempia tietoja käytännön kommunikaatioetäisyyksistä (Coskun ym. 2012, Technical Overview 2023), joiden on todettu jäävän usein ideaalista toimintaetäisyyttä lyhemmiksi. Yhteyden luomiseen vaadittava etäisyys on joka tapauksessa hyvälläkin antennilla niin lyhyt, että päivittäminen edellyttää ulkopakkauksen avaamista sen sisältämien sisäpakkausten purkamista varten päivityksen ajaksi. Toisaalta ohjainkortilla saavutettu kommunikaatioetäisyys on riittävän suuri, eli lukkoja ei tarvitse kuitenkaan poistaa sisäpakkausistaan, vaan päivitys on tehtävissä pakkauksen ulkopuolelta.

Kiinnostuksen kohteena ollut ergonomian parantaminen tulee esiin nimenomaan laatikoiden käsittelyssä päivitystä valmisteleviin ja päättäviin toimenpiteisiin liittyen. Näissä vaiheissa tarvitaan nykyisellään ulko- ja sisäpakkauslaatikoiden nostelua sekä lukkojen poistamista ja palauttamista takaisin sisäpakkauslaatikkoihinsa. Mikäli päivitys automatisoitaisiin yhteistyörobottia käyttämällä, voitaisiin operaattoreiden tekemää ulkopakkausten nostelua vähentää ja samalla päivityksen edellyttämä lukon poistaminen sisäpakkauksesta päivityksen ajaksi pystyttäisiin välttämään. Automatisoimalla käsittelytehtävät ja päivitysoperaatio, tulisivat myös käsin kirjattavat tietojärjestelmien edellyttämät toimenpiteet päivitysovelluksessa automaattisesti tehtäväksi, mikä osaltaan sujuvoittaisi päivitystapahtuman kulkua.

Suurimmat edut automatisoinnista tulisivat siitä, että yhteistyörobotti on väsymätön ja kykenee työskentelemään yhdessä ihmisten kanssa, jolloin ihmisen rooli robotin rinnalla voi olla robotin roolia tukeva. Myös mahdolliset inhimilliset virheet kuten päivityksen toiminnan todentaminen, päivitetyin lukon palauttaminen väärään pakkaukseen tai päivitystietojen tahaton kirjaamattomuus jäisivät pois automaation myötä. Sovelluskehitys kannattaisikin vaiheistaa siten, että ensimmäinen askel päivitystapahtuman parantamiseen olisi pelkän tiedonkeruun automatisointi, sillä tämän toteuttaminen olisi varsin yksinkertainen toimenpide, eikä se edellyttäisi merkittäviä investointeja. Vasta toisessa vaiheessa kannattaisi automatisoida varsinainen päivitystyö sellaiseksi, että robotti

hoitaisi käsittelytyön, ja tähän yhdistetty ensimmäisen vaiheen automatisoitu sovellus välittäisi nykyisiä käsin tehtäviä kirjauksia tarvittaviin järjestelmiin.

Kohdennetut haastattelut toivat hyvin esiin todellisten työn suorittajien näkemystä ja olivat melko yhdenmukaisia teoreettisten etukäteishavaintojen kanssa. Vaikka haastateltavien joukko oli pieni, kattoi se hyvin juuri sen henkilöstön osan, joka on omassa työssään tekemisissä päivityksiin liittyvän problematiikan kanssa. Haastattelut toivat esiin erittäin tärkeän näkökulman, että varsinainen ohjelmiston päivitystapahtuma on vain pieni osa koko päivitykseen liittyvää työtä, ja unelmatila olisi sellainen, että päivitystä ei tarvitsisi välttämättä tehdä valmistusprosessin aikana ollenkaan. Havaintojen perusteella olisikin syytä miettiä, että voisiko osan päivityksistä tehdä vaikkapa lukon asennuksen tai käyttöönoton yhteydessä, jolloin valmistusprosessin aikana tehtyjä päivitystarpeita voisi minimoida vain kriittisiin? Päivitystapahtuman optimoinnissa tulisi huomioida ehdottomasti myös erilaisten kirjausten automatisointi, sillä tiedon keruu ja kirjaus ovat sellaisia vaiheita, joissa tarvittava tieto on saatavana eräänlaisena sivutuotteena jo päivitystä tehtäessä; Tietojen erikseen kirjaaminen vaiheen päätteeksi vie paljon työaika (Palokangas ym. 2023) ja se on kappaleessa 5.5.3 mainittua hukkaa (Bouchard 2017) erillisenä työvaiheena tehtäessä.

Etukäteispelko robottisovellusten tekemisen vaikeudesta osoittautui aiheettomaksi. Yksinkertaisten sovellusten tekeminen on varsin helppoa pienellä perehdytyksellä opastavien sovellusten avulla, eikä pienempienkään yritysten tarvitse olla huolissaan siitä, että robotiikan soveltaminen olisi mahdollista vain suuremmissa yrityksissä. Erilaisia yhteistyörobotteja on saatavilla usealta toimittajalta, ja kilpailutilanteen vuoksi cobottien valmistajat ovat kehittäneet etenkin näiden ohjelmointia hyvin helpoksi ja pienellä kynnyksellä tehtäväksi. Tällöin todennäköisesti sovellukseen tarvittava laitteisto voitaisiin valita usean eri toimijan laitteista tarvitsematta huolehtia sovelluskehityksen hankaluudesta.

9.2 Eettisyys ja luotettavuus

9.2.1 Lähteiden käyttö

Tutkimuksessa käytetyt lähteet pyrittiin valitsemaan siten, että ne olisivat ajan tasaisia, mahdollisuuksien mukaan ensisijaisesti vertaisarvioinnin läpikäyneitä tai arvostettujen julkaisutalojen tuot-

tamia kirjallisia lähteitä. Työssä käytettiin osin myös vanhempia lähteitä, mutta näiden osalta lähteissä olevat tiedot olivat historiallisessa kontekstissa. Tietolähteinä käytettiin myös standardeja, joiden sisältö on päätetty kyseistä standardia laadittaessa jo vuosia sitten, mutta jotka ovat edelleen voimassa ja täten ajan tasaisia. Alkuperäislähteiden löytäminen osoittautui yllättävän vaikeaksi, sillä aikaisemmat tutkimukset nojasivat hyvin pitkälle osin samoihin kaupallisiin lähteisiin, joista ei välttämättä löytynyt tietoa alkuperäisestä lähteestä.

Pääasiallisina tietohakujen lähteinä käytettiin ammattikorkeakoulun tiedonhakuportaalia. Näin saatiin kattavasti esiin lähdeoteoksia, julkaisuja sekä opinnäytetöitä tietopohjaksi. Näitä lukemalla perehdyttiin aihepiiriin ja valikoitiin sopivimmat lähteet työn teoriapohjan tueksi. Tiedonhakutyön pohjana oli ennen työn aloitusta tehty suunnitelma tiedonhausta. Hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti (Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK), 2023) aikaisemmin aihetta tutkineiden henkilöiden työ on tunnustettu käyttämällä heidän julkaisujaan aiheesta lähteinä, ja merkitsemällä lähteet asianmukaisesti. Tutkimuksen aihepiiri on luonteeltaan osin vakiintunutta, mutta kehittyvää tekniikkaa soveltava ja siihen liittyy vahvasti myös kaupallinen näkökulma. Alan kaupalliset toimijat pyrkivät omilla sovellusohjeillaan sekä artikkeleillaan esittämään asiat suotuisasti usein omasta näkökulmastaan. Ajantasaisuuden vuoksi on tukeuduttu kirjallisten lähteiden lisäksi myös yritysten verkkosivuilla oleviin tietoihin, joiden kohdalla on yritetty arvioida kriittisesti tiedon objektiivisuutta.

Uusimmat tutkimustiedot ovat hyvin usein erityisesti kaupallisten toimijoiden kiinnostuksen kohteena ja yritykset haluavat esiintyä edelläkävijöinä tuottamalla nopeasti uutta tietoa aiheesta omista lähtökohdistaan. Tiedotuksen nopeuden vuoksi julkaisukanavaksi valikoituukin todennäköisesti yritysten verkkosivut varsinaisten painettujen teosten sijaan. Internetlähteiden tapauksessa erityisesti on pyritty siihen, että niissä esitetyt väittämät olisivat löydettävissä useasta eri lähteestä riippumattomuuden varmistamiseksi. Työssä esitetyt kaupalliset laitteet sekä muiden toimijoiden älykkäät lukot ovat valikoituneet työhön esille siksi, että ne edustavat tälle tuotealueelle tyypillisiä laitteita - eivät siksi, että olisi haluttu tuoda esille nimenomaan tiettyjä tuotteita ja toimijoita tai jättää toisia pois.

9.2.2 Henkilötiedot ja haastattelut tutkimuksen osana

Työn tärkeänä osana olivat kaksi teemahaastattelua. JAMK:in tietosuojaohjeen mukaan henkilöiden tunnistamista aineistosta tulisi välttää, mikäli se ei ole työn toteuttamisen kannalta välttämätön tieto, ja mikäli tunnistaminen on mahdollista, tulee tähän saada henkilöiden oma suostumus (Tietosuojan ohje opinnäytetyön tekijälle, 2023). Haastatellut henkilöt valittiin käytännössä heidän työtehtäviensä ja aihekohtaisen kokemuksensa mukaan, ja heiltä saatiin tutkimukseen erittäin arvokasta tietoa. Haastattelujen päätelmät tarkistutettiin haastateltavilta ja opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa varmistettiin, että käytyihin keskusteluihin saa viitata opinnäytetyön raportoinnissa.

9.2.3 Tutkimuksen luotettavuus

Työssä pyrittiin siihen, että mittaustulokset sekä kokeilut olisivat etukäteen suunniteltuja ja tarkkaan toistettavia tekijästä riippumatta. Tämä pyrkimys toteuttaa osaltaan Vilkan (2021, 151) kuvaamaa luotettavuutta eli reliabiliteettia, jolla mitataan kyvykkyyttä antaa ei-sattumanvaraisia tuloksia. Hyvän tieteellisen käytännön (2023) mukaisesti luotettavuuden ja rehellisyyden takaamiseksi kaikki työssä tehdyt mittaukset ovat toistettavia ja riippumattomia mittausten suorittajista työssä kuvatulla tavalla tehtynä. Toista Vilkan kirjassaan esittämää kriteeriä tutkimuksen luotettavuuden osalta eli pätevyttä (validius) pyrittiin toteuttamaan tekemällä tutkimussuunnitelma opinnäytetyön alussa ja rajaamalla tutkimuksen sisältöä olennaiseen. Tutkimussuunnitelmaa noudattamalla päästiin johdonmukaiseen ja kriittiseen työtapaan, mikä edesauttoi pääsemään pätevään lopputulokseen. (Vilka 2021, 152).

9.2.4 Sidonnaisuudet ja luottamuksellisuus

Tutkimustyöhön liittyy usein myös jonkinlainen riippuvuussuhde työn teettäjän ja tekijän välillä. Niin tämänkin työn tapauksessa, sillä työn teettäjä on tekijänsä palkanmaksaja ja odottaa saavansa käytetylle ajalle vastineen luotettavan opinnäytetyön muodossa. Tutkimuksen tekeminen tarjosi tekijälleen mahdollisuuden perehtyä uuteen aihepiiriin, sekä kehittää omaa osaamistaan. Työn teettäjällä on työlle omat tavoitteensa, jotka pyritään saavuttamaan, ja asetetut tavoitteet ovat luonnollisesti sellaisia, että ne edistäisivät jollain tavalla teettäjän liiketoimintaa. Työstä löytyvät tiedot teettäjäyrityksen tuotteista sekä toiminnasta joko löytyvät suoraan yrityksen tuottamista

julkisista materiaaleista, tai ovat luonteeltaan sellaisia, että ne ovat vakiintuneet alan yleisiksi käytännöiksi. Myös työssä käsitellyt tuotteet ovat julkisesti markkinoilla olevia ja siten kenen tahansa ostettavissa ja analysoitavissa. Työ kirjoitettiin jo lähtökohtaisesti sellaisessa muodossa, ettei salattavaa tietoa sisällytettäisi työhön ollenkaan. Lupa työn sisältämien tietojen julkaisuun varmistettiin yrityksen edustajalta luettamalla työ ennen julkaisua.

9.3 Jatkokehitys

Jatkokehityksen kohteeksi valikoituu ensisijaisesti robotiikan hyödyntäminen laajemmin tuotantokäytössä. Sovellusten tekemisen helppous yllätti positiivisesti ja laitteiden kohtuullinen hinta mahdollistaa erilaisia käyttökohteita, joilla saavutettaisiin kilpailuetua tuotantokäytössä. Laitteistot kehittyvät jatkuvasti, joten todennäköistä on, että tarvittavien investointien hinta pienenee jatkossa, ja ominaisuudet paranevat esimerkiksi cobottien kuorman nostokyvyn osalta.

Opinnäytetyön suoran sisällön osalta pakkauslaatikoiden merkintöjen parantamista ja niiden hyödyntämistä esimerkiksi yhteistyörobottiin integroidun kameran avulla voisi myös harkita, sillä tämä mahdollistaisi hyvin helposti joustavamman ohjelman käytön kullekin lukkotyypille tarkoitettujen erillisten ohjelmien tai käyttäjän tekemien valintojen sijaan. Tällöin esimerkiksi robottiin integroitu kamera tunnistaisi automaattisesti minkä lukkotyyppin laatikko on tulossa päivitykseen esimerkiksi viivakoodin luvun avulla, ja osaisi tämän perusteella suunnata päivityksessä tarvittavan antennin oikeisiin paikkoihin laatikkojen mittojen mukaisesti.

Kolmas jatkokehityskohde olisi kehittää kaikkia nykyisiä pakkaustyypppejä sellaiseen suuntaan, että niiden käsittely olisi helpompaa nykymallisillekin yhteistyöroboteille ylittämättä niiden nostokykyä. Samalla voitaisiin luoda yleisohje pakkausten suunnitteluun tulevia tuoteprojekteja varten siten, että ohjelmointi olisi jatkossakin mahdollista pakkausta avaamatta.

Lähteet

Ackerman, P. 2017. Industrial Cybersecurity. Efficiently secure critical infrastructure systems. Birmingham: Packt Publishing. Viitattu 17.3.2023. <https://janet.finna.fi/>, EBSCOhost.

A guide to collaborative robot safety. Strategies for ensuring safe operation in collaborative applications. 2019. Omron -yhtiön verkkosivut. Viitattu 14.4.2023. https://assets.omron.eu/downloads/publication/en/v2/cobot_safety_expert_article_en.pdf.

AN11535. Measurement and tuning of a NFC and Reader IC antenna with MiniVNA. 2014. NXP Semiconductors yhtiön verkkosivu. Viitattu 12.5.2023. <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN11535.pdf>.

Bluetooth Core Specification Version 5.4 Technical Overview. 2023. Bluetooth SIG Inc. konsortion verkkosivut. Viitattu 19.2.2023. <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-core-specification-version-5-4-technical-overview/>.

Bouchard, S. 2017. Lean Robotics. A Guide to Making Robots Work in Your Factory. Robotiq -yhtiön verkkosivut. Viitattu 10.4.2023. https://blog.robotiq.com/lean-robotics-book-download?__hstc=211651722.8e1df04b16c389b4cbd333f47e9fe7cc.1681634305227.1681634305227.1681634305227.1&__hssc=211651722.1.1681634305227&__hsfp=2846015078.

Coskun, V., Ok, K. & Ozdenizci, B. 2012. Near Field Communication (NFC): From Theory to Practice, John Wiley & Sons, Incorporated. Viitattu 14.2.2023. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Ebook Central.

Davis, B. 1994. The Economics of Automated Testing, 2nd edition. McGraw Hill Book Company. ISBN: 9780077077921.

Definition of NFC. N.d. Sony-yhtiön verkkosivut. Viitattu 14.2.2023. <https://www.sony.net/Products/felica/NFC/>.

Fennelly, L. J. 2016. Effective Physical Security, 5th Edition. Amsterdam: Butterworth-Heinemann. <https://janet.finna.fi/>, Skillsoft Books.

Groover, M. 2016. Automation, production system and computer-integrated manufacturing, 4th edition. Pearson Education. <https://janet.finna.fi/>, VLeBooks.

Haselsteiner, E., Breitfuss, K. 2006. Security in Near Field Communication (NFC). Strengths and weaknesses. Proceedings of the International Workshop on RFID Security 2006. Viitattu 17.3.2023. <http://rfidsec2013.iaik.tugraz.at/RFIDSec06/Program/papers/002%20-%20Security%20in%20NFC.pdf>.

Hirsjärvi S., Hurme, H. 2022. Tutkimushaastattelu – Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus Oy. Viitattu 7.4.2023. <https://janet.finna.fi/>, Ellibs ebooks.

Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). 2023. Tutkimuseettinen neuvottelukunta. Päivitetty 6.9.2023.

Viitattu 17.9.2023. <https://tenk.fi/fi/tiedevilppi/hyva-tieteellinen-kaytanton-htk#:~:text=Hyv%C3%A4%20tieteellinen%20k%C3%A4yt%C3%A4nt%C3%B6%20%28HTK%29%20Viimeksi%20p%C3%A4ivitetty%2011.4.2023%20Tutkimuseettinen,hyv%C3%A4st%C3%A4%20tieteellisesti%20k%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6st%C3%A4%20%28HTK%29%20ja%20sen%20loukkausep%C3%A4ilyjen%20k%C3%A4sittelemisest%C3%A4>.

IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi. Technical White Paper. 2020. Cisco-yhtiön verkkosivut. Viitattu 19.2.2023. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.html>

iLOQ toi lukot digiaikaan patenttien turvin. 2019. Uutinen Kolster Oy:n verkkosivustolla. Viitattu 28.1.2023. <https://www.kolster.fi/referenssit/iloq-toi-lukot-digiaikaan-patenttien-turvin>.

iLOQ vuosikertomus. 2019. iLOQ Oy -yhtiön verkkosivut. Viitattu 28.1.2023. <https://annual-report.iloq.com/2019/>.

Juvonen, J. 2007. Avaimen arvoinen. Abloy 100 vuotta. Jyväskylä: Abloy Oy.

Järnefelt, N. 2016. Julkaisussa Työolot ja työurat – tutkimuksia työurien vakaudesta ja eläkkeelle siirtymisestä. Eläketurvakeskuksen tutkimuksia 8/2016. Helsinki: Eläketurvakeskus. Viitattu 25.3.2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-691-257-1>.

Kotimaisten kielten keskus ja Kielikone Oy 2022. Kielitoimiston sanakirja. Viitattu 18.3.2023. <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/#/standardi?searchMode=all>.

Kuormalava. 2023. Logistiikan maailma verkkosivusto. Viitattu 12.6.2023. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotyypit-ja-teknikka/kuormalava/>.

Lathiya, P., Wang, J. 2021. Near-Field Communications (NFC) for Wireless Power Transfer (WPT): An Overview. InTechOpen. Viitattu 25.4.2023. https://www.intechopen.com/chapters/75600_

Lazaro, A., Villarino, R & Girbau, D. 2018. A Survey of NFC Sensors Based on Energy harvesting for IoT Applications. Sensors 18, 11, 37-46. Viitattu 25.4.2023. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Ebook Central.

Lithium Battery Coin Cell 2012. Tekninen tuotetietolomake Multicell. Viitattu 25.4.2023. <https://www.farnell.com/datasheets/1671733.pdf>.

Manufacturer's Guide to Robotics. 2019. Catalyst Connection -yhtiön verkkosivut. Viitattu 10.4.2023. <https://www.catalystconnection.org/economic-development-services/operational-excellence/advanced-manufacturing-technologies/advanced-robotics/manufacturers-guide-to-robotics/>.

Minihold, R. 2011. Near Field Communication (NFC) Technology and Measurements White Paper. Rohde & Schwarz yhtiön verkkosivut. Viitattu 7.2.2023. https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma182/1MA182_5E_NFC_WHITE_PAPER.pdf.

NFC Design Considerations for an Improved User Experience. 2022. White Paper. ST Microelectronics -yhtiön verkkosivut. Viitattu 15.2.2023. https://www.st.com/content/ccc/resource/premium_content/document/group0/aa/8a/4c/68/f4/dc/4e/72/White_paper_NFC_design_considerations_for_an_improved_User_Experience/files/BRWPNFCUX0920.pdf/jcr:content/translations/en.BRWPNFCUX0920.pdf.

NFC for embedded applications. Your critical link for the Internet of Things. 2014. NXP Semiconductors N.V. -yhtiön verkkosivut. Viitattu 14.2.2023. <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1736023/0/0/1/NFC-for-Embedded-Appl-Brochure.pdf>.

NFC for Wireless Charging. 2023. ST Microelectronics -yhtiön verkkosivut. Viitattu 27.3.2023. https://www.st.com/content/st_com/en/support/learning/essentials-and-insights/connectivity/nfc/nfc-for-wireless-charging.html.

Nicholas, J. 2018. Lean Production for Competitive Advantage: A Comprehensive Guide to Lean Methodologies and Management Practices, Second Edition, Productivity Press, 2018. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Ebook Central.

Nine things IoT device makers can do with Custom Part Manufacturing Service (CPMS). N.d. Silicon Laboratories -yhtiön verkkosivut. Viitattu 12.3.2023. <https://www.silabs.com/documents/public/miscellaneous/custom-part-manufacturing-for-iot-devices.pdf>.

nRF52832 NFC Antenna Tuning nWP-026. 2021. White Paper. Nordic Semiconductor -yhtiön verkkosivut. Viitattu 12.5.2023. https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nwp_026.pdf.

Olszewski, M. 2020. Modern Industrial Robotics. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 24, 1, 5–20. Viitattu 10.4.2023. <https://www.par.pl/Archiwum/2020/1-2020/Modern-Industrial-Robotics>.

Omavoimaiset digitaaliset ja mobiilipohjaiset pääsynhallintajärjestelmät. 2023. iLOQ Oy -yhtiön verkkosivut. Viitattu 28.1.2023. <https://www.iloq.com/fi/hyodyt/>.

Ovaalisylinteri C50S.111.SD. 2023. iLOQ Oy -yhtiön verkkosivut. Viitattu 4.2.2023. https://www.iloq.com/fi/single_product/ovaalisylinteri-c50s-111-sd/.

Owen-Hill, A. 2022. Cobots vs. Robots. The Ultimate Showdown. Blogi Robotiq -yhtiön verkkosivustolla. Viitattu 10.3.2023. <https://blog.robotiq.com/cobots-vs-robots-the-ultimate-showdown>.

Paatsila, P. 2023. Ready for the New Bluetooth® 5.4? – What You Should Know First. Artikkelin Bluetooth Sig, Inc. Konsortion verkkosivulla. Viitattu 16.9.2023. <https://www.silabs.com/blog/the-new-bluetooth-5-4-what-you-should-know-first>.

Palokangas R., Saari E. & Seppälä S. 2023. iLOQ Oy. Haastattelu 29.8.2023.

Paret, D. 2016. Design Constraints for NFC Devices. Viitattu 14.2.2023. John Wiley & Sons. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Ebook Central.

Pelastustoimen avainsäilöt. 2017. Finanssiala ry.:n verkkosivut. Viitattu 25.2.2023. https://www.finanssiala.fi/wp-content/uploads/2017/08/Pelastustoimen_avainsailot.pdf.

Phillips, B. 2005. The Complete Book of Locks and Locksmithing. 6th Edition. New York: McGraw-Hill. DOI

Poliisi selvittänyt tekijöitä putkilukkovarkauksien takana Turussa – varkailla oli pääsy lähes kaikkiin kerrostaloihin. 2023. Uutinen Yle.fi -verkkosivustolla. Viitattu 7.2.2023. <https://yle.fi/a/74-20015412>.

Pulford, G. 2007. High-Security Mechanical Locks: An Encyclopedic Reference. Elsevier Science & Technology. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Ebook Central.

Rahul, A., Krishnan, G., Krishnan, U. & Rao, S. 2015. Near Field Communication (NFC) Technology: A Survey. International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI), 4.2, 133-144. Viitattu 10.3.2022. <https://researchgate.net/publication/276534674>.

Relationship between NFC and FeliCa. N.d. Sony -yhtiön verkkosivut. Viitattu 18.2.2023. <https://www.sony.net/Products/felica/NFC/relation.html>.

Rollock älylukko W111/W112. 2023. Rollock Oy -yhtiön verkkosivut. Viitattu 4.2.2023. <https://rollock.fi/tuotteet/alylukko-w111-w112/>.

Santos, J., Wysk, R.A. & Torres, J.M. 2006. Improving Production With Lean Thinking. John Wiley & Sons. Viitattu 7.4.2023. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Ebook Central.

SFS-EN 15684:2020: en 2020. Building hardware. Mechatronic cylinders. Requirements and test methods. SFS standardien verkkokauppa. Viitattu 12.3.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Smith, M. 2011. Why Program Devices at In-Circuit Test? Artikkelit ElectronicDesign -verkkosivustolla. Viitattu 12.3.2023. <https://www.electronicdesign.com/home/article/21202285/why-program-devices-at-incircuit-test>.

Standardeista on hyötyä meille kaikille. 2023. Artikkelit SFS-järjestön verkkosivustolla. Viitattu 18.3.2023. <https://sfs.fi/standardeista/standardien-hyodyt/>.

Tapiainen, J. 2019. NFC-tekniikka. Opinnäytetyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu, Tieto- ja viestintätekniikka. Viitattu 12.2.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904256047>.

Technical Overview. 2023. NFC Forum. NFC Forum -konsortion verkkosivut. Viitattu 14.2.2023. <https://nfc-forum.org/learn/nfc-technology/>.

Tehosta tuotantoa yhteistyöroboteilla. N.d. Machinetool Oy -yhtiön verkkosivut. Viitattu 14.4.2023. https://www.machinetool.fi/hubfs/2019/Esitteet/Tehosta%20tuotantoa%20coboteilla_Machine%20Tool.pdf?utm_medium=ppc&utm_campaign=Robotiikka&utm_source=adwords&utm_term=cobot%20vs%20robot&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&hsa_cam=1771068848&hsa_kw=cobot%20vs%20robot&hsa_ad=594776278235&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-

846880211434&hsa_grp=68681352413&hsa_mt=b&hsa_acc=9878829649&gclid=CjwKCAjw8-OhBhB5EiwADyoY1WYMEDBotsjw4J23sQJzK1vtjR3rQwC7e2JR-yXz7HhUKUG1aenKpRoCc4UQAvD_BwE.

TEPA-termipankki. 2023. Erikoisalojen sanastojen ja sanakirjojen kokoelma – Sanastokeskus. Viitattu 18.3.2023. <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/standardi>.

The Bluetooth Low Energy Primer. 2022. Bluetooth SIG Inc. -konsortion verkkosivut. Viitattu 19.3.2023. <https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2022/05/The-Bluetooth-LE-Primer-V1.1.0.pdf>.

Tietoa meistä. 2023. iLOQ Oy -yhtiön verkkosivut. Viitattu 28.1.2023. <https://www.iloq.com/fi/yri-tys/tietoa-meista/>.

Tietosuoja ohje opinnäytetyön tekijälle. 2023. JAMK. Viitattu 17.9.2023. <https://jamkstudent.sharepoint.com/sites/Tietosuoja-ja-tietoturva-Elmo/SitePages/Tietosuoja-ohje-opinn%C3%A4ytety%C3%B6n-tekij%C3%A4lle.aspx>.

Tiira, A. 2017. Suomalaisten asunnonomistajien suhtautuminen älylukkoihin. Diplomityö, Aalto-yliopisto, informaatioverkostojen koulutusohjelma. Viitattu 4.2.2023. <https://aalto-doc.aalto.fi/handle/123456789/29387>.

TM5-700. 2023. Techman -yrityksen verkkosivut. Viitattu 10.4.2023. <https://www.tm-robot.com/en/tm5-700/>.

Tushie, D. 2012. An Introduction to NFC Standards. Viitattu 18.2.2023. <http://www.icma.com/ArticleArchives/StandardsOct12.pdf>.

Työnjohdon haastattelu 2023. iLOQ Oy. Haastattelu 13.4.2023.

UG103.2: Zigbee Fundamentals. 2021. Silicon Laboratories -yhtiön verkkosivut. Viitattu 19.2.2023. <https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/ug103-02-fundamentals-zigbee.pdf>.

Understanding RFID (Radio Frequency Identification) Passive RFID, 2nd Edition. 2012. White Paper RFID Canada -verkkosivut. Viitattu 15.2.2023. <https://www.rfidcanada.com/wp-content/uploads/2012/11/UNDERSTANDING-RFID-Nov-2012.pdf>.

Vilka, H. 2021. Tutki ja kehitä. 5., päivitetty painos. Jyväskylä. PS-kustannus. Viitattu 19.8.2023. <https://janet.finna.fi/>, Ellibs Ebooks.

Visio ja strategia. 2023. iLOQ Oy:n -yhtiön verkkosivut. Viitattu 25.4.2023. <https://www.iloq.com/fi/visio-ja-strategia/>.

What NFC Does. 2023. NFC Forum -konsortion verkkosivut. Viitattu 4.4.2023. <https://nfc-forum.org/learn/what-nfc-does/>.

Yale Smart Locks. 2023. Yale -yhtiön verkkosivut. Viitattu 4.2.2023.

<https://www.yalehome.com/global/en/trusted-innovation/our-product-portfolio/smart-locks>.

Liitteet

Liite 1. Haastattelututkimuksen runko

Tämä teemahaastattelu on osa Jyväskylän ammattikorkeakoulun opinnäytetyötä Kuluttajatuotteen ohjelmiston päivitys NFC-rajapintaa käyttämällä (YAMK). Haastatteluilla kerätään tietoa kokemuksista S50-tuoteperheen lukkojen ohjelmistopäivityksistä iLOQ Oy:n Ruskon logistiikkakeskuksessa. Haastattelujen tarkoituksena on selvittää, millaisia parannustarpeita nykyisessä mallissa on, että ne voitaisiin huomioida automatisoidussa toteutuksessa.

Haastattelujen analyysissa ei yksilöidä vastauksen antajia siten, että niistä voitaisiin jälkeenpäin tunnistaa vastauksen antaja. Haastattelujen vastaukset tallennetaan JAMK:in opinnäytetyön aineistoa koskevien ohjeiden mukaan kahdeksi vuodeksi työn hyväksymispäivästä, jonka jälkeen ne tuhoetaan.

Vastauksesi ovat tärkeitä, koska haluan saada tietoa nimenomaan päivitystyöhön sidoksissa olevien henkilöiden kokemuksista.

Suunnittelu:

- Millainen on oma vastualueesi päivittämiseen liittyen?
- Kuinka usein päivitys tehdään ja millaista määrää lukkoja kerrallaan se koskee?
- Miten päivitystapahtuma suunnitellaan?
- Onko päivitystapahtuman suunnittelussa erityistä huomioitavaa?
- Millaisin resursssein päivitys tapahtuu ja aiheuttaako se erityisiä toimenpiteitä muihin töihin päivityksen ajaksi?

Päivityksen tekeminen:

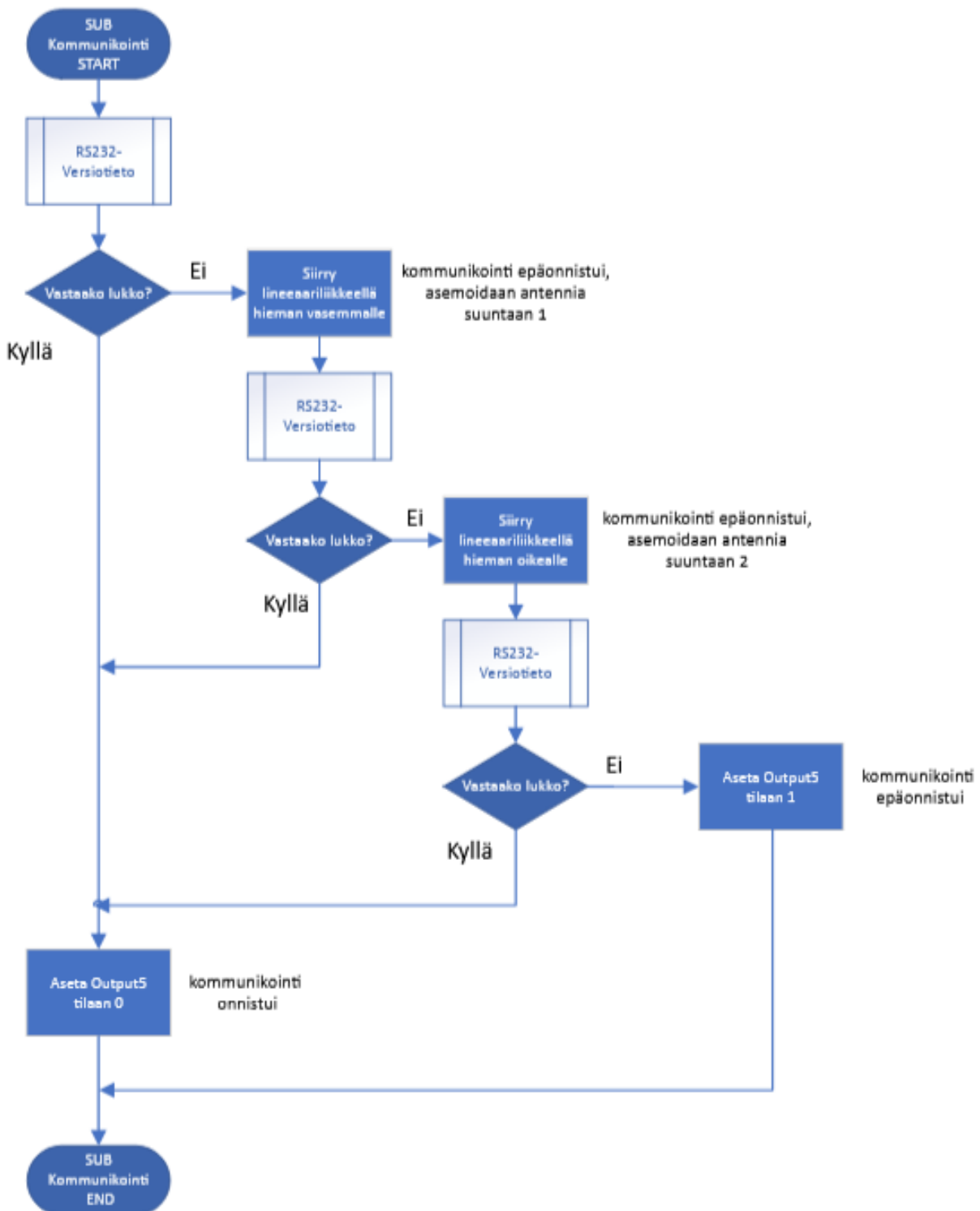
- Millainen tapahtuma päivitys on? Kuvaa omin sanoin, mitä siinä tapahtuu.
- Kauanko päivitystapahtuma kestää?
- Mitä päivityksessä toimii hyvin?
- Onko päivitystyössä ergonomisia haasteita?
- Millaisena koet päivityksen suorittamisen, sujuuko se ongelmitta vai tuleeko yllätyksiä vastaan?

Kehittäminen:

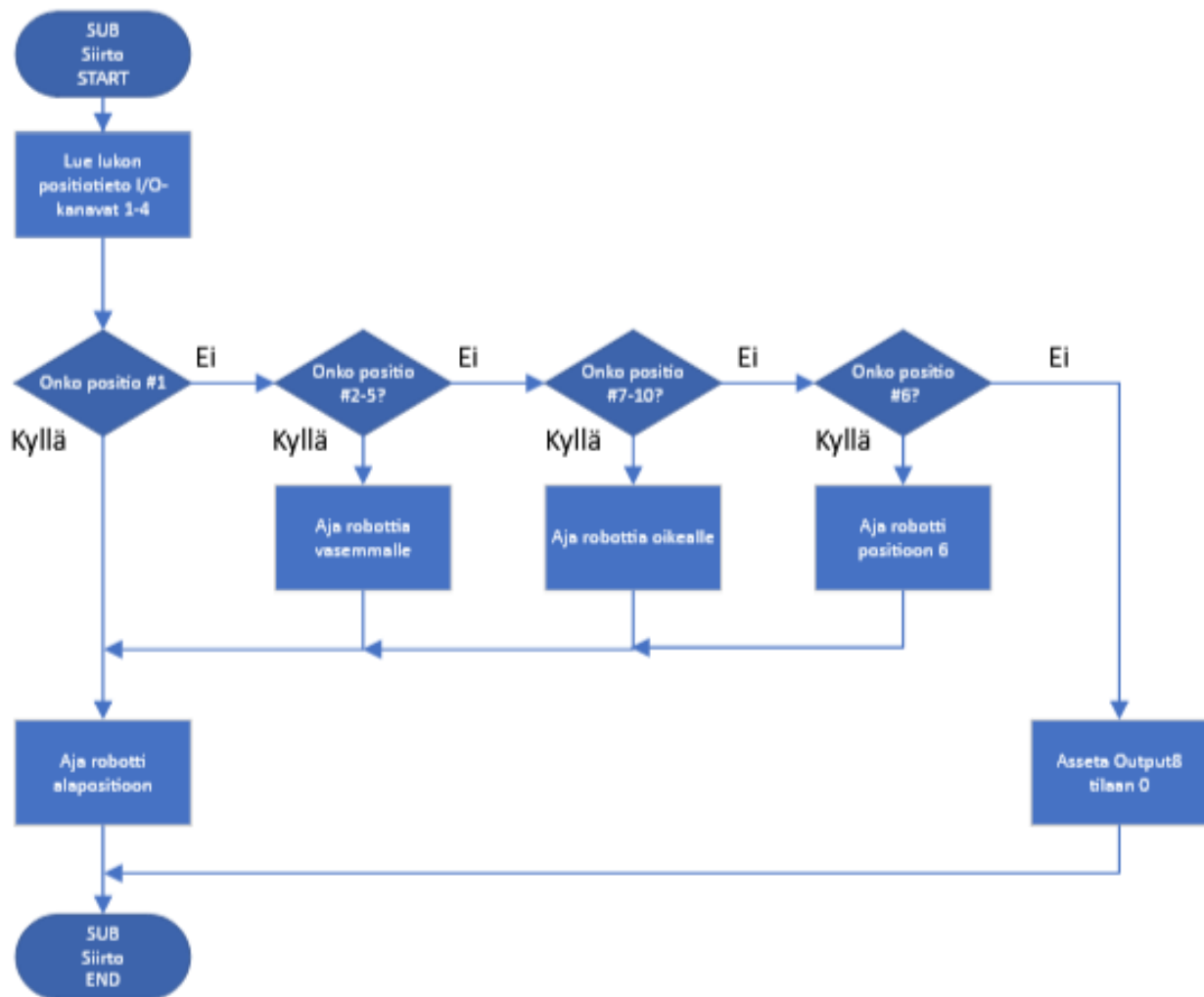
- Millainen olisi päivittämisen unelmatilanne?
- Mitä haluaisit erityisesti kehittää päivittämisessä?

Liite 2. Ohjelmakoodin vuokaavioesitys

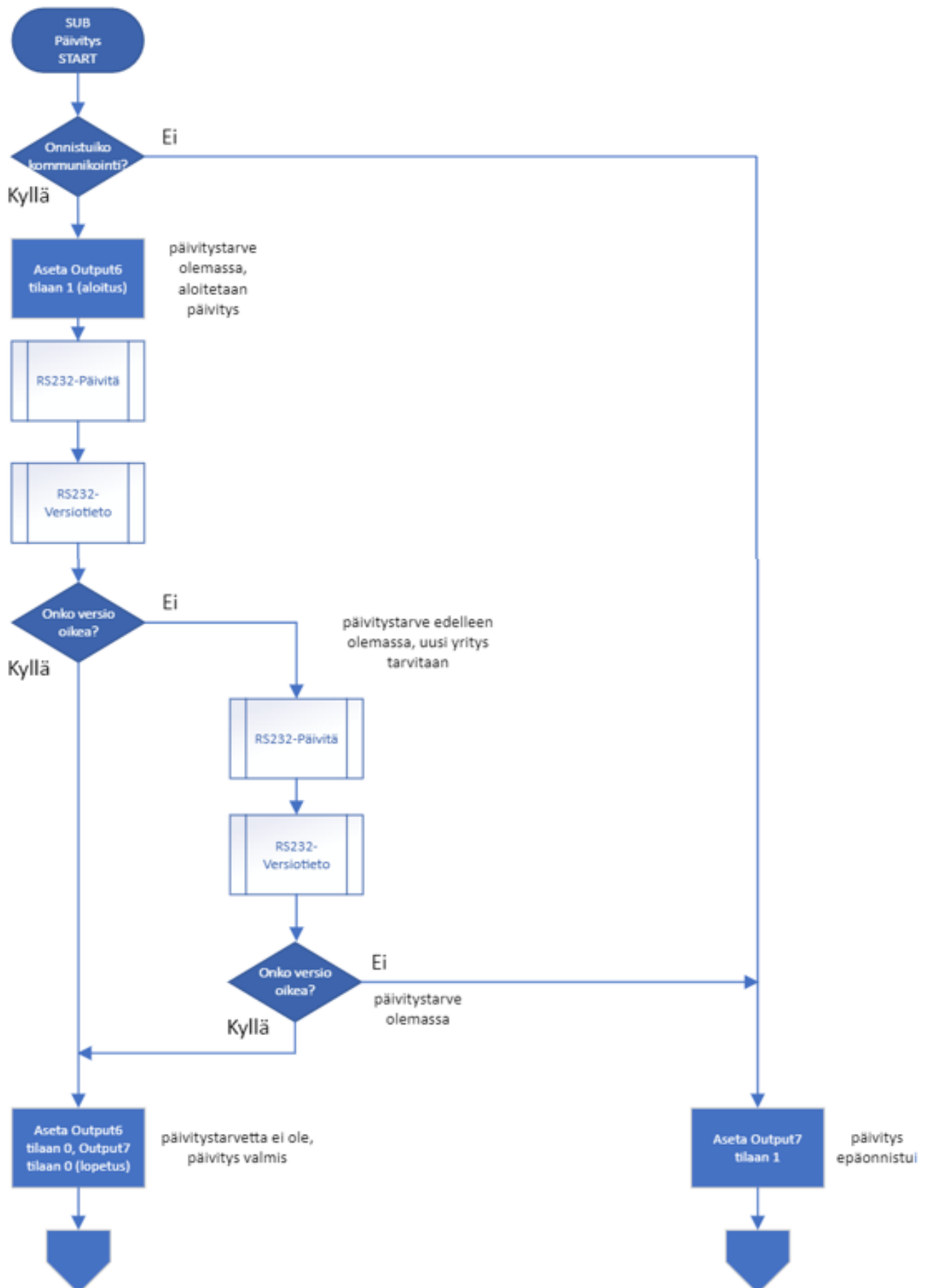
Aliohjelma ”Kommunikointi”

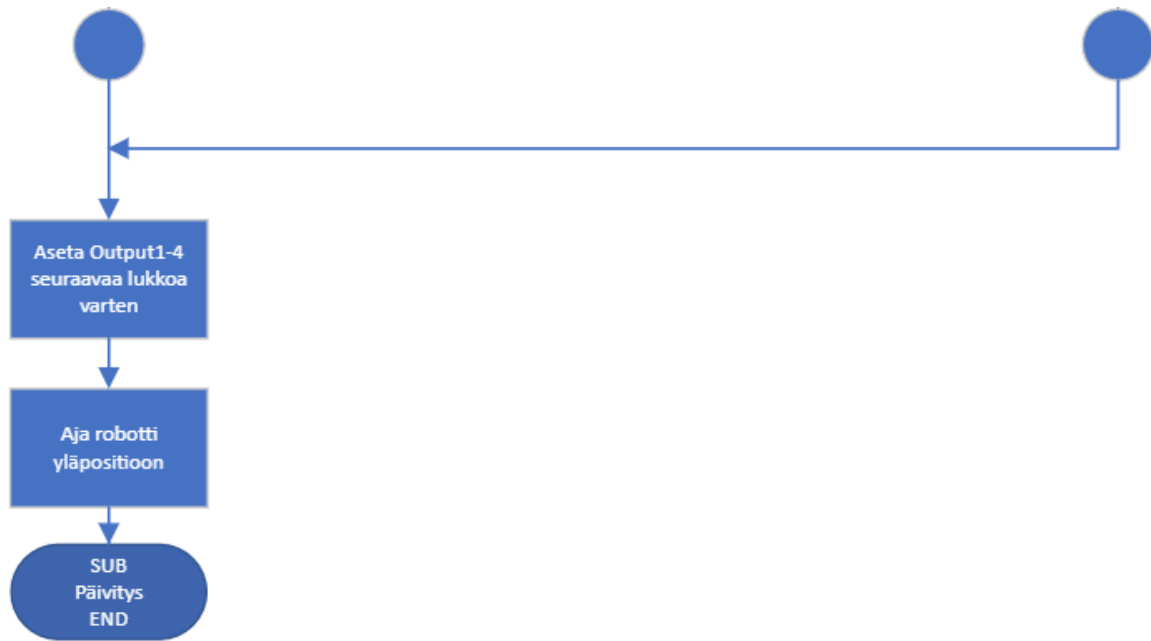


Aliohjelma "Siirto"



Aliohjelma "Päivitys"





N

Pääohjelma "Main"

