

Aapo Männikkö

**MOBIILIROBOTIN OHJAUS LANGATTOMILLA
LÄHESTYMISKYTKIMILLÄ**

MOBIILIROBOTIN OHJAUS LANGATTOMILLA LÄHESTYMISKYTKIMILLÄ

Aapo Männikkö
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Aapo Männikkö

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Mobiilirobotin ohjaus langattomilla lähestymiskytkimillä

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Mobile Robot Control with Wireless Proximity Sensors

Työn ohjaaja: Juha Junntila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 31 + 0 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä tilaajayrityksen mobiilirobottien käyttöastetta langattomien lähestymiskytkimien avulla. Mobiilirobotit kuljettavat tuotantolaitoksessa piirilevytelineitä ja kuljetuslaatikoita. Kuljetuspisteiden lisäämiseksi tehtaalla on kehitetty ja valmistettu painovoimaisesti toimivia puskurivarastoja, joiden välillä tavaraa kuljetetaan. Koska uusille puskurivarastoille ei vedetty kaapelointia, haluttiin myös anturointi toteuttaa langattomasti. Antureiden tuli havaita tuote puskurivarostossa ja kutsua robotti noutamaan tuote.

Työ aloitettiin tutkimalla, löytyykö markkinoilta mobiilirobotin ohjaukseen soveltuvaa langatonta lähestymiskytkintä. Anturin tuli kyetä tunnistamaan puskurivarastossa oleva tuote ja lähettämään tieto logiikkaohjaimelle langattomasti. Varsinainen kuljetuskäsky muodostetaan logiikkaohjaimen sovellusohjelmassa ja lähetetään robotin ohjaimelle langattomassa verkossa.

Vaatimusten täyttäviä antureita löytyi ainoastaan Steuten valmistamina. Testattavaksi hankittiin optinen anturi, jossa on sisäänrakennettu lähetin ja induktiivinen anturi, jossa on ulkoinen lähetin. Ulkoisen lähettimen ajateltiin parantavan kuuluvuutta, koska se oli mahdollista asentaa korkeammalle kuin kiinteällä lähettimellä varustettu optinen anturi. Testit kuitenkin osoittivat kummankin anturin toimivan yhtä hyvin. Lopulliseksi ratkaisuksi valittiin optinen anturi, koska se oli induktiivista anturia halvempi.

Anturit liitettiin robottien ohjauksessa käytettävien kutsunappien logiikkaohjaimen. Logiikkaohjaimen sovellusohjelmaan luotiin ehdot siten, että kuljetuskäsky lähetetään, kun lähtöpuskurivarastolla on tuote ja jättöpuskurivarastolla on tilaa. Anturit todettiin toimivaksi ratkaisuksi mobiilirobotin ohjauksessa.

Asiasanat: automaatio, langaton, anturi, lähestymiskytkin, mobiilirobotti, robotiikka

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme of Mechanical Engineering, Machine Automation

Author: Aapo Männikkö
Title of thesis: Mobile Robot Control with Wireless Proximity Sensors
Supervisor: Juha Junttila
Term and year when the thesis was submitted: spring 2020
Pages: 32 + 0 appendices

The aim of the thesis was to increase the utilization rate of the subscriber 's mobile robots with wireless proximity switches. Mobile robots transport PCB racks and boxes between buffers at the production facility. Subscriber wanted wireless sensor that could detect the product in the buffer and send a pickup command to the robot.

At the beginning of the work, it was investigated whether wireless proximity sensors found on market were suitable for controlling a mobile robot. It was found that suitable sensors were only offered by Steute. Two sensors were ordered from Steute for testing: an optical sensor with a built-in transmitter and an inductive sensor with an external transmitter.

In the tests, it was found that both sensors were well suited for the intended use. The optical sensor was easy to install due to the integrated structure and the price was lower than the price of inductive sensor with external transmitter. Therefore, the inductive sensor was chosen as the final option. The sensors were connected to the logic controller which was used to control mobile robots. The sensors were found to be a feasible solution for controlling a mobile robot.

Keywords: automation, robotics, wireless, sensor, mobile robot

ALKULAUSE

Haluan kiittää toimeksiantajaa Nokia Networks Oy:tä hyvästä opinnäytetyöaiheesta ja Nokia Networks Oy:n automaatioasiantuntija Sami Järvelää sujuvasta yhteistyöstä. Kiitän myös opinnäytetyön ohjauksesta lehtori Juha Junttilaa.

1.6.2020 Aapo Männikkö

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 MOBIILIROBOTTI	10
3 MOBIILIROBOTIN OHJAUS	12
3.1 Enterprise Manager 2100	13
3.1.1 MobilePlanner	13
3.1.2 ARAM	13
3.2 Logiikkaohjain	13
3.2.1 Toimintaperiaate	14
3.2.2 Omron NX1P2-9B24DT1	15
3.3 Langattomat kutsunapit	16
3.4 Lähestymiskytkin	16
3.4.1 Induktiivinen lähestymiskytkin	17
3.4.2 Optinen lähestymiskytkin	17
3.4.3 Optinen lähestymiskytkin Steute RF 96 LT	18
3.4.4 Yleislähetin Steute RF 96 ST	18
3.4.5 Vastaanotin Steute RF Rx-4S	19
4 ANTUREIDEN KÄYTTÖÖNOTTO	20
4.1 Tiedonhaku	20
4.2 Laitteiston alustava valinta	20
4.3 Testaus	21
4.3.1 Vaihe 1: antureiden tunnistuskyky ja kantavuus	22
4.3.2 Vaihe 2: toimivuus käyttösijainnissa	22
4.3.3 Vaihe 3: kuljetus mobiilirobotilla	23
4.4 Ohjelmointi	24
4.4.1 Alkuperäisen ohjelman toiminnan kuvaus	24
4.4.2 Ohjelman muokkaus	24

5 YHTEENVETO

29

LÄHTEET

30

SANASTO

AIV	Autonomous Intelligent Vehicle, mobiilirobotti
ARAM	Advanced Robotics Automation Management, LD-90:n laiteohjelmisto
ARCL	Advanced Robotics Control Language, robotin kommunikointiprotokolla
LD-90	Omronin valmistama mobiilirobotti
LTE	Long Term Evolution, 4G, neljännen sukupolven langaton tiedonsiirtotekniikka
PLC	Programmable Logic Controller, logiikkaohjain
swave	Steuten langattomien laitteiden yhteysprotokolla
TOF	sammutusajastin
TON	käynnistysajastin

1 JOHDANTO

Automaatio ja robotiikka ovat olennainen osa tehokkaasti toimivaa sarjatuotantoa. Uusia ratkaisuja kehitettäessä on kuitenkin tärkeää muistaa kustannustehokkuus ja laitehankintojen takaisinmaksuaika. Tässä opinnäytetyössä etsitään edullista automaatoratkaisua mobiilirobotin ohjaukseen. Työn tilaajana on Nokia Networks Oy. Työ toteutetaan Oulun Ruskossa sijaitsevalle tehtaalle.

Lähtötilanteessa mobiilirobotit kuljettivat tuotteita automaattisten puskurivarastojen välillä. Tehtaalla on myös hiljattain otettu käyttöön automaattipuskurivarastoa yksinkertaisempia ja halvempia painovoimatoimisia varastopuskureita. Tuotteita kuljetetaan joistakin uusista varastopuskureista vain yhteen vientipaikkaan ja joissakin varastopuskureissa vientipaikkoja on useita. Varastopuskureille, joissa on useita vientipaikkoja, otettiin opinnäytetyön tekemisen aikaan käyttöön mobiilirobottia ohjaavat kutsunapit.

Varastopuskureihin, joista tuote lähtee vain yhteen paikkaan, halutaan langattomat lähestymiskytkimet tunnistamaan puskurilla oleva tuote. Antureiden tulee olla langattomia, jotta käyttöönotto ja muunneltavuus on mahdollisimman helppoa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia markkinoilta löytyviä langattomia lähestymiskytkimiä, valita käyttöön sopiva ratkaisu ja ottaa se käyttöön testauksen kautta.

2 MOBIILIROBOTTI

Mobiilirobotti eli AIV, englanniksi *Autonominen Intelligent Vehicle*, on tavaran kuljetukseen tarkoitettu itsenäisesti liikkuva ajoneuvo. Mobiilirobotti ei tarvitse kulkureitille asennettavaa magneettinauhaa tai muuta suunnistusapuvälinettä perinteisten vihivaunujen tapaan. Mobiilirobotti kykenee anturointinsa avulla tunnistamaan ympäristössä olevat esteet ja väistämään ne helposti. Tästä syystä mobiilirobotit on helppo ottaa käyttöön, ne kykenevät toimimaan turvallisesti laitospäristössä ihmisten kanssa ja kuljetuspisteiden muutos on helppoa. (1.)

Omron LD-90

LD-90 on Omronin valmistama pyörillä kulkeva mobiilirobotti, joka kykenee kuljettamaan 90 kg:n kuormaa (kuva 1). Robotin omamassa on 62 kg. Kuljetustaso on 699 mm pitkä ja 500 mm leveä. Kuljetustasolle voidaan asentaa kuhunkin käyttötarkoitukseen sopiva laitteisto. Mobiilirobottiin voidaan kytkeä antureita ja toimilaitteita, joita robotti voidaan ohjelmoida käyttämään. (2.)



KUVA 1. Mobiilirobotti Omron LD-90 (3)

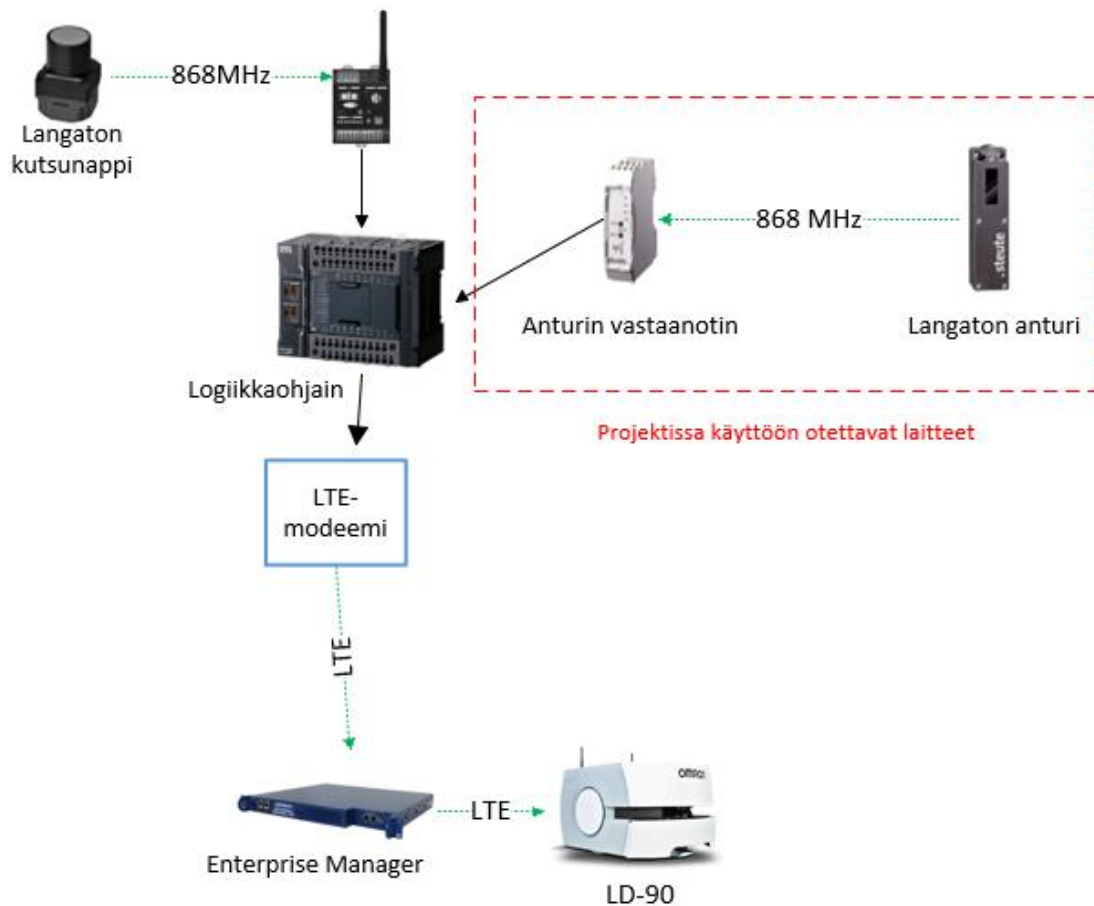
LD:n etupäässä sijaitsevat laserskannerit 201 mm:n ja 50 mm:n korkeudessa. Ylempi skanneri tunnistaa korkeat esteet ja laitteen sijainnin vertaamalla skannattua kuvaa tallennettuun karttaan. Alempi havaitsee matalammat esteet. Robotin keulan alaosassa on puskuri, jonka osuessa esteeseen robotti pysähtyy. Robotin takaosassa on neljä anturia esteiden tunnistukseen. Vaadittaessa tarkkaa paikannusta voidaan käyttää lattiaan asennettavaa magneettinauhaa.

(2.)

3 MOBIILIROBOTIN OHJAUS

Nokian tehtaalla Oulussa käytetään kolmea mobiilirobottia tavaroiden kuljetukseen. Yhtä robottia olisi mahdollista ohjata pelkästään logiikkaohjaimella, mutta sitä useamman robotin kokonaisuutta ohjataan Enterprise Managerilla, jonne työtehtävät lähetetään logiikkaohjaimelta LTE-verkon kautta. (4; 5.)

Kuvassa 2 on esitetty kuljetuskäskyn tiedonsiirto LD-90-mobiiliroboteille. Kutsunapeilta ja langattomilta antureilta tieto siirtyy 868 MHz:n taajuudella vastaanottimille. Vastaanottimet ovat kytketty logiikkaohjaimen tuloportteihin. Logiikkaohjaimen kytketty modeemi ja mobiilirobotti ovat Enterprise Manageriin yhteydessä LTE-verkolla. (4.)



KUVA 2. Mobiilirobotin ohjaus (3; 4; 5; 6; 7; 8; 9)

3.1 Enterprise Manager 2100

Enterprise Manager 2100 on laite- ja ohjelmistoratkaisu, jolla ohjataan Omronin LD-sarjan roboteista koostuvaa laivuetta. Laivueessa voi olla enintään sata mobiilirobottia. Enterprise Manager vastaanottaa työpyyntöjä välitettäväksi roboteille. Laivueesta valitaan sijainnin ja kiireellisyyden perusteella tehtävälle parhaiten sopiva AIV. Jokainen robotti kommunikoi pelkästään Enterprise Managerin kanssa eikä muiden robottien kanssa. Tämä vähentää langattoman verkon kuormitusta. Kommunikointi Enterprise Managerin, robottien, tietokoneen ja logiikkaohjaimen välillä hoidetaan ARCL-protokollalla. Enterprise Managerista saadaan selville jokaisen robotin sijainti, työtehtävät ja akun varaus. (5, s. 7–9.)

3.1.1 MobilePlanner

Mobiilirobotti-LD-90 tarvitsee itsenäiseen liikkumiseen karttaa, joka tehdään tietokoneella MobilePlanner-ohjelmalla. Kartta skannataan yhdellä robotilla ja se voidaan jakaa Enterprise Managerin kautta jokaisen robotin käyttöön. MobilePlannerissa on karttanäkymä, josta selviävät robottien sijainnit, akun varaukset ja työtehtävät. (5, s. 11, 43.)

3.1.2 ARAM

ARAM on ohjelmisto, jota LD-mobiilirobotti käyttää operointiinsa. ARAM käyttää robotin antureita tunnistukseen esteet tai magneettinauhat ja suorittaa näiden avulla kaikki liikekomennot. Robottiin voidaan lisätä ulkoisia antureita ja toimilaitteita. Sovelluksella voidaan ohjata lisättyjä toimilaitteita antureiden avulla. Esimerkiksi Nokian tehtaalla piirilevytelineen kuljetuksessa, kyytiin ottaminen ja kyydistä poistaminen hoidetaan robottiin rakennetulla kuljetinhihnalla. Lisäksi robotissa on piirilevytelineen tunnistukseen valoantureita. (5, s. 10.)

3.2 Logiikkaohjain

Logiikkaohjaimesta käytetään yleisesti nimitystä PLC, englanniksi *Programmable Logic Controller*. PLC on mikroprosessorilla varustettua tietokone, jota käytetään automatisoitujen prosessien ohjauksessa. Näitä ovat tyypillisesti työstökoneet ja tuotantolinjat. PLC:t ovat korvanneet aikaisemmin käytetyt releohjaukset, koska pienellä logiikkaohjaimella voidaan korvata jopa tuhansia releitä. (10, s. 212.)

3.2.1 Toimintaperiaate

PLC:n tärkeimmät osa-alueet ovat tulo- ja lähtöportit, ohjelmamuisti ja mikroprosessori. Tuloportteihin kytketään ohjattavan laitteiston tilaa tarkkailevat anturit. Lähtöportteihin kytketään toimilaitteet, esimerkiksi sähköisesti ohjatut pneumatiikkaventtiilit. Tuloportteihin tulevat anturisignaalit käynnistävät lähtöportteja ohjelmamuistiin tallennetun sovellusohjelman ehtojen mukaisesti. (10, s. 223.)

Ohjelmamuistiin voidaan tehdä sovellusohjelmia eri ohjelmakielillä, joita ovat esimerkiksi tikapuukaavio (englanniksi ladder), rakenteinen teksti (englanniksi structures text), ja toimintalohkokaavio (englanniksi function block diagram). Jokaisella ohjelmointikielellä ohjelman perusrakenne muodostetaan tulo- ja lähtöporteista. Yksinkertaisessa sovellusohjelmassa tuloporttiin liitetty muuttuja käynnistää lähtöportin. Muuttujilla voidaan käsitellä esimerkiksi laskureita, ajastimia tai apumuuttujia. (10, s. 223 - 225.)

Ennen PLC:n keksimistä koneenohjauksissa käytettiin releohjausta. Tikapuukaavio-ohjelmointi on graafinen kieli ja tehty näyttämään relekaaviolta, jotta se olisi helposti luettavissa. Tikapuukaviossa vasen laita on ikään kuin virtakisko ja oikea reuna nollakisko. Kiskojen väliin lisätään avautuvia tai sulkeutuvia kytkimiä kuvaavia muuttujia. Tulomuuttujat ovat vasemmalla ja lähtömuuttujat oikealla. Kuvassa 3 on yksinkertainen tikapuukaavio-ohjelma, jossa on avautuva ja sulkeutuva tulomuuttuja sekä yksi lähtömuuttuja. Output-muuttuja käynnistyy, kun Sulkeutuva on virrallinen ja Avautuva virraton. (10, s. 223 - 225.)

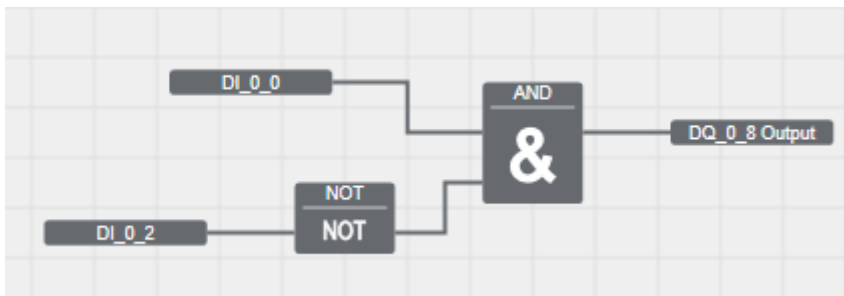


KUVA 3. Tikapuukaavio-ohjelma

Ohjelmasta voidaan tehdä monimutkaisempi lisäämällä esimerkiksi laskureita ja ajastimia. Tulomuuttujiin voidaan lisätä laskevan tai nousevan reunan tarkkailu. Reunan tarkkailu tarkoittaa, että signaali kulkee läpi ainoastaan virran

käynnistyessä tai sammussa sillä ohjelman suorituskerralla, jolla muutos havaitaan. (10, s. 224.)

Toimintalohkokaavio-ohjelmointi on tikapuukavion tavoin graafinen kieli (kuva 4). Se koostuu toimilohkoista, joihin voidaan liittää automaation perustoimintoja, kuten OR- ja AND-portteja. Rakenteinen teksti eli ST-kieli on erittäin kattava ohjelmointikieli, mutta sen käyttö on graafisia kieliä haastavampaa. Usein ST-kielellä tehty sovellusohjelma perustuu IF-ELSE-THEN-rakenteeseen. (10, s. 224 - 225.)



KUVA 4. Toimintalohkokaavio-ohjelma

3.2.2 Omron NX1P2-9B24DT1

Opinnäytetyössä käytettävä logiikkaohjain on Omronin NX1P2-9B24DT1 (kuva 5). Ohjaimessa on neljätoista tuloporttia ja kymmenen lähtöporttia. Tulo- ja lähtöporttien määrää voidaan kasvattaa logiikkaohjaimen kylkeen liitettävillä lisäkorteilla. Lisäkorttien ja ohjaimen välillä tieto siirtyy kiinteällä RS-485-väylällä. Logiikkaohjaimen voidaan asentaa muistikortti, jolta sovellusohjelma voi lukea tietoja kuten robotin kuljetuskomentoja. Muistikortin avulla parametrien muutos on helppoa, koska sovellusohjelmaa ei tarvitse ohjelmoida eikä muokkaukseen vaadita ohjelmointitaitoja. Sovellusohjelma luodaan Sysmac Studio -ohjelmistolla. (11.)



KUVA 5. Logiikkaohjain Omron NX1P2-9B24DT1 (9)

3.3 Langattomat kutsunapit

Mobiilirobotteja voidaan ohjata langattomilla Omron A2W -kutsunapeilla. Kutsunappien lisäksi järjestelmä sisältää vastaanottimen, jossa on kahdeksan lähtöporttia. Lähtöporttien määrä rajoittaa nappien määrän kahdeksaan. Nappien erikoisuutena on painikkeen liikkeestä syntyvä käyttösähkö. Napit eivät tarvitse ollenkaan virtalähdettä. Yhteys lähettimen ja nappien välillä hoidetaan 868 MHz:n radiotaajuudella. Painonapit ilmaisevat signaalin vastaanoton voimakkuuden värivalolla jokaisella painaisulla. Vihreä valo tarkoittaa vahvaa signaalia, keltainen heikkoa ja punainen epäonnistunutta lähetystä. (6.)

3.4 Lähestymiskytkin

Lähestymiskytkimellä tarkoitetaan elektronista anturia, joka tunnistaa kappaleen ilman kosketusta. Lähestymiskytkimet jaetaan toimintaperiaatteen mukaan optisiin, kapasitiivisiin, induktiivisiin ja magneettisiin. Optisella ja kapasitiivisella voidaan tunnistaa lähes kaikkia materiaaleja, mutta induktiivinen tunnistaa vain sähköä johtavaa materiaalia kuten metallia. Lähestymiskytkimessä ei ole kuluvia osia, joten sen käyttöikä on käytännössä rajaton. Lähestymiskytkimet eivät häiriinny tärinästä mekaanisten rajakytkimien tapaan. Tunnistettavilla materiaaleilla, ympäristön lämpötilalla ja pinnanlaaduilla on vaikutusta lähestymiskytkimen kytkentäetäisyyteen. (10, s. 193.)

3.4.1 Induktiivinen lähestymiskytkin

Induktiivinen lähestymiskytkin muodostaa oskillaattorilla magneettikentän tunnistuspinnalleen. Kun magneettikentän vaikutusalueelle asetetaan sähköä johtava esine, syntyy induktiopyörrejännitettä ja oskillaattori vaimenee. Amplitudin pieneneminen muunnetaan anturin elektroniikalla sähkösignaaliksi, joka muuttaa anturin kytkentätilan suljetuksi tai avoimeksi. Esineen poistaminen muuttaa tilan takaisin normaaliksi. (10, s.193 - 194.)

Induktiiviset anturit ovat yleensä sylinterin muotoisia ja läpikierteitettyjä, mikä mahdollistaa helpon etäisyyden säätämisen. Pyöreän anturin koko määritellään kierteen mukaan. Pienin anturi on M5-kierteellä ja suurin M30-kierteellä. Mitä isompi koko on, sen kauemmaksi magneettikenttä ja tunnistus ulottuvat. (10, s.193 - 194.)

3.4.2 Optinen lähestymiskytkin

Optisia lähestymiskytkimet voivat toimia neljällä eri tavalla: lähetin ja vastaanotin erikseen, peilistä heijastavina, kohteesta tunnistavina ja merkintätunnistimina. Optista lähestymiskytkintä kutsutaan yleisesti valokennoksi. Kohteesta tunnistavan valokennon toiminta perustuu lähetetyn valon takaisin heijastuksen vastaanottamiseen. Anturi lähettää valoa, joka heijastuu tunnistettavasta kappaleesta anturin vastaanottolinssiin. Vastaanotettu valo muuttaa anturin kytkentätilan elektronisesti joko suljetuksi tai avoimeksi. Kun tunnistettava kappale poistuu anturin tunnistusalueelta, kytkentätila palaa takaisin. Peilivalokenno ja valokenno, jossa käytetään erillään lähetintä ja vastaanotinta tunnistavat kappaleen, kun se katkaisee yhteyden lähettimen ja vastaanottimen välillä tai anturin ja peilin välillä. (10, s. 196 - 197.)

Valokennon tunnistusetäisyys voi olla jopa kymmeniä metrejä. Kohteesta tunnistavan valokennon tunnistusetäisyys riippuu tunnistettavan materiaalin valon heijastuskyvystä. Jos materiaali ei heijasta ollenkaan valoa, ei voida käyttää kohteesta tunnistavaa valokennoa, vaan on käytettävä lähetintä ja vastaanotinta erillään tai peilivalokennoa. Valokenno on herkkä häiriöille, minkä takia anturisignaaliin on hyvä ohjelmoida tunnistusviivettä. (10, s. 196-197.)

3.4.3 Optinen lähestymiskytkin Steute RF 96 LT

Steute RF 96 LT on kohteesta tunnistava langaton optinen lähestymiskytkin (kuva 6). Lähestymiskytkin koostuu kolmesta osasta: paristovirtalähteestä, infrapuna-anturista ja sWave-lähtimestä. Kaikki osat ovat koottu iskunkestävään koteloon. Kotelo on noin 13 cm pitkä ja 3 cm leveä ja 3 cm syvä. (12.)



KUVA 6. Optinen lähestymiskytkin Steute RF 96 LT (8)

Kun anturi havaitsee materiaalia, lähetin lähettää anturin tilan vastaanottimeen. Tilaa lähetetään jaksottaen myös muulloin kuin muutoshetkellä. Lähetystiheydeksi voidaan valita 10 s, 100 s, 1 000 s tai 10 000 s. Valinta tehdään kotelon sisäpuolisilla kytkimillä. Pariston käyttöikä on 100 s:n lähetystiheydellä yhden vuoden. Lähetystaajuus on 868,3 MHz. Lähetysmatkaksi valmistaja ilmoittaa ulkotiloissa 450 m ja sisätiloissa 40 m. (12.)

3.4.4 Yleislähetin Steute RF 96 ST

Yleislähetin RF 96 ST on rakennettu samanlaiseen koteloon kuin optinen lähestymiskytkin RF 96 LT (kuva 7). Myös lähetin ja patterivirtalähde ovat samoja, mutta yleislähtetimestä on optisen anturin sijaan nelinapainen M12x1-anturiliitäntä. Anturiliitäntään voidaan kytkeä Steuten RF IS-induktiivinen lähestymiskytkin. Lisäksi liitäntään voidaan kytkeä mekaaninen rajakytkin tai omalla virtalähteellä varustettu anturi. (13.)



KUVA 7. Yleislähetin Steute RF 96 ST (14)

3.4.5 Vastaanotin Steute RF Rx-4S

RF Rx-4S-vastaanotinta käytetään Steuten sWave-protokollan antureiden ja lähettimien signaalien vastaanottamiseen. Vastaanottimeen on mahdollista liittää neljäkymmentä langatonta lähetintä, joilla ohjataan vastaanottimen neljää relelähtöä. Koska lähtöportteja on vain neljä, saadaan kymmentä anturia kohti yksi lähtösignaali. RF Rx-4S on 22 mm leveä ja se asennetaan DIN-kiskoon. (15.)

Kuvassa 8 on RF Rx-4S -vastaanotin, jossa on SEL- ja LRN-painikkeet. Painikkeilla opetetaan lähettimet vastaanottimeen ja määritellään ohjattava kanava. Lähetintä lisättäessä painetaan LRN-painiketta 1 s:n ajan, minkä seurauksena MD-valo alkaa vilkkua hitaasti ja vastaanotin käynnistää opetustilaan. Seuraavaksi valitaan kanava SEL-painikkeella. Valitun kanavan valo käy sammuksissa ja opetustilasta voidaan poistua painamalla LRN-painiketta 1 s:n ajan, minkä seurauksena MD-valo palaa jatkuvasti. Lähettimet voidaan poistaa vastaanottimesta painamalla LRN-painiketta 5 s:n ajan, kunnes MD-valo alkaa vilkkua nopeasti. Seuraavaksi valitaan tyhjennettävä kanava SEL-painikkeella ja valitun kanavan valo vilkahtaa. Poistotilasta poistutaan pitämällä LRN-painike 1 s:n ajan pohjassa. (15.)



KUVA 8. Vastaanotin Steute RF RX-4S (7)

4 ANTUREIDEN KÄYTTÖNOTTO

Tässä opinnäytetyössä etsittiin ja käyttöönotettiin Omronin mobiilirobottia ohjaamaan kykenevät langattomat lähestymiskytkimet. Painovoimatoimisille puskurivarastoille ei vedetä kaapelointia, joten anturoinnin tuli olla langaton. Langattomuus tekee käyttöönotosta ja muunneltavuudesta helppoa. Langattomuuden lisäksi lähestymiskytkimen tärkeimmät vaatimukset olivat hyvä signaalin kantavuus tehtaan sisällä, metallisen piirilevytelineen tunnistuskyky ja liitettävyys painonappien vastaanottimeen tai ohjelmoitavaan logiikkaan. Muita vaatimuksia olivat pariston pitkä käyttöikä ja anturin kestävyys tehdasympäristössä. (4.)

4.1 Tiedonhaku

Työ aloitettiin kartoittamalla markkinoiden langattomat lähestymiskytkimet. Kartoituksessa havaittiin, että langattomia antureita on tarjolla useilla valmistajilla. Useimmat langattomat lähestymiskytkimet käyttivät tiedon siirrossa langatonta internetverkkoa ja välittivät tiedon omaan sovellukseen. Nämä vaihtoehdot jouduttiin hylkäämään, koska rajapinnan luominen logiikkaohjaimeen tai vastaanottimeen arvioitiin työlääksi toteuttaa.

Teollisuuskäyttöön tarkoitettut täysin langattomat anturit ovat yleensä paineen tai lämpötilan mittaukseen tarkoitettuja. Useilta valmistajilta on saatavilla lähestymiskytkimiä, jotka käyttävät tiedon siirtoon radiosignaalia, mutta vaativat johdotuksen käyttösähkölle. Näissä tapauksissa sovellus ei ole langaton ja helposti muunneltavissa, mitä tässä sovelluksessa haetaan. Ainoastaan Steuten valmistamat lähestymiskytkimet ja vastaanottimet olivat täysin langattomia ja helposti liitettäviä logiikkaohjaimeen.

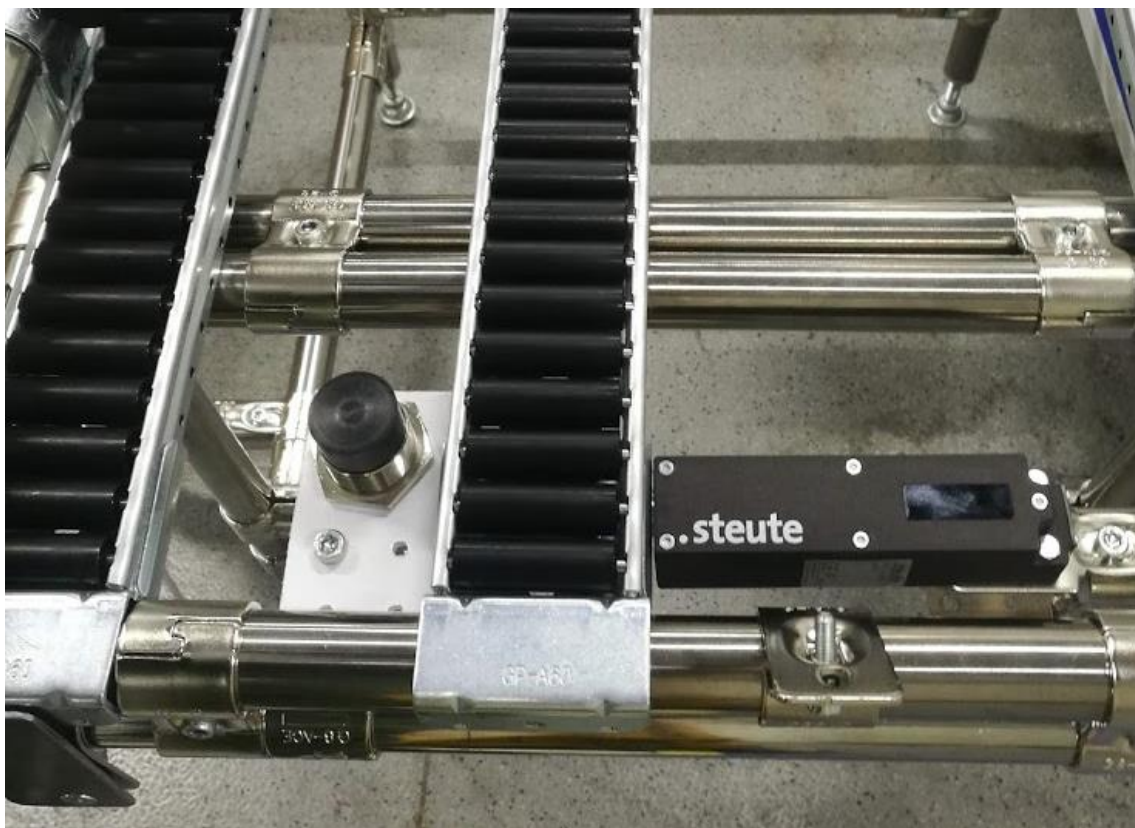
4.2 Laitteiston alustava valinta

Steutelta päätettiin tilata testaukseen vastaanotin RF Rx-4S, yleislähetin RF 96 ST, optinen anturi RF 96 LT ja induktiivinen anturi RF IS M30 nb-ST. Lähestymiskytkimiä hankittiin kaksi eri vaihtoehtoa: optinen anturi ja induktiivinen anturi. Induktiiviselle anturille tarvittiin RF 96 ST -yleislähetin, koska anturissa ei

ole optisen anturin tapaan integroitua lähetintä. Lisäksi tilattiin radiotoistin RF RxT-1K, jolla kantavuutta saadaan lisättyä, mikäli se osoittautuu liian heikoksi. Vastaanottimeksi valittiin RF RX-4S, koska sen relelähdöt ovat helppo kytkeä logiikkaohjaimen tuloportteihin ja RF RX-4S vaatii vain 22 mm:n tilan asennuskiskolta. Yleislähetin ja induktiivinen lähestymiskytkin maksoivat yhdessä noin 400 euroa, optinen lähestymiskytkin noin 300 euroa, vastaanotin noin 200 euroa ja toistin noin 200 euroa.

4.3 Testaus

Testauksessa asennettiin aluksi optinen ja induktiivinen anturi samaan puskurivarastoon (kuva 9). Asennuksessa hyödynnettiin puskurivaraston valmistuksessa käytetyn rakennussarjan osia. Ainoastaan induktiiviselle anturille täytyi valmistaa asennuslevy.



KUVA 9. Lähestymiskytkimet asennettuna puskurivarastoon

Testeihin osallistui kaksi henkilöä. Toinen henkilö sijoitti puskurivaraston testauspisteisiin ja toinen henkilö tarkkaili signaalin perille tuloa. Anturit sijoitettiin

puskurivaraston etuosaan havaitsemaan piirilevytelineen tai laatikon pohja. Optinen anturi asennettiin 10 mm:n etäisyydelle tunnistettavasta kappaleesta ja induktiivinen anturi 5 mm:n etäisyydelle. Induktiivisen anturin lähetin asennettiin 2 m:n korkeuteen, jotta saataisiin selville, vaikuttaako asennuskorkeus radiosignaalin kantavuuteen. Optisen anturin asennuskorkeus oli noin 50 cm. Testaus suoritettiin kolmessa vaiheessa.

4.3.1 Vaihe 1: antureiden tunnistuskyky ja kantavuus

Testit aloitettiin tutkimalla antureiden kykyä tunnistaa teräksinen piirilevyteline ja kuljetuslaatikon alumiinipohja. Lisäksi tutkittiin langattomien antureiden kantavuutta tehtaan sisällä. Ensimmäisissä testeissä vastaanotinta ei kytketty logiikkaohjaimen, eli käskyä ei mennyt robotille ja signaalia tarkkailtiin vastaanottimesta.

Testauksessa havaittiin kantavuuden kattavan hyvin koko toiminta-alueen, eikä radiotoistimelle ollut tarvetta. Toinen merkittävä havainto oli optisen anturin hyvä signaalinlähetysokyky lähettimen matalasta asennuskorkeudesta huolimatta. Yleislähettimen sijoittaminen 2 m:n korkeuteen ei parantanut merkittävästi lähetysokykyä. Molemmat anturit tunnistivat piirilevytelineen ja laatikon hyvin.

4.3.2 Vaihe 2: toimivuus käyttösijainnissa

Toisessa testissä testattiin systemaattisesti antureiden toimintaa niiden tulevissa sijainneissa. Testipaikkoja oli yhteensä 12, yksi jokaisen tuotantolinjan kummassakin päässä. Etäisyys lähettimeltä vastaanottimelle oli noin 10 - 30 m. Jokaisessa sijainnissa tehtiin molemmille antureille viisi testiä. Antureiden vastaanotin kytkettiin logiikkaohjaimen ja yhteys vastaanottimen ja logiikkaohjaimen välillä todettiin toimivaksi.

Kymmenessä sijainnissa anturit toimivat täydellisesti. Ainoastaan linjalla kaksi havaittiin ongelmia signaalin kantavuudessa. Kummassakin päässä linjaa optisen anturin signaalit tulivat hitaasti perille ja paikalla kaksi signaali jäi tulematta kaksi kertaa. Tulokset on esitelty kuvassa 10. Induktiivisen anturin toiminta oli hidasta linjan kaksi alkupäässä. Ongelmien korjaamiseksi kokeiltiin

vastaanottimen antennin sijainnin muuttamista, millä saatiin riittävä kantavuus jokaiselle tuotantolinjalle.

Induktiivinen

	Alkupää	Loppupää
Linja 1	5	5
Linja 2	5	5
Linja 3	5	5
Linja 4	5	5
Linja 5	5	5
Linja 6	5	5

Optinen

	Alkupää	Loppupää
Linja 1	5	5
Linja 2	1-4	5
Linja 3	5	5
Linja 4	5	5
Linja 5	5	5
Linja 6	5	5

Toimii	5
Ei toimi	0
Toimii puutteellisesti	1-4
Signaali hidas	5

KUVA 10. Antureiden testaustulos

4.3.3 Vaihe 3: kuljetus mobiilirobotilla

Kolmanessa testausvaiheessa mukaan otettiin mobiilirobotti, eli käskyt välitettiin logiikkaohjaimelta Enterprise Managerin kautta robotille. Testissä simuloitiin todellista tilannetta, jossa tyhjä piirilevyteline kuljetetaan robotilla lähtöpuskurivarastosta jättöpuskurivarastoon. Kumpaankin puskurivarastoon asennettiin omat anturit. Sovellusohjelmaan tehtiin muutokset siten, että kuljetuskäsky annettiin, kun lähtöpuskurivaraston anturi tunnisti piirilevytelineen ja jättöpuskurivaraston anturi ei tunnistanut piirilevytelinettä.

Tavaran kuljetus onnistui hyvin, mutta ongelmaksi muodostui ylimääräisten kuljetuskäskyjen syntyminen lastausvaiheessa. Tämä aiheutui anturisignaalista

puuttuvasta viiveestä. Ongelma ratkaistiin lisäämällä ohjelmaan 5 sekunnin viive kummallekin anturille. Toinen ylimääräinen kuljetuskäsky syntyi tilanteessa, jossa piirilevyteline on robotin kyydissä matkalla jättöpuskurivarastolle ja sillä aikaa lähtöpuskurivarastolle tulee uusi noudettava tuote. Ongelma ratkaistiin lisäämällä ohjelmaan laskuri. Laskurin luku kasvaa yhdellä lähtöpuskurivaraston anturin laskevasta reunasta ja laskuri nollaantuu jättöpuskurivaraston anturin nousevasta reunasta. Kuljetuskäskyä ei anneta, kun laskurin luku on suurempi kuin nolla.

4.4 Ohjelmointi

Ohjelmoinnissa käytettiin pohjana Omronin langattomien kutsunappien sovellusohjelmaa. Ohjelma oli tehty kahdeksalle kutsunapille, joilla lähetettiin kuljetuskäsky roboteille. Ohjelmaa muokattiin siten, että langattomat anturit voidaan kytkeä kutsunappien kanssa samaan logiikkaohjaimeen.

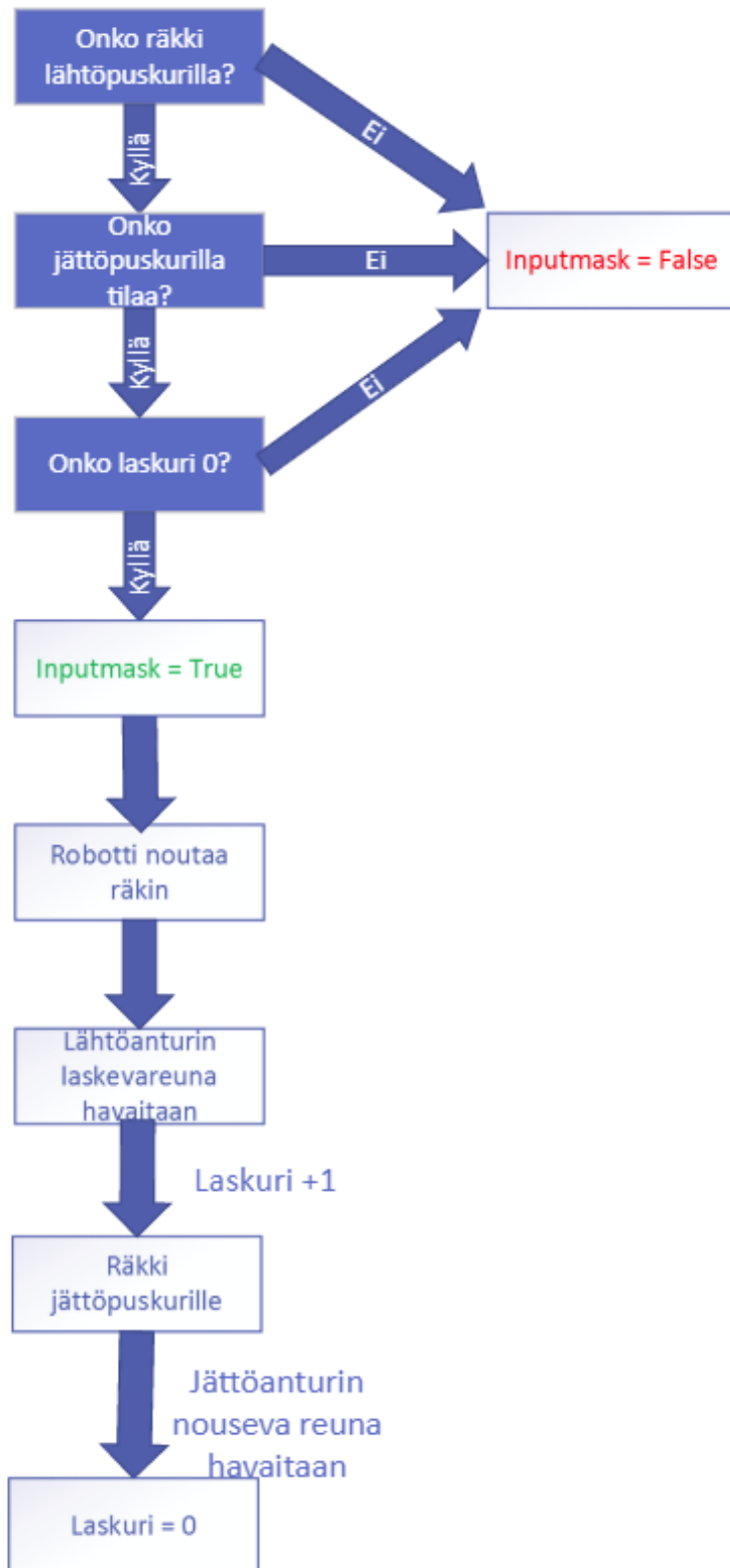
4.4.1 Alkuperäisen ohjelman toiminnan kuvaus

Logiikkaohjaimen tuloporteilla ohjataan Inputmask-taulukkomuuttujaa, jonka numeroarvoilla valitaan muistikortin CSV-tiedostosta mobiilirobotin kuljetuskomento. Komentoihin on määritetty kutakin kutsunappia vastaavat nouto- ja jättösijainnit. Ohjelma avaa CSV-tiedoston ja lukee komennot. Komennot muutetaan ohjelmassa ARCL-protokollaan ja lähetetään Ethernet-porttiin kytketyllä modeemilla Enterprise Managerille.

4.4.2 Ohjelman muokkaus

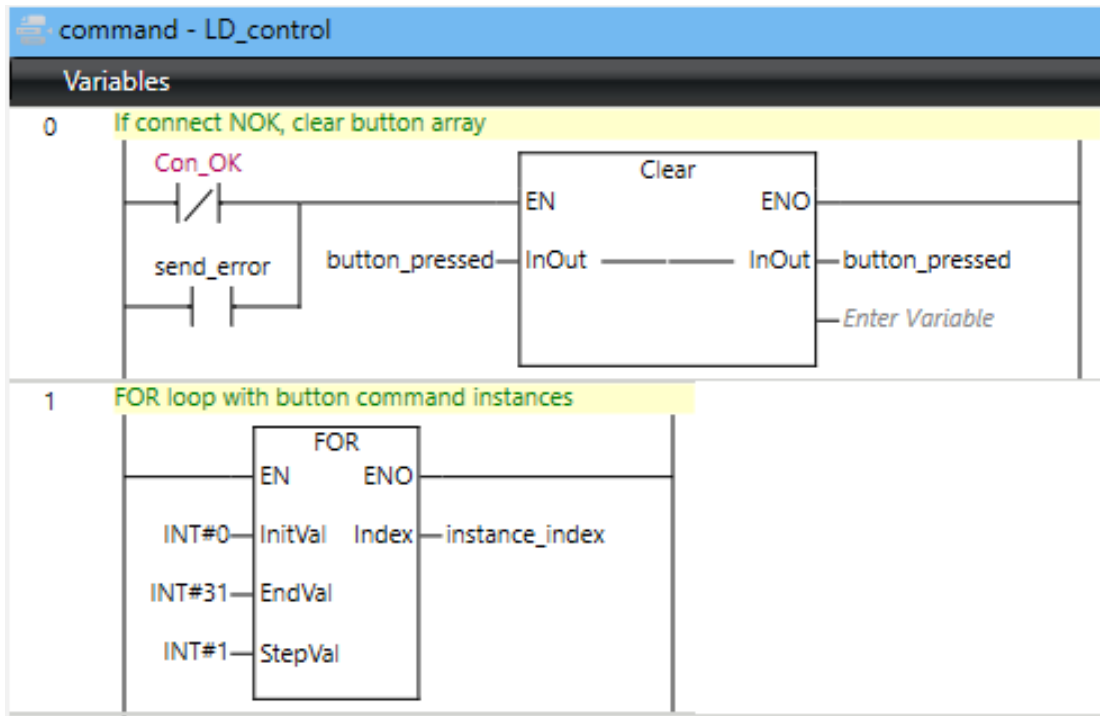
Ohjelma muokattiin toimimaan 16 kutsunapilla ja 30 anturilla. Kutsunappien toiminnot kopioitiin alkuperäisistä. Antureilla luotavaan kuljetuskäskyyn tarvittiin kahden anturin tilatieto, joten 30 anturilla saatiin 15 kuljetuskäskyä. Yhteensä käskyjä uuteen ohjelmaan saatiin 31.

Antureilla luotava automaattinen kuljetuskäsky täytyi syntyä tilanteessa, jossa noutopuskurilla on tuote ja jättöpuskurivarasto on tyhjänä. Lisäksi jättöpuskurin ylitäyttö oli estettävä laskurilla, joka estää kuljetuskäskyn syntymisen kuljetuksen aikana. Muissa tapauksissa Inputmask on nolatilassa eikä kuljetuskäskyä muodosteta. Kuljetuskäskyn vuokaavio on kuvassa 11.



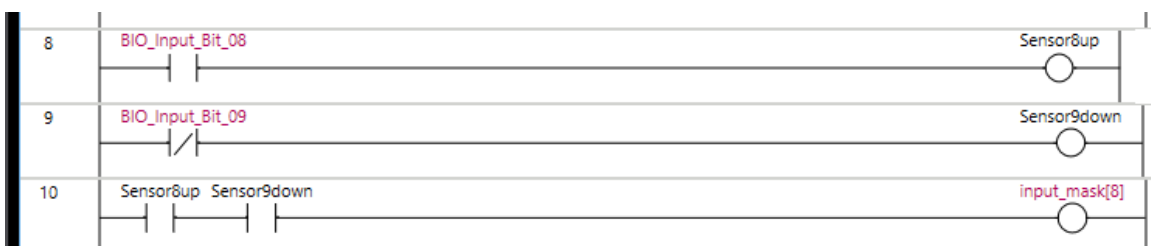
KUVA 11. Kuljetuskäskyn vuokaavio

Muokkaus aloitettiin laajentamalla kahdeksasta 31:een seuraavat taulukkomuuttajat: Inputmask, LD-Command, button_pressed ja sendcmd_inst. LD_command, Button_pressed ja sendcmd_inst liittyvät käskyn lähettävään LD-control-aliohjelmiaan. Konfigurointitiedostoa lukeva InDat-taulukkomuuttuja laajennettiin 21:stä 38:aan. LD-control-aliohjelmasta laajennettiin For-toistorakennetoimintalohko kahdeksasta 31:een (kuva 12).



KUVA 12. For-toistorakenne

Kuvassa 13 on kuljetuskäskyn ensimmäinen versio. Inputmask-taulukon numero kahdeksan on tosi-tilassa, kun boolean-muuttujat Sensor8up- ja Sensor9down- apumuuttujat ovat tosi-tilassa. Jotta Sensor8up olisi tosi-tilassa, täytyy BIO_Input_Bit_08 olla tosi-tilassa. Sensor9down on tosi-tilassa, jos BIO_Input_Bit_09 on epätosi-tilassa.



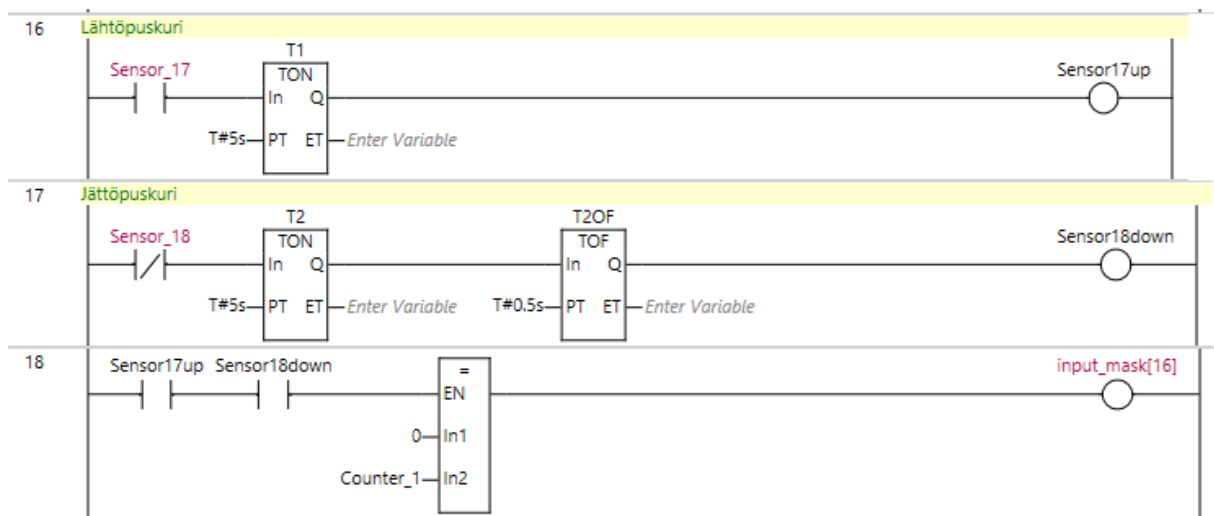
KUVA 13. Kuljetuskäsky

Antureille on lisätty 5 s:n käynnistysajastin, jotta anturi tunnistaisi vain paikallaan olevan rakin (kuva14). Viiveet ovat TON-tyyppiset toimintalohkot T1 ja T2.



KUVA 14. Kuljetuskäsky anturiviiveellä

Kuvassa 15 on lopullinen kuljetuskäsky. Inputmask-taulukkomuuttujalle on lisätty ehto, joka estää Inputmaskin, jos Counter_1 ei ole 0-arvossa.



KUVA 15. Lopullinen kuljetuskäsky

ST-kielellä luotu Counter_1-laskuri on kuvassa 16. Antureiden numerointi on muuttunut, koska ohjelma on laajennettu toimimaan useammilla antureilla ja kutsunapeilla. Laskurin arvo kasvaa yhdellä Sensor17up-apumuuttujan laskevasta reunasta ja laskuri nollaantuu Sensor18down-apumuuttujan laskevasta reunasta. Lisäksi koodissa on DelayToZero-ajastin, joka nolaa

laskurin 1200 s:n kuluessa. Lisäksi jättöpuskurin anturille lisättiin 0,5 s:n ajastin estämään ylimääräisiä tunnistuksia.

```
1  ///###Anturi17 ja Anturi18 räkkilaskuri###//  
2  F_trig17(clk:=Sensor17up);  
3  
4  F_trig18(clk:=Sensor18down);  
5  
6  IF F_trig17.Q THEN  
7      Counter_1 := Counter_1 + 1;  
8  END_IF;  
9  
10 IF F_trig18.Q OR DelayToZero_1.Q THEN  
11     Counter_1 :=0;  
12 END_IF;  
13  
14 DelayToZero_1 (IN:=StartDelay_1 , PT:=T#1200S );  
15  
16 IF Counter_1 >0 THEN  
17     StartDelay_1 :=TRUE;  
18 ELSE StartDelay_1 := false;  
19 END_IF;
```

KUVA 16. Laskuri

Logiikkaohjaimen tuloportit ovat laajennettu 46:een porttiin. Painonapit ovat porteissa 0 - 15 ja anturit porteissa 16 - 45.

Ohjelmointi oli aluksi haastavaa, koska automaatiojärjestelmä ei ollut tuttu eikä logiikkaohjelmoinnista ollut valtavasti kokemusta. Ohjelmointi onnistui kuitenkin alkuhaasteiden jälkeen hyvin. Sovellusohjelmaan lisättiin ominaisuuksia testauksissa ilmenneiden tarpeiden mukaisesti. Ohjelma oli käytössä muutamia viikkoja yhdellä tuotantolinjalla ennen lopullista laajennusta, eikä toiminnassa havaittu puutteita.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä ja käyttöönottaa langaton lähestymiskytkin ohjaamaan mobiilirobottia. Lähestymiskytkimen tuli olla varmatoiminen ja helppokäyttöinen. Lisäksi järjestelmän tuli olla helposti laajennettavissa.

Alkuperäinen idea oli liittää anturit painonappien kanssa samaan vastaanottimeen, mikä ei kuitenkaan ollut mahdollista. Oma vastaanotin antureille lisäsi hieman kustannuksia, mutta useammalla kuin yhdellä vastaanottimella voitiin suunnata antennit optimaalisesti ja saada riittävä kantavuus radiosignaalille. Steuten antureita oli tarjolla vain harvoilla myyntiliikkeillä, joten ne eivät löytyneet täysin vaivatta.

Induktiivisesta ja optisesta anturista valittiin käyttöön optinen anturi, koska se on noin 100 euroa halvempi ja sisäänrakennettu lähetin mahdollistaa helpon asennuksen. Painovoimatoimisen puskurivaraston hinta jäi yli kymmenen kertaa automaattista puskurivarastoa pienemmäksi.

Vaikka painonappien sovellusohjelma toimi pohjana ohjelmoinnissa, saatiin ohjelmointiin ja logiikkaohjaimen tutustumiseen käytettyä yllättävän paljon aikaa. Tietotaitoa hankittiin opinnäytetyön aikana myös Omronin järjestämästä Sysmac Studio -koulutuksesta, koska Omronin automaatiolaitteistot olivat ennestään tuntemattomia. Opinnäytetyön tekeminen kehitti logiikkaohjelmointitaitoja ja lisäsi tietoa robotiikasta.

Mobiilirobotit saatiin kuljettamaan tuotteita yhdellä linjalla tavoiteaikataulussa. Tavoitteena olisi ollut saada myös viisi muuta linjaa toimintaan, mutta aikataulua viivästyttivät logiikan laajennuksesta puuttuva osa ja opinnäytetyötä vaikeuttanut pandemiatilanne. Lopputyö oli mielenkiintoinen, koska siinä ei pelkästään suunniteltu tai ohjelmoitu laitteita vaan pyritään ottamaan anturit todelliseen käyttöön.

LÄHTEET

1. Ojanperä, Veijo – Sparrvik, Anne-Charlotte 2017. Mobiilirobotti mullistaa tehtaan logistiikan. ETN. Saatavissa: <https://etn.fi/index.php/13-news/5715-mobiilirobotti-mullistaa-testaan-logistiikan> Hakupäivä 12.3.2020.
2. Rantala, Teemu. Omron LD -mobiilirobotti. Algol Technics Oy. Saatavissa: <https://www.algoltechnics.fi/automaatio-ja-robotiikka/sairaalat-ja-terveydenhuolto/omron-ld-mobiilirobotti/>. Hakupäivä 22.2.2020.
3. LD-60/90. 2020. Omron. Saatavissa: <https://industrial.omron.fi/fi/products/ld-60-90>
4. Järvelä, Sami 2019. automaatioasiantuntija, Nokia Networks Oy. Opinnäytetyöaiheen esittely 9.10.2019
5. Enterprise Manager 1100. 2017. User's Guide. Omron. Saatavissa: http://www.omron.com.au/data_pdf/mnu/i615-e-01c_enterprise_manager_1100.pdf?id=3664. Hakupäivä 7.3.2020.
6. Wireless Pushbutton Switches A2W. 2019. Datasheet. Omron. Saatavissa: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v10/a270_a2w_for_eu_datasheet_en.pdf Hakupäivä 19.4.2020.
7. Wireless receivers with relay outputs. RF RX-4S. Löhne. Germany: Steute Technologien GmbH & Co KG. Saatavissa: <https://www.steute.com/en/wireless/products/wireless-receivers-with-relay-outputs/rf-rx-4s.html>. Hakupäivä 24.4.2020
8. Wireless optical sensor. RF 96 LT. Löhne. Germany: Steute Technologien GmbH & Co KG. Saatavissa: <https://www.steute.com/en/wireless/products/wireless-optical-sensors/rf-96-lt.html> Hakupäivä 24.4.2020.
9. NX1P2-9024DT1. 2020. Omron. Saatavissa: <https://industrial.omron.fi/fi/products/NX1P2-9024DT1>. Hakupäivä 24.5.2020

10. Keinänen, Toimi – Kärkkäinen Pentti – Lähetkangas, Markku – Sumujärvi Matti 2009. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOYpro Oy.
11. Machine Automation Controller. 2017. Hardware User's Manual. Omron. Saatavissa: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v2/w578_nx-series_nx1p2_cpu_unit_hardware_users_manual_en.pdf. Hakupäivä 18.4.2020.
12. RF 96 LT SW8686/915/917/922. 2018. Mounting and Wiring instruction/ Reflectie sensor. Löhne. Germany: Steute Technologien GmbH & Co KG. Saatavissa: https://www.steute.com/fileadmin/Produkte/steu/Montageanleitung/17921-RF_96_LT_SW868_915_917_922_1470898_oM.pdf Hakupäivä 23.4.2018.
13. RF 96 ST SW8686/915/917/922. 2018. Mounting and Wiring instruction/ Wireless switch. Löhne. Germany: Steute Technologien GmbH & Co KG. Saatavissa: https://www.steute.com/fileadmin/Produkte/steu/Montageanleitung/9282-RF_96_ST_SW868_915_917_922_1275896_oM.neu.pdf Hakupäivä 23.4.2018.
14. Wireless universal transmitter. RF 96 ST SW868. Löhne. Germany: Steute Technologien GmbH & Co KG. Saatavissa: <https://www.steute.com/en/wireless/products/wireless-optical-sensors/rf-96-it.html> Hakupäivä 24.4.2020.
15. RF RX SW8686/915/917/922-4S. 2018. Mounting and Wiring instruction/ Wireless receiver. Löhne. Germany: Steute Technologien GmbH & Co KG. Saatavissa: https://www.steute.com/fileadmin/Produkte/steu/Montageanleitung/21778-RF_Rx_SW868_915_917_922_4S_VDC_1367496_oM.neu.pdf Hakupäivä 24.4.2018.