



Elmeri Lehtinen

Kuormalavojen lajitteluprosessin kehityssuunnitelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

5.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Elmeri Lehtinen
Otsikko: Kuormalavojen lajitteluprosessin kehityssuunnitelma
Sivumäärä: 35 sivua
Aika: 5.11.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Toimitusjohtaja Jarkko-Pekka Pennanen
Lehtori Timo Tuominen

Insinööriyön tarkoituksena oli luoda kehityssuunnitelma, jonka avulla tulevaisuudessa pystyttäisiin kohottamaan lajittelulinjaston laadunvalvonnan tuotantotehokkuutta. Työn tavoitteena oli tuoda esille nykyaikaisia tuotannollisesti tehokkaampia ratkaisumalleja.

Tämä insinööriyö on toteutettu yhdessä toimeksiantajayrityksen Saku-Tek Oy:n sekä sen asiakkaan Encore Ympäristöpalvelut Oy:n kanssa. Siinä keskitytään kuormalavojen välitukien tarkastusvaiheen kehittämiseen. Työssä käsiteltiin nykyisen lajittelulinjaston toimivuutta nykyhetkellä sekä pyrittiin esittämään vaihtoehtoisia ratkaisuja sen kehittämiseen.

Insinööriyössä käytiin optisten laserantureiden, analogisten ultraääniantureiden sekä erilaisten konenäkösovelluksien yhteensopivuutta nykyiseen kokonaisuuteen. Työn aineisto kerättiin tämän päivän standardeja vastaavista artikkeli- ja internetlähteistä.

Insinööriyön lopputuloksessa on otettu huomioon, mitä toiveita ja ajatuksia asiakkaalla on tulevaisuuden suhteen. Kehityskohteeksi ilmeni muun muassa pneumaattinen laitteisto, joka on mahdollista korvata anturitekniikalla. Työn tavoite saavutettiin kehittämällä vaihtoehtoinen tuotantotehokkaampi ratkaisumalli.

Avainsanat: kuormalava, Beckhoff, konenäkö, anturi

Abstract

Author: Elmeri Lehtinen
Title: Development Plan for the Pallet Sorting Process
Number of Pages: 35 pages
Date: 5 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Automation engineering
Supervisors: Jarkko-Pekka, Pennanen, CEO
Timo Tuominen, Senior Lecturer

The purpose of the thesis work was to create a development plan that would help to increase the production efficiency of the quality control of the sorting line in the future. The aim of the work was to present modern, more productive and efficient solutions.

The thesis work was carried out in cooperation with the commissioner Saku-Tek Oy and its customer Encore Ympäristöpalvelut Oy, focusing on the development of the inspection phase of pallet intermediate supports. The work addressed the current functionality of the current sorting line and aimed to present alternative solutions for its improvement.

The compatibility of optical laser sensors, analogue ultrasonic sensors and various machine vision applications with the current system is discussed in the thesis. The material was collected from article and internet sources corresponding to today's standards.

The result of the engineering work takes into account the customer's wishes and ideas for the future. Among other things, pneumatic equipment emerged as a development target, which could be replaced by sensor technology. The objective of the work was achieved by developing an alternative, more production-efficient solution.

Keywords: Pallet, Beckhoff, Machine vision, Sensor

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Toimeksiantajan esittely	1
1.2	Asiakasesittely	2
1.3	Lähtökohdat ja kehityskohteet	3
2	Kuormalavalajittelu	3
2.1	Prosessi	5
2.2	Rullakuljetin ja lavakaataja	6
2.3	Laadunvalvonta	9
2.3.1	Konenäkö	11
2.3.2	Anturit	14
2.3.3	Pneumatiikka	15
2.4	Lajittelu	17
2.5	Beckhoff	19
2.5.1	EtherCAT	20
2.5.2	TwinCAT 3	21
3	Suunnitelma	22
3.1	Anturivaihtoehdot	22
3.1.1	Ultraäänianturi	23
3.1.2	Laseranturi	25
3.1.3	Välituen mittaus	27
3.1.4	Suojamekanismi antureille	29
3.1.5	Antureiden puhtaanapito	29
3.2	Konenäkö	30
4	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

Lyhenteet

- ADC: engl. Analog-to-digital conversion, eli analogitulon muunnos digitaaliseksi.
- DSP: engl. Digital signal processing, eli digitaalisen signaalin käsittely.
- PLC: engl. Programmable logic controller, eli ohjelmoitava logiikka.
- PC: engl. Personal Computer, eli henkilökohtainen tietokone.
- CPU: engl. Central Processing Unit; eli tietokoneen ydin, joka suorittaa viestinnän tietokoneen ja komponenttien välillä.
- MAC: engl. Media access controller, eli laitteen yksilöllinen koodi.
- SSI: engl. synchronous serial interface, eli sarjaliitännästandardi Masterin ja slaven välillä.
- VDC: engl. Volts of direct current, eli tasavirta.
- IoT: engl. Internet of Things, eli esineiden internet.
- HMI: engl. Human Machine Interface, eli käyttöpaneeli visualisoinnille ja ohjaamiselle.
- CMOS: engl. complementary metal-oxide-semiconductor sensor, eli metalli-oksidi-puolijohdeanturi, jota käytetään yleisesti kuvien luomiseen.

1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on kuormalavojen lajittelulinjaston laadunvalvonnan modernisoinnin suunnittelu. Insinööriyössä käydään läpi, miten nykyinen lajittelulinjasto toimii ja pyritään esittämään vaihtoehtoja sen kehittämiseen. Suunnitelman käyttöönotto on laaja-alaisempi kokonaisuus ohjelmien koodaamisen, laitteiden testauksien sekä rakenteellisten muutostöiden takia. Tämän vuoksi insinööriyöni rajataan kuormalavojen laadun valvonnan kehittämiseen.

Tämä insinööriyö toteutetaan yhdessä toimeksiantajayrityksen Saku-Tek Oy:n sekä sen asiakkaan Encore Ympäristöpalvelut Oy:n kanssa keskittyen kuormalavojen välitukien tarkastusvaiheen kehittämiseen. Insinööriyö on osana toimeksiantoa, jonka tehtävänä on suunnitella tuotannollisesti tehokkaampi laadunvalvontaratkaisu kuormalavojen lajitteluun laadun mukaan. Insinööriyötä toteuttaessa kirjoittaja on työskennellyt toimeksiantoyrityksessä. Insinööriyön tavoitteena on luoda teoreettinen suunnitelma mahdollisista ratkaisumalleista, joita voidaan hyödyntää myöhemmin tulevaisuudessa. Lopputuloksena on tarkoitus esittää asiakkaalle, miten eri ratkaisumallit sulautetaan teoriatasolla nykyiseen järjestelmään.

1.1 Toimeksiantajan esittely

Insinööriyön toimeksiantajana toimii Saku-Tek Oy, joka on vuonna 1996 perustettu sähkö-, automaatio- ja kunnossapitotehtäviin erikoistunut yritys. Yritys on osa WEST Invest Group -konsernia, joka tarjoaa monipuolisia teollisuuden energiapalveluita. Konserniin kuuluu yhdeksän yritystä ja työllistää noin 450 työntekijää Suomessa, Baltian maissa sekä Puolassa. Nykyinen Saku-Tek Oy:n toimistotila sijaitsee Keravalla. Yhtiön nimi on lyhenne päätoimialan sanoista sähkö, automaatio ja kunnossapito. Yrityksellä on yli 25 vuoden kokemus nimen mukaisilla osa-alueilla pääosin teollisuuden ja tuotannon parissa, mutta myös talotekniikan puolella. Projekteja Saku-Tek Oy:llä on tehty muun muassa kumija energiateollisuuteen, vedenkäsittely-, pölynpoisto- ja kiinteistötekniikan puo-

lelle sekä monelle muulle teknologiateollisuuden sektorille. Työntekijöitä yrityksellä on tällä hetkellä 28 mukaan lukien toimitus- sekä työnjohtajat, joista 18 on sähköisen ja loput mekaanisen asennustoiminnan puolella. (Saku-Tek Oy.)

Yrityksen toimintaan kuuluu sähkö- ja automaatio suunnittelu, sähkö- ja mekaanisten vikojen korjaus-, huolto- ja asennustyöt sekä keskusvalmistus. Keravalla sijaitseva yrityksen oma korjaamo mahdollistaa lisäksi kookkaiden sekä raskaiden koneiden, laitteiden ja teräsrakenteiden korjaamisen, valmistuksen sekä sähköistyksen. (Saku-Tek Oy.)

1.2 Asiakasesittely

Encore Ympäristöpalvelut Oy on Saku-Tek Oy:n pitkäaikainen asiakas ja sen päätoimiala on ympäristö- ja kierrätyspalvelut. Encore Ympäristöpalvelut Oy on perustettu vuonna 1943, joka alun perin toimi nimellä Jätekeskus Oy. Sittemmin yritys on toiminut nimellä Paperinkeräys Oy vuodesta 1960 vuoteen 2018 asti, jonka jälkeen nimeksi vaihtui yrityksen tämänhetkinen nimi. Encore Ympäristöpalvelut Oy on Stena Recycling Oy:n omistuksessa. Vuonna 2021 yrityksen liikevaihto on ollut 79 miljoonaa euroa ja työntekijöitä heillä on noin 220. (Encore Ympäristöpalvelut Oy 2022.)

Tässä työssä keskitytään Encore Ympäristöpalvelut Oy Klaukkalan toimintaan sekä sen kuormalavojen lajitteluprosessiin. Kuormalavojen korjaus tapahtuu Klaukkalassa yrityksen tiloissa, ja se on ulkoistettu alihankkijalle. Kuormalavapalveluita Encore Ympäristöpalvelut Oy alkoi tarjoamaan vuonna 2003, ja palvelu löytyy tällä hetkellä Sitran Suomen kiertotalouden kiinnostavimmat -listalta (Sitra 2019).

1.3 Lähtökohdat ja kehityskohteet

Encore Ympäristöpalvelut Oy on nostanut esille kehitystä kaipaavia toimenpiteitä insinööriyön aiheeseen koskien. Suunnittelua sekä keskusteluja parannusten tekemiseen on tehty jo pidemmän aikaa. Tällä hetkellä linjasto toimii moitteettomasti, mutta vuosien käytön jälkeen on kuitenkin huomattu kehityskohteita.

Encore Ympäristöpalvelut Oy:n pitkäaikaisen asiakkuuden myötä tuotantotilat ovat tulleet vuosien varrella useammalle toimeksiantajayrityksen sähköalan sekä mekaanisen alan ammattilaisille tutuksi. Samalla olen itse päässyt tutustumaan asiakkaaseen, yrityksen työntekijöihin sekä laitteistoihin.

Linjasto pystyy teoreettisesti sekä jo testatusti toimimaan käytännössä huomattavasti nopeammin ilman pneumaattista välitukien tarkastustoimenpidettä. Kuormalavan välitukien testaus pneumaattisilla sylintereillä toimii teoriassa erehtymättömästi, mutta hitaasti. Käytännössä kuitenkin välitukien kiinnitysnaulat aiheuttavat ongelmia, sillä välituki on saattanut lohjeta paloina pois, jolloin tilalle jäävät ainoastaan naulat. Naulat tuottavat ongelmia laadunvalvonnassa, sillä pneumaattisen sylinterin painuessa naulaa vasten sen anturitieto kertoo välituen olevan paikallaan virheellisesti. Tämän lisäksi kuormalavan pysäyttäminen kolmeen kertaan jokaista välitukirivin testausta varten on todella hidasta, kun otetaan huomioon, että sylinterit työntyvät vain toiselle puolelle välitukea. Suunnitelma käsittelee mahdollisia ratkaisumalleja, kuinka linjastoa pystytään ajamaan ilman turhia pysäytyksiä kuormalavan liikkuessa kuljettimella.

2 Kuormalavalajittelu

Käytetyt kuormalavat tulevat tuotantotiloihin pinoissa, joita ei ole lajiteltu laadun mukaan. Toimivan ja kannattavan yritystoiminnan varmistamiseksi on kuormalavat lajiteltava laadun mukaan, ennen kuin lavat myydään eteenpäin. Encoren asiakkaalla on mahdollisuus valita parhain, edullisin tai siltä väliältä oleva lava-laatu omiin tarpeisiinsa. Kaikki lavat ovat täysin ehjiä ja hyväkuntoisia, mutta

lautojen värisävy tai hammastus voi erota kiitettävästä kunnosta. Lavat lajitellaan puun värisävyn, lautojen välisten hammastusten ja kunnan sekä välitukien leimojen mukaan A-, B- ja C-laatuisiin pinoihin. Lajittelussa puun vaalea väri on parempi kuin tumma väri ja leimauksista A on paras vaihtoehto. Tämän lisäksi rikkiäisille lavoille löytyy oma pino, joka siirretään korjattavaksi.

Asiakasyritys on suunnitellut ja toteuttanut kuormalavojen lajittelun automatisoinnin aikanaan yhdessä yrityksen Move Automation Oy:n kanssa. Linjasto, joka kiertää tuotantotilaa myötäpäivään (kuva 1), on täysin automatisoitu ja toimii itsenäisesti. Työntekijöitä tarvitaan vain asettamaan lavapinot linjaston alkuun, sekä ottamaan lajitellut lavapinot pois. Tällä hetkellä lajittelulinjasto ei käy teoreettisella maksimiteholla, ja lajiteltujen lavapinojen laadun tarkkuus on noin 70 prosenttia.



Kuva 1. Kuormalavalajittelulinjasto kokonaisuudessaan tuotantotiloissa.

2.1 Prosessi

Kuormalavat saapuvat rekoilla vastaanottoon, josta ne siirretään lajittelulinjastolle. Lavat lastataan trukeilla, mutta linjastolle päästyään ne liikkuvat rullakuljetimilla, ja odottavat pääsyään laadun tarkastukseen. Rullakuljetin on kymmeniä metrejä pitkä ja siihen mahtuu samanaikaisesti noin 30 pinoa kahdenkymmenen lavan pinoja. Radalla sijaitsee useita antureita, jotka tunnistavat pinojen sijainnin ja mahdollistavat radan eri osien liikkumisen eri aikoihin. Näin pinot eivät törmää toisiinsa ja aiheuta tukoksia tai ongelmia pinojen siirtyessä lavakaatajalle. Lavakaataja ottaa pinon kerrallaan nimensä mukaisesti kaadettavakseen. Pinot kaadetaan hallitusti melkein vaakatasoon, kuitenkin kulmaan, josta ne eivät pääse kaatumaan niitä työnnettäessä pinon alapäästä. Kun lavakaataja on alasennessa, alarajakytkin antaa ohjelmalle luvan alkaa siirtämään lavoja laadun tarkastukseen. Laadun tarkastusprosessissa jokainen lava merkitään ohjelmallisesti ja näin lavan edetessä pystytään tekemään useampia tarkastuksia nimikoiduille lavoille niin, että ohjelma tietää, mikä lava on missäkin kohtaa linjastoa.

Ensimmäisenä lava kulkee konenäöllä varustetun kopin lävitse kansi alaspäin, jolloin lavan kunto tarkistetaan sen pohjasta. Seuraavaksi lava käännetään mekaanisella kääntimellä (kuva 2) kansi ylöspäin, josta se siirtyy toiseen konenäöllä varustettuun koppiin. Tässä kopissa tarkastellaan lavan laatua sivuilta sekä yläpuolelta. Lopuksi lava pysähtyy kolmeen kertaan, joista jokaisella pysähdyksellä pneumaattiset työntimet työntyvät lavan ylä- ja alalautoituksen välillä olevia välitukia kohden. Pneumaattiset työntimet antavat raja-arvotiedot ohjelmalle, joka niistä päätellen osaa kertoa, onko välituki paikallaan vai ei. Tämän jälkeen teollisuusrobotti lajittelee kuormalavat niiden laadun perusteella pinoihin A, B, C ja rikkinäiset.



Kuva 2. Lavojen kääntölaite.

2.2 Rullakuljetin ja lavakaataja

Rullakuljettimen (kuva 3) toiminta on hyvin yksinkertainen sekä järkevä. Radan rullia liikutellaan vain silloin, kun sille on tarve, jolloin vältetään osien turhalta kulumiselta, sillä linjaston on tarkoitus toimia joka päivä kellon ympäri. Rata koostuu pyörivistä rullista, joiden toisessa päässä on hammasrattaat sekä ketju, jolla rullat ovat liitettyinä toisiinsa. Rata on suunniteltu siten, että lavapinoja sekä yksittäisiä lavoja saadaan siirrettyä linjastolla suuntaan tai toiseen niin, että vain lavojen alla olevat rullat pyörivät. Kuljettimen rullissa on ohjureita, jotka pitävät lavat keskellä kuljetinta. Kuormalava ei pääse liikkumaan laadunvalvonnan aikana sivuttaissuunnassa kuin muutamia millijä. Ketjujen pyörimisestä vastaa sähkömoottorit, joiden ohjaus tapahtuu logiikalle tulevilta anturitiedoilta linjaston varrelta. Rullakuljetinta ohjataan omilla ohjauskeskuksilla automaatti- tai käsiajolla. Käsiajtoa käytetään vain harvoin tilanteissa, joissa esimerkiksi lavat ovat juuttuneet toisiinsa ja ne pitää saada erilleen.



Kuva 3. Rullakuljetin toisen konenäkökopin sisällä.

Lavakaatajan (kuva 4) tehtävä on kumota pystyssä oleva pino kyljelleen, jonka jälkeen lavakaataja työntää lavat varsinaiseen laadunvalvonnan vaiheeseen. Lavakaatajalle on oma sähkökeskus, jossa on oma logiikka ja I/O-moduuli lavojen kaadon prosessille. Lavan kaadon vaiheita ohjataan releillä ja kontaktoreilla. Releille ohjaustiedot tulevat I/O-moduulin tulopuolelta antureiden ja rajakytkimien tilatiedoista. Rajakytkimet ilmaisevat kaatajan asentoa ja anturit lavojen sijaintia kaatajassa. Kaataja painaa todella paljon, joten on päädytty hydraulisen pumpun ja -sylintereiden käyttöön. Sylinterit nostavat ja laskevat kaatajan alaja yläasentoihin. Lavakaatajaa voidaan ohjata automaattijolla tai käsiajolla ohjauskeskuksen (kuva 5) yläpinnassa sijaitsevista painonapeista.



Kuva 4. Lavakaataja pystyasennossa.



Kuva 5. Lavakaatajan ohjauskeskus.

Rullakuljetimen moottoreita ja lavakaatajan hydraulikka pumppuja ohjataan omista ohjauskeskuksista. Ohjauskeskuksissa on sisällä kontaktoreita,

moottorisuoja, taajusmuuttajia, turvareleitä, Omronin omat PLC:t sekä I/O-moduulit, joilla lavakaatajaa tai rullakuljettimen eri vaiheita ohjataan. Keskukset keskustelevat keskenään, eikä prosessi toimi, mikäli jossakin keskuksessa on jonkinlainen vika. Yleisin syy moottoreiden pysähtymiseen on turvapiirin aiheittama piirin aukeaminen, jolloin kaikki pysähtyy heti tämän sattuessa. Turvapiiriin on liitetty linjaston häkkialueen ovet sekä robotin läheisyydessä valoverho.

2.3 Laadunvalvonta

Laadunvalvonta ja -tarkastusvaihe alkaa, kun lava laskeutuu rullakuljettimelle kaatajalta. Anturi aktivoituu ja rullakuljetin siirtää lavan ensimmäiseen konenäkökoppiin. Konenäkökopissa kuormalava on pohja ylöspäin. Lava pysähtyy hetkeksi keskelle koppia tarkemman kuvan varmistamiseksi. Kuvan laadun varmistamiseksi käytetään lisävalaistusta ja vaaleita sisäseinämiä parhaan mahdollisen valaistuksen saamiseksi. Konenäkökopin sisäpuolella ylhäältä löytyy kamera, joka kuvaa pohjalautoja (kuva 6). Konenäkösovellus on ohjelmoitu tarkastamaan lautojen värisävy, hammastus sekä määrä. Yleisesti ottaen kaikki laudat löytyvät, sillä ihminen tarkastaa pinojen kantavuuden ennen niiden asettamista rullakuljettimelle. Kopissa on myös kamerat sivuseinillä välitukien korkeudella, jotka ottavat kuvat välitukien leimoista. Jokainen kuormalava on tehtäällä leimattu ja siinä näkyy alkuperäisten lautojen laatu sekä valmistusmaa. Jos leimaa ei löydy sovellus tunnistaa lavan korjatuksi, mikä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö lava voisi muuten olla täysin kunnossa.



Kuva 6. Kameranäkökopin sisällä.

Konenäkökoppien välillä on 360 astetta radan suuntaisesti pyörivä mekaaninen laite (kuva 2), mikä kääntää lavan oikein päin ennen toiseen konenäkökoppiin siirtymistä. Toisessa konenäkökoppissa tarkastetaan kuormalavan kannen lautojen kuntoa. Laadun vaikutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat lautojen väri, lautojen hammastus toisistaan sekä ovatko laudat ehjiä.

Konenäöllä suoritettujen laaduntarkastuksen vaiheiden jälkeen lavat siirtyvät välitukien tarkastusvaiheeseen. Tässä on käytetty paineilmalla toimivia sylintereitä. Pneumaattisia sylintereitä on käytetty kahteen tarkoitukseen tässä tilanteessa. Rullakuljettimen rullien välistä nousee pneumaattiset sylinterit pysäyttääkseen lavan oikealle kohdalle. Anturi antaa ohjelmalle tiedon, kun lava on paikallaan, jonka jälkeen lavan ensimmäisiä kolmea välitukea vasten painetaan pneumaattisilla sylintereillä. Näistä kolmesta sylinteristä saadaan rajatiedoilla selville, ovatko välituet lavassa paikallaan. Jos sylinteri pääsee liikkumaan vapaasti maksimietäisyyteen, voidaan todeta, ettei välitukea ole.

2.3.1 Konenäkö

Konenäkö on tietokoneen kykyä nähdä; se käyttää yhtä tai useampaa videokameraa, analogia-digitaalimuunnosta (ADC) ja digitaalista signaalinkäsittelyä (DSP). Tuloksena oleva data menee tietokoneelle tai robottiohjaimelle. Konenäkö mahdollistaa ihmisen korvaamisen monissa työtehtävissä tänä päivänä. Konenäköä voidaan hyödyntää teollisuudessa käytännössä rajoittamattomin mahdollisuuksin. Konenäköjärjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta kamerasta, linssistä, valaistuksesta, tietokoneesta ja ohjelmasta. Kamera tai kamerat ottavat kuvan, josta pystytään ohjelmalla valitsemaan alue, mitä halutaan tarkastella. (Lutkevich 2022.)

Laaduntarkastuksessa konenäköä on hyödynnetty useisiin eri variaatioihin. Konenäkösovelluksella pystytään tarkastamaan millimetrin tarkasti kuormalavojen kuntoon liittyviä arvoja, joiden perusteella lavat lajitellaan. Aikaisemmin prosessin kuvauksessa mainitussa ensimmäisessä konenäkökopissa kameroita on yksi kappale keskellä kopin yläosassa. Kameran tehtävänä on kuvata vääripäin olevasta lavasta pohjan lautojen määrä sekä niiden kunto. Lautoja toivotaan olevan kolme kappaletta, jolloin pohja määritellään ehjäksi. Tämän lisäksi konenäkö havaitsee, mikäli lautojen kunnossa on poikkeamia esimerkiksi haljenneet laudat määrittävät kuormalavan rikkinäiseksi, ja lopputarkastusprosessi on tätä myöten turha. Kuormalava kulkee normaalisti lajittelun loppuvaiheeseen, jossa robotti siirtää sen rikkinäisten lavojen pinoon. Lavojen ollessa ehjiä konenäkösovellus tekee vielä tarkastuksen laudoitusten värisävyille. Sävyyn ollessa tumma tai harmaa ohjelma merkitsee lavan B- tai C-laatuiseksi, ja mikäli sävy on vaalea sekä ehjä, on se tämän tarkastuksen jälkeen A-laatuinen.

Toisessa konenäkökopissa on kamera samassa sijainnissa kuin ensimmäisessä. Tämän lisäksi kameroita on asennettu myös rullakuljettimen kummallekin sivulle. Katossa sijaitseva kamera tekee samat tarkastukset kuin ensimmäisessäkin kopissa sijaitseva kamera, mutta kolmen laudan sijaan nyt halutaan, että päällyslautoja on viisi kappaletta. Rullakuljettimen sivuilla sijaitsevat kamerat molemmat ottavat yhteensä kolme kappaletta kuvia. Näistä kuvista tarkastel-

laan kuormalavojen välituissa olevien leimoja (kuva 7). Leimassa olevien tunnistusten tulee olla kaikkien kunnossa, jotta lava voi olla A-laatua. Leimatunniste voi olla kulunut tai välituessa ei ole leimaa ollenkaan, jolloin lavan laatu on B tai C.



1/2 brändäystä European Pallet Association eV

3 IPPC-merkintä kansallisten kasvinsuojelumääräysten mukaisesti (pakollinen EPAL-lavalle 1.1.2010 alkaen)

4 maakoodi

5 Toimivaltaisen kasvinsuojeluviranomaisen rekisterinumero

6 käsittelymenetelmä (lämpökäsittely)

7 EPAL-testiklipsiä (pakollinen)

8 testinaulaa (vain jos kyseessä on korjattu lava)

9 Lisenssinumero - vuosi – kuukausi

Kuva 7. kuormalavaleima ja merkien määrittely (European Pallet Association e.V. 2022).

Nykyisiä konenäkökameroita on yhteensä neljä kappaletta. Kun linjasto valmistettiin, on päädytty Baslerin valmistamiin acA1300-75gm-mallisiin kameroihin (kuva 8), joihin on lisätty Baslerin valmistama C124-0818-5M-P f8mm -mallinen objektiivi. Kameran PYTHON 1300 CMOS -kennolla pystytään ottamaan 1,3MP:n resoluutioisia kuvia 88 kappaletta sekunnissa. Kuitenkin nykyisessä sekä tulevaisuuden käyttötarkoituksessa riittää vain yksi kuva, jota tarkastellaan. Kameroiden suojana on AutoVimationin suojakotelot (kuva 9). (Basler 2022.)

Tämä Basler-objektiivi on osa Premium-tuotelinjaa ja tarjoaa erinomaisen kuvanlaadun korkealla resoluutiolla ja alhaisella vääristymällä. Tämä tekee Basler Premium -objektiivista optimaalisen kameroille, joissa on erittäin korkea resoluutio pienempienkin rakenteiden analysointiin. (Basler 2022.)



Kuva 8. Konenäkökamera.



Kuva 9. Konenäkökamera suojakotelossa.

2.3.2 Anturit

Anturi on laite, joka havaitsee syöttöärsyksen, joka voi olla mikä tahansa määrä, ominaisuus tai tila fyysisestä ympäristöstä, ja reagoi mitattavissa olevaan digitaaliseen signaaliin. Esimerkiksi syöttöärsyke voi olla etäisyys, paine, voima, virtaus, valo, lämpö, liike, kosteus tai mikä tahansa lukuisista muista ympäristöilmiöistä. Vastelähtö on yleensä sähköisessä muodossa oleva signaali, kuten esimerkiksi jännite, virta, kapasitanssi, vastus tai taajuus. Signaali muunnetaan luettavaksi näytöksi tai lähetetään sähköisesti verkon yli lukemista sekä muuta jakelua varten. Anturitieto käsitellään digitaalitulona, jonka arvo on nolla tai yksi riippuen käyttötarkoituksesta. (Javaid & Haleem & Pratap Singh & Rab & Suman 2021.)

Antureita on käytetty lajittelulinjastolla useisiin eri käyttötarkoituksiin. Suurin osa antureista on ultraääniantureita, jotka soveltuvat kyseisen tuotantolaitoksen tiloihin täydellisesti. Ultraäänianturit toimivat erinomaisesti varsinkin likaisissa tiloissa. Ultraääniantureiden toiminta ei vaadi aktivoivalta objektilta mitään tiettyä materiaalia, jonka vuoksi puisten kuormalavojen tunnistukseen on päätetty käyttää näitä antureita.

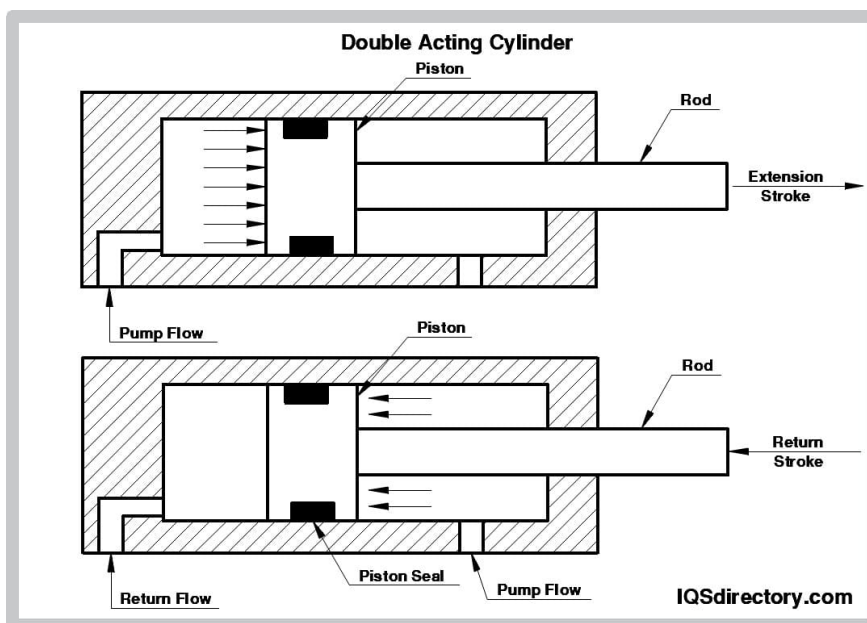
Anturitiedoilla ohjataan rullakuljettimen eri sektioita. Yksinkertaistettuna, kun lava saapuu anturin kohdalle, anturitiedolla pystytään havaitsemaan lava tai lavapino. Anturitiedot antavat ohjaus- sekä sijaintitietoja ohjelmalle, joka tilanteen mukaan joko pysäyttää tai liikuttaa lavoja rullakuljettimella. Ennen laaduntarkastus prosessia lavapinoja vain liikutellaan rullakuljettimella. Lavakaatajan jälkeen yksittäisiä lavoja pysäytetään hetkeksi konenäöllä suoritettavaa kuvausta varten.

2.3.3 Pneumatiikka

Pneumatiikka on yksinkertainen ja luotettava tapa saada asiat liikkumaan pelkällä puhtaalla ja kuivalla ilmalla. Pneumaattiset järjestelmät käyttävät paineilmaa mekaanisten liike- ja tehosovellusten luomiseen tehdasautomaatiojärjestelmissä. Pneumatiikkaa nähdään myös monissa muissa sovelluksissa kuorma-autoissa, lääketieteellisissä sovelluksissa ja ruuan valmistamisessa sekä paineilmatyökaluissa ja puhallusmuovauksessa (Norgren.)

Pneumatiikka käyttää ilmakompressoria pienentämään ilman määrää sen painetta lisäämiseksi. Tämä siirtyy sitten suodattimen läpi pneumaattiseen letkuun, jossa sitä ohjataan venttiileillä ennen kuin se saavuttaa toimilaitteen, joka tekee työn prosessin lopussa. Se voi olla sylinteri tai laite, joka suorittaa toiminnon, esimerkiksi nostaa, liikuttaa tai tarttuu. (Norgren.)

Pneumaattinen sylinteri on mekaaninen laite, joka muuntaa paineilmaenergian edestakaiseksi lineaariseksi liikkeeksi. Kaksitoimisessa sylinterissä (kuva 10) käytetään paineilmaa männän siirtämiseen sisään ja ulos, kun taas yksitoimisessa sylinterissä käytetään paineilmaa yhteen suuntaan ja palautusjousta toiseen. Niissä on lukuisia lisävarusteita, kuten antureita männän asennon havaitsemiseen ja erilaisia asennustarvikkeita sylinterin asentamiseen tai komponenttien lisäämiseen männän päähän. Useat lineaarista liikettä vaativat teollisuudenalat käyttävät pneumaattisia sylintereitä, koska ne ovat yksinkertaisia käyttää ja ovat kustannustehokas ratkaisu. (Tameson 2022.)



Kuva 10. Kaksitoimisen sylinterin toiminta kuvattuna (Industrial Quick Directory).

Pneumaattisilla sylintereillä on monia etuja suhteellisen alhaisten ensikustannusten, käytön yksinkertaisuuden ja kestävyuden suhteen. Pneumaattisen sylinterin integroimiseksi automatisoituun järjestelmään säätimeen on syötettävä sähköisiä signaaleja, jotka osoittavat sylinterien asennon. Tätä tarkoitusta varten pneumaattisten sylintereiden valmistajat, koneenvalmistajat ja loppukäyttäjät ovat kehittäneet useita tapoja havaita pneumaattisen sylinterin liikettä tai sijaintia ja antaa sähköinen signaali ohjausjärjestelmään. (Moermond 2016.)

Nykyisessä laaduntarkastuksen prosessissa on käytössä viisi sylinteriä, joiden tarkoituksena on tarkastaa, ovatko välituet ehjät tai paikallaan (Kuva11).

Ulostyöntyneet sylinterit pysäyttävät lavan, jolloin anturi tunnistaa lavan ja aktivoi kolme muuta sylinteriä tekemään toimenpiteen välituen tunnistusta varten. Kuvan keskellä näkyvä sylinteri nousee ensimmäisenä ylös ja työntyy sen jälkeen vasten lavan keskellä olevaa välitukea. Rullakuljettimen sivuilla sijaitsevat edelleen alkuasennossa olevat sylinterit työntyvät samanaikaisesti lavan sivuissa olevia välitukia vasten. Sylinterin sisällä on magneettinen anturi, joka on asetettu akseliin siten, että se aktivoituu sylinterin työntyessä kokonaan ulos. Anturin raja-arvoa on hyödynnetty ohjelmassa tunnistamaan välitukien

puuttuminen. Mikäli sylinterin anturi ei aktivoidu, ohjelma tietää, että välituki on paikallaan.



Kuva 11. Pneumaattiset sylinterit.

2.4 Lajittelu

Lajittelu tapahtuu aina määritetylle kuormalavamäärälle kerrallaan. Ohjauspaneelille näppäillään lavamäärä, joka on saapunut tuotantotiloihin asiakkaalta tai muu haluttu määrä lajiteltavaksi. Lavojen määrän ilmoittaminen ohjelmalle voidaan tehdä myös automaattisesti. Kun lisätään halutun erän lavojen ensimmäiseksi lavaksi vihreä kuormalava, tunnistaa ohjelma tästä alkaneeksi uuden erän. Tämän lisäksi erän viimeinen lava tulee olla vihreä, jotta linjasto tunnistaa erän viimeisen lavan. Linjasto ajaa halutun määrän laadunvalvonnan läpi, jonka jälkeen pysähtyy automaattisesti.

Kuormalavoilla on tässä vaiheessa annettu ohjelmallisesti mahdollisimman tarkka kuntoluokitus rikkiäisestä A-luokan lavaksi. Lavojen kuntotieto kerrotaan teollisuusrobotille, joka siirtää kuormalavan oikeaan pinoon. Ohjelma tallentaa jokaisen lavan tiedot tietokantaan. Valmiit lavapinot siirretään varastoon valmiiksi asiakkaalle lähettämistä varten. Näin pystytään myös inventoimaan varaston arvoa, sillä tiedetään, miten paljon minkäkin arvoista lavaa on varastossa.

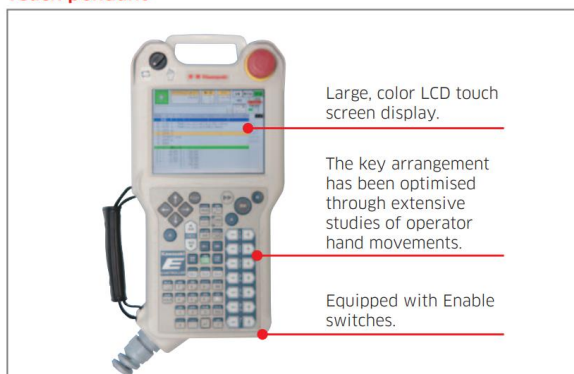
EUR/EPAL-kuormalavan massa tyypillisesti on noin 20–22 kg, paino saattaa erota tyypillisestä massasta muutamilla kiloilla puulajien tai -kosteuden takia (Logistiikan maailma 2022). Teollisuusrobotin tekemä työ itsessään ei ole mitenkään monimutkainen prosessi, josta ihminen ei selviäisi. Olisi hyvin mahdollista, että ihminen lukee lavan kuntuokitus tiedon näytöltä ja siirtää lavan oikeaan pinoon.

Lajittelun suorittaa Kawasaki Roboticsin kuusiakselinen robottimalli ZX130L, jonka nostokyky on 130 kg (kuva 12). Massa jalustaa lukuun ottamatta on 1400 kg, silti maksiminopeus käden liikkeille on jopa 230 mm/s. Ulottuvuus kädelle on maksimissaan 2951 mm robotin jalustan keskipisteestä. (Larraioz elektronika.) Robotin opettaminen on tapahtunut opetustyökalulla (kuva 13), ja tiedonsiirto kulkee EtherCAT-väylällä.



Kuva 12. Kawasakin teollisuusrobotti.

Teach pendant

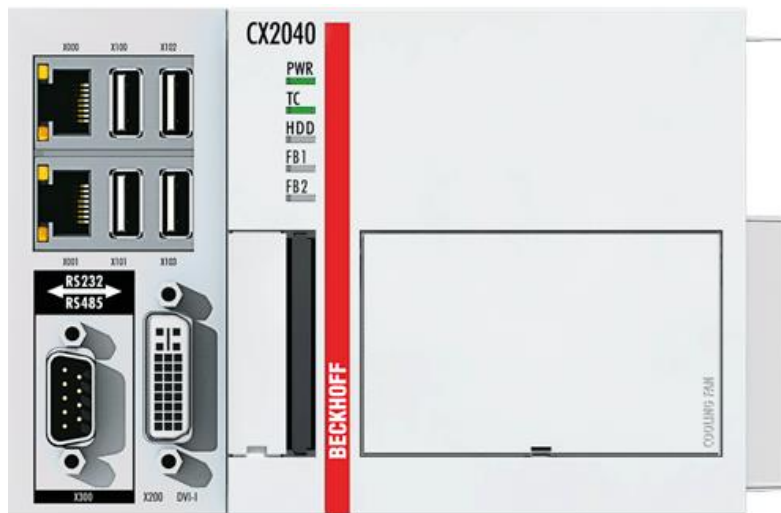


Kuva 13. Opetustyökalu robotille (Larraioz elektronika).

2.5 Beckhoff

Kuormalavalinjaston automatisoitu ympäristö on rakennettu Beckhoffin teollisuus-PC:n ympärille (kuva 14). Beckhoffin teollisuus PC:ee on teholuokiteltu tunnuksin: kirjain P, jonka perässä on numero kertomassa tehosta. Mitä suurempi numero on, sitä tehokkaampi PC on kyseessä. Käytössä oleva PC on teholuokaltaan P70 High Performance eli korkean teholuokan tietokone. 4-ytiminen 4 GB:n keskusmuistilla varustettu tehokas tietokone pystyy siirtämään dataa riittävästi nykyisessä ratkaisumallissa sekä vielä pitkään tulevaisuudessa. (Beckhoff 2022.)

Nykyinen automaatiojärjestelmä on suunniteltu ja toteutettu Beckhoffin edellisellä ohjelmointialustalla TwinCAT 2:lla. Ohjelma kääntäminen TwinCAT 3 -alustalle onnistuu kuitenkin kätevästi. Etuna uudemman sukupolven TwinCAT 3 -alustalla on, ettei ohjelmointiin tarvitse omaa lisenssiä toisinkuin edeltävässä TwinCAT 2:ssa. Kun TwinCAT 3 -pohjainen ohjelma ajetaan laitteistoon sisään, on lisenssi aktivoitava käyttöä varten. Ilmaisella kokeilulisenssillä pystyy käyttämään järjestelmää kymmenen päivää, kunnes järjestelmä ilmoittaa lisenssin puuttumisesta. (Beckhoff 2022.)

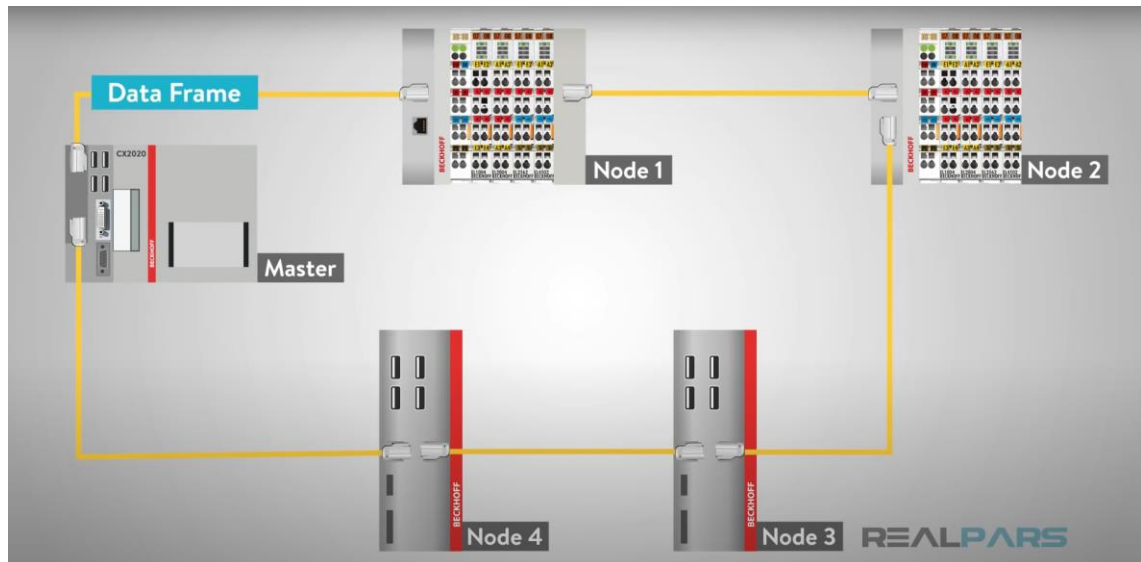


Kuva 14. Beckhoff CX2040 CPU -moduuli (Beckhoff 2022.)

2.5.1 EtherCAT

EtherCAT on reaaliaikainen teollinen Ethernet-tekniikka, jonka alun perin on kehittänyt Beckhoff Automation. EtherCAT-protokolla soveltuu vaikeisiin ja yksinkertaisempiin reaaliaikaisiin vaatimuksiin automaatiotekniikassa, testauksessa ja mittauksessa sekä monissa muissa sovelluksissa. (EtherCAT Technology Group.)

EtherCAT Master lähettää sähkeen, joka kulkee jokaisen noden eli solmun läpi. Jokainen EtherCAT Slave lukee sille osoitetut tiedot lennossa ja lisää tietonsa kehukseen kehysten liikkua alavirtaan eli eteenpäin (kuva 15). Kehystä viivästyvät vain laitteiston etenemisviiveet. Segmentin (tai pudotuslinjan eli päättyvä EtherCAT yhteys) viimeinen node havaitsee avoimen portin ja lähettää viestin takaisin EtherCAT-Masterille. (EtherCAT Technology Group.)



Kuva 15. EtherCAT-väylän Master-Slave-datansiirto (Anderson 2019).

EtherCAT Master on segmentin ainoa node, joka voi lähettää aktiivisesti EtherCAT-kehysten; kaikki muut solmut vain välittävät kehyksiä alavirtaan. Tämä konsepti estää arvaamattomat viiveet ja takaa reaaliaikaiset ominaisuudet. Master käyttää tavallista Ethernet Media Access Controller (MAC) -ohjainta ilman ylimääräistä viestintäprosessoria. Näin master voidaan asentaa mihin tahansa laitteistoalustaan, jossa on käytettävissä oleva Ethernet-portti riippumatta siitä, mitä reaaliaikaista käyttöjärjestelmää tai sovellusohjelmistoa käytetään. EtherCAT Slave -laitteet käyttävät EtherCAT Slave Controller (ESC) -ohjainta käsittelemään kehyksiä lennossa ja kokonaan laitteistossa, jolloin verkon suorituskyky on ennustettavissa ja riippumaton yksittäisen slave-laitteen toiminnasta. (EtherCAT Technology Group.)

2.5.2 TwinCAT 3

TE1000 on TwinCAT-kehitysympäristö ohjauksen, taajuusmuuttajan ohjauksen ja I/O:iden kätevään konfigurointiin. Lisäksi työkalu sisältää Beckhoffin turvallisuusratkaisun TwinSAFE:n konfiguroinnin ja ohjelmoinnin. TwinCAT 3 Engineering on integroitu Visual Studioon. Visual Studio täysi versio vaaditaan, jos ohjelmointi tehdään C++:lla. Puhtaat konfiguroinnit tai PLC-ohjelmointi voidaan

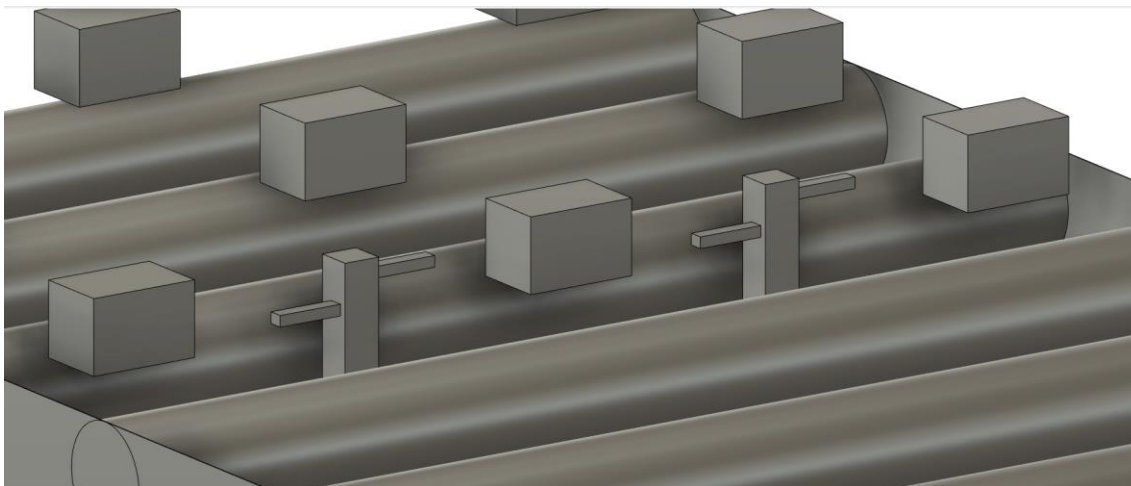
suorittaa mukana tulevassa ilmaisessa Visual Studio -kuoressa. Yhteys lähdekoodin ohjaustyökaluihin on täysin integroitu. Myös PLC:n ohjelmointi tapahtuu täällä. Useampi kuin yksi PLC voidaan luoda ja ohjelmoida. PLC:n tulot ja lähdöt voidaan linkittää I/O-moduulin tuloihin ja lähtöihin. Ohjelmia voi seurata ja virheenkorjaus verkossa. C++-moduulien luominen ja ohjelmointi tehdään yksinkertaisesti ohjattujen toimintojen avulla. Editorina käytetään Visual Studion C++-kehitysympäristöä. Tässäkin määritellään tulot ja lähdöt, jotka voidaan vuorostaan linkittää I/O-tason tuloihin ja lähtöihin. (Beckhoff 2022.)

3 Suunnitelma

3.1 Anturivaihtoehdot

Antureita on käytetty rullakuljettimen eri vaiheissa, mutta miten niitä voisi hyödyntää laadunvalvonnallisesti. Anturit ovat erittäin kehittyneitä ja tarkkoja myös etäisyyksien mittaukseen. Tähän sovellukseen pystyy käyttämään mikrometrien tarkkuudella mittaavia laserantureita mutta yhtä hyvin ultraääniantureita, jotka soveltuvat paremmin likaisiin olosuhteisiin. Antureita on tarkoitus asentaa kuusi kappaletta niin, että aina kaksi anturia on tunnistamassa yhtä välitukea.

Kuvassa 16 näkyy hahmotelma telineelle, joka tulisi valmistaa ja asentaa rullakuljettimen yhteyteen. Telineessä on neljä vaakatasossa olevaa kiinnityskohtaa, joihin anturit tulisi kiinnittää. Tämän telineen lisäksi kaksi anturia sijoitettaisiin rullakuljettimen sivuille tunnistaman laitimmaisista välitukia ulkopuolelta. Antureiden kiinnityskohdat ovat muutaman sentin eri korkeuksilla, ajatuksena tarkastella välitukien etäisyyttä jokaisesta kohdasta, sillä välituki voi lohjeta vain osittain. Eli jos anturit ovat samalla tasolla esimerkiksi välituen alareunassa vastakkain, saattaa palikka olla haljennut yläkulmasta, mutta anturitietojen perusteella välituki on kunnossa. Suunnitellussa telineessä on edelleen virhemarginaali, mutta se on huomattavasti pienempi kuin nykyisessä ratkaisussa tai mitä olisi telineessä, jossa anturit osoittaisivat välitukeen samalta korkeudelta.



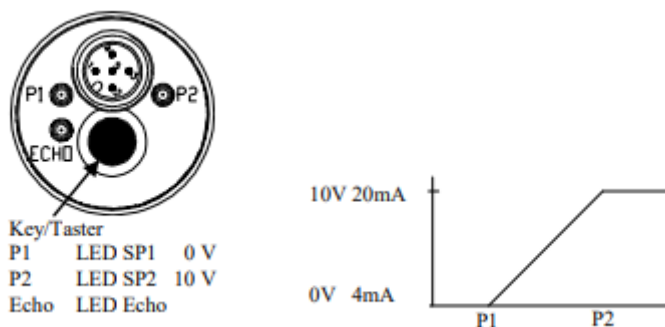
Kuva 16. Anturitelnehahmotelma, antureille välitukien välissä (3D-mallinnettu Autodesk Fusion 360 sovelluksella).

3.1.1 Ultraäänianturi

Ultraäänianturit ovat millimetrien tarkkuudella mittaavia antureita. Useimpien mallien tunnistusetäisyydet ovat ohjelmoitavissa. Tunnistusetäisyyksiin löytyy monta eri mallia, joista tarkastelen skaalaus- ja sijaintiopetusominaisuudella olevia antureita. Molemmat anturit toimivat 24 VDC ja antureista saadaan lähtötietona 4–20 mA, jota pystytään hyödyntämään etäisyyksien määrittämiseen (OEM Finland Oy).

Ultrasonic:in etäisyysanturi P44-160-M30-UI2PCM on opetettava ultraäänianturi. Anturin tunnistusetäisyys on 80–1600 mm, joka riittää välituen tunnistamiseen. Anturilla on kaksi opetus painiketta: P1 ja P2. P1-arvo opetetaan painamalla painiketta pohjassa noin kahdeksan sekunnin ajan, jonka jälkeen P1-led sekä echo-led alkavat vilkkua noin 2 Hz:n taajuudella. Kun painikkeesta päästetään irti ja P1-led alkaa vilkkua ~0,5Hz ja echo-led on normaalitilassa, jolloin P1 on opetustilassa. Opetustilassa objekti asetetaan halutulle etäisyydelle, jonka jälkeen painiketta painetaan ja vapautetaan, jolloin P1-etäisyys on ohjelmoitu (kuva 17). Normaalitilassa ilman tarkasteltavaa kohdetta anturi lähettää 4mA:n viestiä ohjelmalle. Tämä arvo ohjelmoidaan tiedoksi: ei välitukea. P2-etäisyys opetetaan samalla tavalla kuin P1. Ainoana erona P1:een on, että painiketta pidetään aluksi noin 16 sekunnin ajan pohjassa, jonka jälkeen P2-led ja echo-led

alkavat vilkkua samalla taajuudella kuin P1:stä ohjelmoitaessa (OEM Finland Oy).



Kuva 17. P44-160-M30-UI2PCM-opetus painike ja echo led (OEM Finland Oy).

Ultraäänianturin P43-F4Y-2D-1D0-360E (kuva 19) toiminta on sama kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa, mutta tunnistusetäisyys on pienempi 30–400 mm (OEM Finland Oy.). Tämäkin on oikein riittoisa etäisyys välitukien tunnistukseen. Anturin opettamiseen ei ole tässä mallissa omaa painiketta, vaan se tapahtuu yhdistämällä anturin omassa kaapelissa olevan vaaleanpunainen johdin maahan eli tässä tapauksessa anturin kaapelin sinisen johtimen kanssa samaan kytkentäpisteeseen. P1- ja P2-opetus tapahtuu samoin periaattein hiukan eroavilla ohjelmointipainikkeen painallusajoilla. Toimintaperiaate ohjelmoinnin jälkeen on sama molemmissa malleissa. Kummankin anturin tunnistusetäisyyksien lineaarisuus heittää noin 2 mm. Kun tarkastellaan välitukia, niiden koko saattaa heittää jopa lähemmäs 10 mm, joten 2 mm:n virhemarginaali etäisyyden mittaukseen käytettävissä antureissa on tähän käyttötarkoitukseen hyväksyttävä.



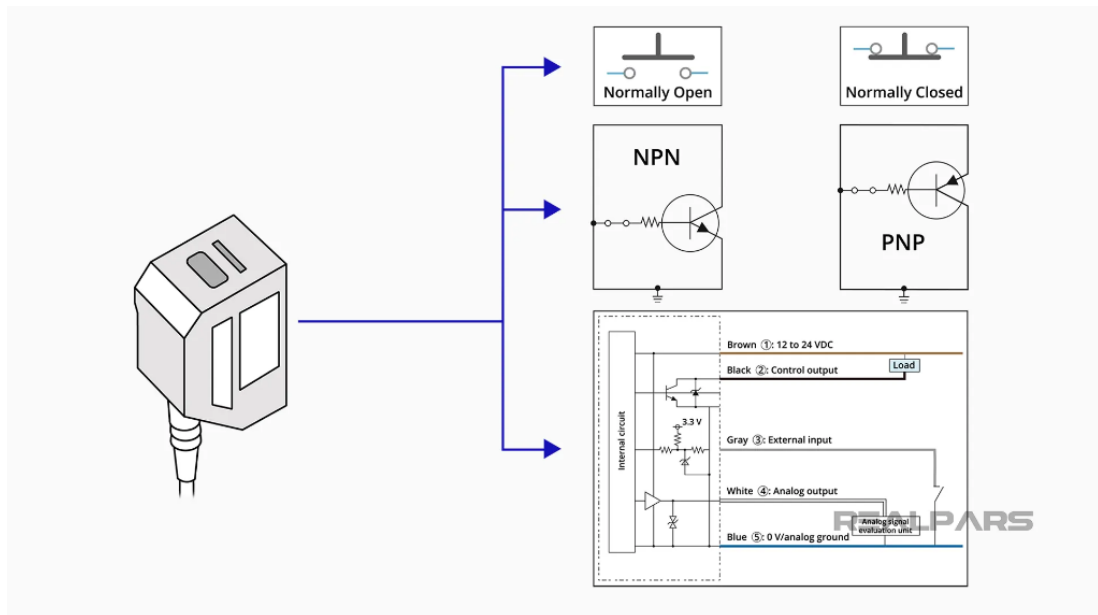
Kuva 19. Ultraäänianturit P44-160-M30-UI2PCM ja P43-F4Y-2D-1D0-360E (OEM Finland Oy).

3.1.2 Laseranturi

Laseranturi on sähkölaite, joka käyttää kohdistettua valonsädettä havaitakseen kohteen läsnäolon, poissaolon tai etäisyyden. Laseranturin lähettämä valo on pieni kirkas piste, joka muistuttaa laserosoitinta. Tämä piste on tarpeeksi kirkas, jotta se näkyy helposti jopa suorassa auringonvalossa. Tämän pisteen näkeminen helpottaa laseranturin asentamista ja vianetsintää. Joissakin laserantureissa valo voidaan sammuttaa, kun anturia ei käytetä. (Stykemain 2022.)

Lasersensorin toiminta: Ensin valo kulkee anturista kohteeseen. Valo pomppaa sitten kohteesta takaisin anturiin. Sen jälkeen anturi laskee etäisyyden määrittämiseksi, kuinka kauan valon matka kohteeseen ja kohteesta kesti. Jos kohde oli anturin toiminta-alueella, anturin lähtö kytkeytyy päälle. Jos kohde ei ollut anturin alueella, lähtö jää pois päältä. Sen määrittäminen, milloin laseranturin lähtö kytkeytyy päälle, riippuu siitä, minkä tyyppinen laseranturi sinulla on. Jos kyseessä on vain peruslaseranturi, käännetään vain laseranturin valitsinta tai renasta, jotta saadaan säädettyä anturi minimiasetuksesta maksimiasetukseen. Muissa laserantureissa on näyttö ja painikkeet, joilla määritetään anturin minimi- ja maksimiasetukset. Muut laseranturit puolestaan vaativat, että niihin on liitetty tietokone minimi- ja maksimiasetuksien määrittämiseksi. (Stykemain 2022.)

Laseranturit toimivat erittäin hyvin pölyisissä olosuhteissa. Laseranturin kirkkaalla valolla on vähemmän ongelmia pölyisissä ympäristöissä verrattuna muihin anturityyppeihin. Muut valonlähteet eivät vaikuta laseranturin kirkkaaseen valoon. Laserantureita voidaan käyttää jopa suorassa auringonvalossa. Laseranturin valopisteen pienen koon ansiosta se toimii hyvin pienten kohteiden havaitsemisessa. Laserantureita voidaan käyttää myös tarkkaan paikannukseen. Laserantureilla voi olla myös erittäin pitkä toiminta-alue tarvittaessa. (Stykemain 2022.)



Kuva 20. Anturilta luettavat lähtötiedot (Stykemain 2022).

Optisissa etäisyysantureissa päästään jo mikrometrien tarkkuusluokkaan. Tarkasteltava Datalogicin etäisyysanturi S67 (kuva 21) ylittää huikeaan 30 μm :n virhearvoon 50 mm:n matkalla. Anturin vasteaika lähettää etäisyysarvo eteenpäin on vain 0,9 ms, joka mahdollistaa kuormalavojen pysäytyksettömän ajon välitukia tarkasteltaessa. Anturin selkäpuolella on kirkas silmä, jonka alla on vihreä ja punainen ledi. Vihreä ledi palaa, kun anturi saa virtaa ja punaisen ledin palassa on kyseessä hälytys eli virhe anturin toiminnassa; esimerkiksi likainen linssi. (OEM Finland Oy.)

S67-anturi on opetettavissa kahdella eri tavalla, joko anturissa olevalla painikkeella tai input-tiedolla. Anturin opetus tapahtuu painamalla opetuspainiketta pohjassa, kunnes punainen ledi syttyy. Kun punainen led on syttynyt. Painiketta tulee painaa noin viiden sekunnin ajan pohjassa, jotta ledi alkaa välkkymään. Anturi on ensimmäisen sijainnin opetustilassa, ja mitattava kohde voidaan sijoittaa sijaintiin, joka tuottaa myöhemmin 0 V:n tai 4 mA:n arvon. Kun painetaan painiketta uudelleen lyhyesti, ledi lakkaa vilkkumasta ja palaa noin 3 sekunnin ajan merkiksi siitä, että ensimmäinen asento on tallennettu. Sen jälkeen ledi vilkkuu uudelleen. Asetetaan nyt kohde toiseen asentoon, joka tuottaa 10 V tai 20 mA. Painetaan painiketta uudelleen lyhyesti. Ledi lakkaa vilkkumasta ja palaa noin 3 sekunnin ajan merkiksi siitä, että toinen asento on tallennettu. Tämän

jälkeen ledi sammuu ja vilkkuu vielä kerran. Nyt anturi on valmis mittaamaan etäisyyttä uudelta opetetulta alueelta. (OEM Finland Oy.)



Kuva 21. Datalogic S67 -etäisyysanturi (OEM Finland Oy.)

3.1.3 Välituen mittaus

Välitukien koko on standardisoitu EUR/EPAL-lavoissa niin, että keskimmäiset 3 välitukea ovat 145 mm leveitä ja reunoilla sijaitsevat 6 välitukea ovat 100 mm leveitä. Välitukien välinen mitta on 227,5 mm, jonka keskipisteeseen anturitelinien jalat tulisi sijoittaa. (Logistiikan maailma 2022.) Välitukien koko saattaa kuitenkin heittää standardeista muutamalla millillä, joka on otettava huomioon, kun tehdään funktiota välitukien tarkastukseen. Lavan sivuttainen liikkuminen ei vaikuta funktion tulokseen, sillä laskemme kahden anturin antaman arvon summaa, mistä näemme, onko välituki ehjä ja paikallaan. Välitukien laadunvalvonallinen toimenpide tapahtuisi automaattisesti kuormalavojen samaan aikaan liikkeessä kuljettimella. Anturi rivistö on ohjelmoitava niin, että se tunnistaa itsenäisesti kolmessa sekvenssissä välitukien olevan etäisyyksien mittaus kohdalla. Saman aikaisesti jokaisen sekvenssin aikana tulisi saada tieto välitukien kunnosta.

Funktion määrittämiseen lava tulee asettaa kuljettimelle niin reunaan kuin mahdollista, havainnollistamaan käytännössä mahdollista skenaariota. Välitukien sivut ovat tällä hetkellä lähempänä samalla reunapuolella olevia kolmea anturia

kuudesta, joiden arvon pitäisi opetettuna olla 0 V tai 4 mA. Mikäli arvo on jotain muuta, tulee poikkeavan arvon anturit opettaa uudelleen näyttämään 0 V tai 4 mA. Sama toimenpide on hyvä tehdä siirtämällä lava toiseen reunaan. Jotta saadaan määritettyä, onko välituki paikallaan, on tehtävä kaksi funktiota johtuen välitukien kokojen eroavaisuudesta. Sivuvälitukien mittaukseen käytetyissä 4 anturissa 20 mA arvoa näyttävä etäisyys tulee opettaa vähintään 263,75 mm etäisyydelle ja keskivälituissa 372,5 mm. Etäisyydet on hyvä opettaa yli välituen läpimitan, jos tulevaisuudessa halutaan funktio, joka kertoo esimerkiksi hajoneiden välitukien arvoja.

Rullakuljettimen leveyden ollessa 900 mm pystymme luomaan funktiot, jotka laskevat välitukien koon. Anturitelteen jalka sijaitsee kuljettimen reunasta 263,75 mm. Näin ollen telteen jalkojen väli on tarkalleen 372,5 mm (kaava 1).

$$900 \text{ mm} - 2 \times 263,75 \text{ mm} = 372,5 \text{ mm} \quad (1)$$

Kun tiedossamme on antureiden etäisyydet toisistaan voimme luoda funktion, jossa kahden anturin antaman etäisyydestiedon summan on oltava välituen leveyden verran pienempi. Eli laidoissa sijaitsevien välituki etäisyyksien summan on oltava 163,75 mm (kaava 2).

$$263,75 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 163,75 \text{ mm} \quad (2)$$

Ja keskivälitukien etäisyyksien 227,5 mm (kaava 3).

$$372,5 \text{ mm} - 145 \text{ mm} = 227,5 \text{ mm} \quad (3)$$

Arvot on laskettu millimetrien kymmenyksien tarkkuudella, joka on liian tarkka tähän käyttötarkoitukseen eikä tule onnistumaan käytännössä. Ohjelmalle täytyy antaa arvoväli, joiden väliin arvon sisältyessä voidaan todeta välituen olevan ehjä. Ottaen huomioon välitukien muutamien millimetrien kokoeroavaisuudet keskenään +/- 10 mm tarkasta arvosta voidaan luokitella vielä A-laatuiseksi välitueksi. Jos heittoa on enemmän, mutta välituki on paikallaan, tulee tuki luokitella

B- tai C-laatuiseksi. Kun arvo on enemmän kuin +/- 50 mm välituki on luokiteltava rikkinäiseksi.

3.1.4 Suojamekanismi antureille

Laseranturit on mahdollista sijoittaa rullakuljettimen rullien alle, josta niillä pystytään havaitsemaan välituet hiukan viistosta. Tämä ei kuitenkaan onnistu ultraääniantureiden kohdalla, sillä anturit tunnistaisivat kuormalavan laudoituksen, mikäli välituki lavasta puuttuisi. Ultraääniantureita käytettäessä tulisi anturit nostaa rullakuljettimen rullien yläpuolelle osoittamaan vaakatasossa suoraa välitukea kohden. Anturit ovat tässä tilassa alttiina vaurioitumiselle, mikäli kuormalavasta roikkuu jotain, mitä ei kuuluisi tai esimerkiksi lauta on irronnut tai roikkuu, jolloin se voisi viedä anturin mukanaan. Tämän vuoksi antureille tulisi valmistaa suojamekanismi, joka estää antureiden vaurioitumisen. Suojamekanismi tulisi valmistaa materiaalista, joka kestää useamman vuoden kuormalavojen satunnaisen kiilautumisen suojaan vasten.

3.1.5 Antureiden puhtaanapito

Antureiden puhtaanapito on edellytyksenä automatisoidun linjaston toimimiseen mahdollisimman pitkään ilman ihmisistä riippuvaisia huoltotoimenpiteitä. Nykyisissä toimitiloissa on jo edellä mainitusti pölyistä, jonka takia antureita on puhdistettava. Valitsemani ultraääni, sekä optinen laseranturi selviävät onneksi näissä olosuhteissa hyvin. Kuitenkin on viisasta ottaa pölyisyys huomioon ja miettiä, miten siltä voidaan välttyä, kun halutaan tehokasta ja ihmisistä riippumatonta laaduntarkkailua.

Tällä hetkellä välitukien testaus tapahtuu pneumaattisilla sylintereillä. Ilmajärjestelmästä halutaan eron välitukien testauksen vaiheessa. On kuitenkin otettava huomioon, voisiko järjestelmää käyttää hyödyksi uudessa käyttötarkoituksessa. Pneumaattisen järjestelmän voisi purkaa jättäen paineilmaletkut vielä paikalleen. Letkuille lisättäisiin tarvittava määrä haaroittimia, niin että jokaisen anturin eteen saataisiin yksi letkun pää. Paineilmaventtiileitä, jotka ovat jo olemassa,

voisi ohjelmoida ohjattavaksi niin, että ne aukeavat esimerkiksi kerran vuorokaudessa muutaman sekunnin ajaksi puhaltamaan ilmaa antureiden naama-puolelle. Esimerkiksi tällä tavoin saataisiin vanhalle järjestelmälle edullisesti hyödyllinen antureiden puhdistusratkaisu.

3.2 Konenäkö

Olemassa olevan konenäköjärjestelmän korvaajaksi on olemassa TwinCAT Vision -sovellus. Ohjelmiston valinta perustuu jo olemassa olevan Beckhoffin automaatiojärjestelmän yhteensopivuuden takia. Ohjelmisto on suunniteltu teollisuuden konenäköjärjestelmiin. PC-pohjainen ohjaus tarjoaa tähän ihanteellisen ratkaisun: TwinCAT Vision lisää kuvankäsittelyn universaaliin ohjausalustaan, joka sisältää PLC:n, liikkeenohjauksen, robotiikan, huippuluokan mittaustekniikan, IoT:n ja HMI:n. Tämä yksinkertaistaa suunnittelua merkittävästi, koska konfigurointi- ja ohjelmointitehtävät tapahtuvat tutussa PLC-ympäristössä. Lisäksi kaikki kuvankäsittelyyn liittyvät ohjaustoiminnot voidaan synkronoida reaaliajassa runtime-tilassa. Viiveet poistuvat, ja kuvankäsittelyalgoritmit suoritetaan reaaliajassa. Tämä merkitsee merkittävää laadullista edistystä perinteisiin konenäköratkaisuihin verrattuna. TwinCAT Visionin avulla voidaan integroida kuvankäsittelytehtävät täysin keskusohjausjärjestelmään. (Beckhoff 2022.)

TwinCAT Visionin käyttöönotto vaatisi uuden PC:n hankkimista nykyisen tilalle. TwinCAT Vision-sovelluksista kappaleen tunnistus ja siihen liittyvät ominaisuudet otetaan tässä työssä tarkasteluun. Muut ominaisuudet liittyvät enemmän robotteihin, mittausjärjestelmiin, erilaisten matriisien, viiva- ja QR-koodien tunnistamiseen sekä robottien työn esimerkiksi hitsauksen reaaliaikaiseen valvontaan (Beckhoff 2022). Tämän lisäksi käydään nykyisen kamerajärjestelmän laajenusmahdollisuutta.

Ylempänä mainitussa laadunvalvonta -osiossa käytiin läpi konenäköjärjestelmän teoriaa ja nykyistä laitteistoa. Kun mietitään välitukien tarkastelua konenäkökamerat ja linssit, jotka ovat tällä hetkellä käytössä, ovat tämänpäiväisten standardien ja tarkkuusluokkien tasolla. Saman valmistajan kyseiset vastaavat kamerat, linssit ja olemassa olevat valaistukset ja ohjelmisto soveltuisivat

myös välitukien tarkasteluun. Laitehankintana tulee kaksi kappaletta Baslerin kameroita ja linsejä, jotka sijoitettaisiin konenäkökoppisiin sivuseinämille korkeuteen, josta kuvassa näkyy jokaisen välituen kylki kokonaisuudessa. Tämä ratkaisumalli hyödyntää olemassa olevaa konenäkökoppia ja sen valaistusta, joten lisävalaistusta ei välttämättä tarvita.

Beckhoff on tuonut oman alueskannauskameran (kuva 22) markkinoille Twin-CAT Visionin mukana. IP65/67-luokan aluekameroissa käytetään 1,6–24 megapikselin resoluutiolla varustettuja väri- ja mustavalko-CMOS-antureita eli metallioksidipuolijohdeantureita, jotka tuottavat korkealaatuista kuvamateriaalia teolliseen kuvankäsittelyyn. Korkean kuvanlaadun ja kuvataajuuden ansiosta kamerat soveltuvat erinomaisesti automaattisiin visuaalisiin tarkastustehtäviin ja tarkkaan tuoteseurantaan EtherCAT-synkronoiduissa sovelluksissa. (Beckhoff 2022.)



Kuva 22. Beckhoff VCS2001-sarjan kamera eri linseillä. (Beckhoff 2022.)

4 Yhteenveto

Loppujen lopuksi työksi muodostui teoreettinen suunnitelmapohja, jossa käsiteltiin, mitä mahdollisuuksia välitukien tunnistamiseen on tarjolla nykypäivänä ja miten vaihtoehdot sulautetaan nykyiseen järjestelmään. Tarkoituksena on luoda kestävä ratkaisumalli nykyiseen kokonaisuuteen, jota pystytään hyödyntämään myös tulevaisuudessa. Valitsemani komponentit ovat vain esimerkkejä malleista, joita markkinoilla on. Kuitenkin kehityksen toimeenpanovaiheessa on tarkastettava senhetkinen komponenttien tarjonta, jonka pohjalta tehdään valinta

työn toteutukseen. Insinööriytyö on pelkkä suunnitelma, koska linjaston on toivottua toimia joka päivä, ilman pitkiä toimintakatkoksia.

Alkuperäisessä opinnäytetyösuunnitelmassa oli tarkoitus luoda myös kustannusarvio ja mallit eri ratkaisuille. Työn edetessä huomasin kustannusarvion luomisen jokaiselle mallille tarpeettomaksi. Tarkoituksena oli tehdä ratkaisumalleja, joista valitaan sopivin, jonka jälkeen pystytään lähtemään kartoittamaan kustannusarvioita. Tarkka kustannusarvio pystytään laskemaan vasta, kun tiedetään, mitä toimeksiantajayritys pystyy tekemään itse ja mitä osa-alueita täytyy ulkoistaa ulkopuoliselle osaajalle.

Valitsemistani laitevaihtoehdoista välitukien tarkastus ultraääniantureilla tulisi kaikista kannattavimmaksi omasta näkökulmastani niin kustannusten kuin vauriokannan kannalta. Antureiden toiminta juuri kyseisissä tiloissa on jo todettu toimivaksi, joten näkisin järkeväksi jatkaa niiden hyödyntämistä uusissakin tehtävissä. Nykyinen maailmantilanne huomioon ottaen ja pula komponenteista ei näy yhtä vahvasti antureiden puolella, kuin CPU tai konenäköön liittyvien komponenttien kanssa.

Työ osoittautui melko haastavaksi, kun otetaan huomioon, ettei vastaavaa lajitteelinjastoa ole muualla Suomessa. Haasteeksi osoittautui myös alkuperäisen linjaston rakentaneen yrityksen konkurssi, jolloin luonnollisesti laitteiston rakentajilta ei ollut saatavilla apua. Tästä huolimatta onnistuin mielestäni löytämään ja soveltamaan parhaat ratkaisut välitukien testaukseen. Opin ja omaksuin työn aikana valtavasti lisää laadunvalvonnasta sekä sen mahdollisuuksista, joita pystyn taas hyödyntämään tulevaisuudessa työssäni. Lopullinen työ, sen suunnittelu sekä toteutus ehti tekemisen aikana muuttua moneen otteeseen. Silti mielestäni saavutin omat tavoitteeni ja olen tyytyväinen lopputulokseen.

Lähteet

Anderson, Mondy. 2019. What is EtherCAT. RealPars B.V. Verkkoaineisto. <www.realpars.com/ethercat/>. Luettu 30.10.2022.

Basler. 2022. AcA1300-75gm - Basler ace kamera. Verkkoaineisto. <www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace/aca1300-75gm/>. Luettu 6.10.2022.

Basler. 2022. Basler Lens C125-0818-5M-P f8mm – Lens. Verkkoaineisto. <www.baslerweb.com/en/products/lenses/fixed-focal-lenses/basler-lens-c125-0818-5m-p-f8mm/>. Luettu 6.10.2022.

Beckhoff. 2022. Beckhoff Automation. Verkkoaineisto. <www.beckhoff.com/fi-fi/company/#>. Luettu 6.10.2022.

Beckhoff. 2022. CX2040, Basic CPU module. Verkkoaineisto. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/ipc/embedded-pcs/cx20x0-intel-celetron-core-i7/cx2040.html>>. Luettu 6.10.2022.

Beckhoff. 2022. EL5xxx | EtherCAT Terminals, position measurement. Verkkoaineisto. <www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/el5xxx-position-measurement/>. Luettu 23.10.2022.

Beckhoff. 2022. Industrial cameras for machine vision. Verkkoaineisto. <www.beckhoff.com/fi-fi/products/vision/cameras/>. Luettu 30.10.2022

Beckhoff. 2022. Migration from TwinCAT 2. Verkkoaineisto. <infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tf6310_tc3_tcpip/84126987.html&id=>>. Luettu 12.10.2022

Beckhoff 2022. TE1000 | TwinCAT 3 Engineering. Verkkoaineisto. <www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat/texxxx-twincat-3-engineering/te1000.html>. Luettu 23.10.2022.

Beckhoff 2022. TwinCAT 3 platform levels. Verkkoaineisto. <www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat/twincat-3-platforms/>. Luettu 10.10.2022

Beckhoff. 2022. TwinCAT Vision: Software for industrial machine vision. Verkkoaineisto. <www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat-vision/>. Luettu 30.10.2022.

Encore Ympäristöpalvelut Oy. 2022. Yritys. Verkkoaineisto. <www.encorepalvelut.fi/yritys/>. Luettu 30.10.2022.

EtherCAT Technology Group. EtherCAT - the Ethernet Fieldbus. Verkkoaineisto. <www.ethercat.org/en/technology.html>. Luettu 23.10.2022.

European Pallet Association e.V. 2022. Epal europalette (Epal1). Verkkoaineisto. <www.epal-pallets.org/eu-de/ladungstraeger/epal-europalette>. Luettu 17.10.2022.

Industrial Quick Search. Pneumatic Cylinder. Verkkoaineisto. <[www.oem.fi/ui/product-resources/oem/datasivut_-26110.pdf?att=False&hash=D2AAFE2F62FCBF90A20148A6F7AD603D](http://www.oem.fi/ui/product-resources/oem/datasivut/_-26110.pdf?att=False&hash=D2AAFE2F62FCBF90A20148A6F7AD603D)>. Luettu 29.10.2022.

Javaid, Mohd & Haleem, Abid & Pratap Singh, Ravi & Rab, Shanay & Suman, Rajiv. 2021. Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. ScienceDirect. Verkkoaineisto. <www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/machine-vision-computer-vision>. Luettu 27.9.2022.

Larraioz elektronika. Kawasaki Robotics. Verkkoaineisto. <www.larraioz.com/downloads/Kawasaki/doc/DS_Series_Z.pdf>. Luettu 30.10.2022.

Logistiikan maailma. 2022. Kuormalava. Verkkoaineisto. <www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotyytit-ja-teknikka/kuormalava/>. Luettu 27.9.2022.

Lutkevich, Ben. 2022. Definition machine vision. TechTarget. Verkkoaineisto. <www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/machine-vision-computer-vision>. Luettu 27.9.2022.

Moermond, Jack. 2016. Sensor Choices for Pneumatic Cylinder Positioning. Power & Motion. Verkkoaineisto. <www.powermotiontech.com/technologies/cylinders-actuators/article/21885196/sensor-choices-for-pneumatic-cylinder-positioning>. Luettu 17.10.2022.

Norgren. What is pneumatics? Verkkoaineisto. <www.norgren.com/uk/en/expertise/industrial-automation/what-is-pneumatics>. Luettu 30.9.2022.

OEM Finland Oy. PIL Sensoren GmbH. Ultrasonic Distance Sensor. P43-F4Y-2D-1D0-360E. Verkkoaineisto. <[www.oem.fi/ui/product-resources/oem/datasivut_-26110.pdf?att=False&hash=D2AAFE2F62FCBF90A20148A6F7AD603D](http://www.oem.fi/ui/product-resources/oem/datasivut/_-26110.pdf?att=False&hash=D2AAFE2F62FCBF90A20148A6F7AD603D)>. Luettu 27.10.2022.

OEM Finland Oy. PIL Sensoren GmbH. Ultrasonic Distance Sensor. P44-160-M30-UI2P-CM12. Verkkoaineisto. <[www.oem.fi/ui/product-resources/oem/datasivut_-47244.pdf?att=False&hash=57E089F0F96385B6A7D2FBAA-DABB25F2](http://www.oem.fi/ui/product-resources/oem/datasivut/_-47244.pdf?att=False&hash=57E089F0F96385B6A7D2FBAA-DABB25F2)>. Luettu 27.10.2022.

Saku-Tek Oy. Yritysinfo. Verkkoaineisto. <www.saku-tek.fi/yritysinfo/>. Luettu 30.10.2022.

Sitra. 2019. Kuormalava palveluna. Verkkoaineisto. <www.sitra.fi/caset/kuormalava-palveluna/>. Luettu 15.9.2022.

Stykemain, Adam. 2022. Laseranturi. RealPars B.V. Verkkoaineisto. <www.realpars.com/laser-sensor/>. Luettu 30.10.2022.

Tameson. 2022. Pneumatic Cylinders. Verkkoaineisto. <www.tameson.com/pneumatic-cylinders.html>. Luettu 17.10.2022.