

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutus

2020

Janne Ikonen

PROFIILIN ASENNUSPORTAALIN VOIMAOHJAUS

Janne Ikonen

PROFIILIN ASENNUSPORTAALIN VOIMAOHJAUS

Tämä opinnäytetyö valmistettiin Pemamek Oy:n toimeksiannosta. Pemamek Oy on vuonna 1970 perustettu perheyrittäjä. Yrityksen vahvin osaaminen on telakkateollisuuden hitsausratkaisuihin. Pemamek Oy valmistaa hitsausautomaatiota erilaisiin raskauteollisuuden käyttötarkoituksiin maailmanlaajuisesti.

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia venymäliuskoilla toteutetun voimaohjauksen soveltuvuutta profiilin asemointiportaalin ohjaustavaksi. Työssä tutustutaan asennusportaalin rakenteisiin, siinä käytettyihin tekniikoihin sekä logiikan ja käyttöliittymän suunnitteluun ja ohjelmointiin. Työ aloitettiin valitsemalla tutkintakohteeksi tuotekehitysprosessi, jonka tarkoituksena oli kehittää uudenlaista jäykistysprofiilin asemointiportaalia toimimaan osana laivanlohkokoonti-linjaa.

Löydöksen tarkoituksena on havainnollistaa, kuinka voimaohjaus soveltuu portaalin ohjaustavaksi. Työnaikana on tarkoitus kartoittaa mahdollisia ongelmia sekä kehityskohtia ohjaustavassa. Pemamek hyödyntää tätä työtä, mahdollisimman tehokkaan ja yksinkertaisen portaalin ohjaustavan kehittämisessä.

Työn merkittävin lopputulos osoitti, että venymäliuskaalla toteutettua voimaohjausta pystytään käyttämään tehokkaasti portaalin ohjauksessa. Kriittisenä edellytyksenä kuitenkin on, että koko suunnitteluprosessissa on huomioitu voimaohjauksen asettamat rajoitukset ja vaatimukset. Tällöin suunnitteluprosessi on vaativampi, mutta tuloksena saavutetaan käyttäjäystävällisempi ohjaustapa.

Työn tuloksena siinä tutkittua ja kehitettyä ohjaustapaa käytetään tällä hetkellä yrityksessä ja voimaohjauksella toimivia koneita on jo myyty sekä käyttöönotettu kansainvälisille asiakkaille.

ASIASANAT:

voimaohjaus, venymäliuska, logiikka, käyttöliittymä

Investigation of Force control for Stiffener assembly portal -case study in Pemamek Ltd

This bachelor's thesis was commissioned by Pemamek Ltd. The company is the market leader in shipyard welding solutions and thus offered a great opportunity to investigate the subject in order to find opportunities for further development in work processes as well as in project outcomes. The purpose of the thesis was to investigate the suitability of power management with strain gauges as an efficient way to install and manage the chosen portal. Therefore, this study investigates the framework of the portal and the processes that are used to develop and manage the user interface.

Thus, the product development project which purpose was to develop a new type of stiffening management portal in order to further develop the ship's block fabrication assembly was chosen as study subject.

The purpose of outcomes in this study are to outline how suitable the force control with strain gauges is as controlling the system and what are possible advantages and restrictions with the system. The company aimed to use this study to develop as effective and user-friendly force control system as possible for future projects. The main outcome from this study claims that it is possible to use force control with strain gauges effectively. However, in order to achieve this the critical precondition is that the development process is based on the restrictions and demands of this type of force control system. Thus, developing process is more demanding and time-consuming but as a result it is possible to achieve more user-friendly machine that will ease the production processes. The main result from company's perspective was achieved, as the outcomes of the study allowed the company to use this control system and create a product of it to the international market.

KEYWORDS:

Human interface (HMI), force control, strain gauges, servos, Programmable logic controller (PLC), Block Fabrication

SISÄLTÖ

| | |
|--|-----------|
| KÄYTETYT LYHENTEET | 6 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 YRITYSESITTELY | 9 |
| 3 PROFIILIN ASENNUSPORTAALI | 10 |
| 3.1 Toiminnankuvaus | 11 |
| 3.2 Profiilin asennusportaalin rakenne | 12 |
| 3.2.1 Portaalin runko | 12 |
| 3.2.2 Tartuntavaunu | 13 |
| 3.2.3 Tarttuja | 14 |
| 4 VENYMÄLIUSKA-ANTURI | 16 |
| 4.1 Wheatstoneen siltamittaus | 17 |
| 4.2 Herkkyyskerroin | 18 |
| 4.3 Häiriöherkkyys | 19 |
| 5 SERVOMOOTTORI | 20 |
| 5.1 Servomoottorin ohjaus | 20 |
| 5.2 Servomoottorin turvatoiminnot | 21 |
| 5.3 Beckhoff AM8000 | 22 |
| 6 OHJELMOITAVA LOGIIKKA | 23 |
| 7 KONETURVALLISUUS | 25 |
| 7.1 Riskienarviointi | 26 |
| 7.2 Turvasuunnitelma | 26 |
| 8 VOIMAOHJAUS | 28 |
| 8.1 Dinacell K300 | 28 |
| 8.2 Beckhoff EL3351 | 29 |
| 8.3 Sallintakytkin | 29 |
| 9 OHJELMOINTI | 31 |
| 9.1 Ohjelmistot | 31 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 9.2 Käyttöliittymä | 32 |
| 9.3 Logiikan ohjelmointi | 32 |
| 10 YHTEENVETO | 35 |
| LÄHTEET | 36 |

KUVAT

| | |
|---|-------------------------------------|
| Kuva 1. SAM-portaali ja 2 robottiasemaa | 11 |
| Kuva 2. Portaali | 13 |
| Kuva 3. Tartuntavaunu | 14 |
| Kuva 4. Lukituskynsi auki | Error! Bookmark not defined. |
| Kuva 5. Lukituskynsi kiinni | 15 |
| Kuva 6. Venymäliuska-anturi | 16 |
| Kuva 7. Wheatstonen siltakytkentä | Error! Bookmark not defined. |
| Kuva 8. Venymäliuska neljäsosasiltakytkentä | 18 |
| Kuva 9. Takaisinkytkentä | 20 |
| Kuva 10. Safety layout | 27 |
| Kuva 12. Dinacell K300 | 28 |
| Kuva 13. Sallintakytkin tyypit | 30 |
| Kuva 14. ABB Sallintakytkin | 30 |

KÄYTETYT LYHENTEET

| | |
|--------|--|
| SAM | Profiilin asennusportaali (Stiffener Assembly Portal) |
| TSM | Konfiguraatio ohjelma TwinCAT laitteistoille (TwinCAT System Manager). |
| PLC | Ohjelmoitava logiikka (Programmable logic controller). |
| SPLC | Turvalogiikka (Safety Programmable logic controller). |
| CPU | Suoritin (Central Processing Unit). |
| IO | Tulot ja lähdöt luovat yhteyden prosessin laitteiden ja logiikan CPU eli prosessorin välillä (Input/Output). |
| Input | Logiikan tulot eli logiikalle tulevat signaalit. |
| Output | Logiikan lähdöt eli logiikalta lähtevät ohjaukset. |
| HMI | Käyttöliittymä, esim. kosketusnäyttöpaneeli |
| FTB | Graafinen ohjelmointikieli (Function Block Diagram) |
| ST | Teksti muotoinen ohjelmointikieli (Structured text) |
| ESI | Laitekuvaustiedosto (EtherCAT Slave Information) |
| SIL | Turvataso (Safety integrity level) |
| PL | Suoritustaso (Performance Level) |
| GF | Herkkyyskerroin (Gauge Factor) |
| ρ | Ominaisvastus eli ominaisresistanssi (resistiivisyys) |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö toteutettiin Pemamek Oy:n toimeksiannosta, ja tarkoituksena on tutkia, kuinka voimaohjaus soveltuu portaalin ohjaustavaksi, ja kartoittaa mahdollisia ongelmia sekä kehityskohtia kyseisessä ohjaustavassa. Lisäksi analysoidaan työprosessin hallintaa ja onnistumista.

Voimaohjaus on uudenlainen ohjausmenetelmä, jota käytetään useissa semi-automaattisissa työprosesseissa, jolloin vältetään täysin automaattisen prosessin monimutkaisuudelta ja pitkältä ohjelmointiajalta työn aikana. Voimaohjauksen avulla saadaan työohjaukseen joustavuutta ja työtehtävän vaihto on tehokkaampaa. Pemamek halusi tutkia voimaohjauksen etuja ja käyttömahdollisuuksia omissa tuotteissaan. Tavoitteena oli luoda ohjaustapa, jolla pystytään liikuttamaan raskaita massoja tarkasti ja jonka käyttö olisi helposti omaksuttavissa.

Projekti aloitettiin listaamalla halutut ominaisuudet profiiliin asennusportaalille, johon voimaohjausta haluttiin soveltaa. Työ aloitettiin tutustumalla aiemmin yrityksen tekemään selvitystyöhön voimaohjauksesta sekä tutustumalla voimaohjauksen keskeisiin periaatteisiin.

Seuraava vaihe oli tutustua ennalta valittuihin komponentteihin, joilla voimaohjaus toteutettaisiin, jonka jälkeen yhteistyössä sähköosaston kanssa valittiin puuttuvat komponentit, kuten sallintakytkin ja kosketuspaneeli. Tämän jälkeen aloitin käytännön testauksen rakentamalla testiympäristön, jossa pystyttiin testaamaan venymäliuska-anturin ominaisuuksia, joiden avulla voimaohjaus tultaisiin toteuttamaan. Näin saatiin tärkeää tietoa voimaohjauksen suunnittelua varten. Testiympäristössä pystyttiin myös aloittamaan käyttöliittymään tarvittavien ominaisuuksien kartoitus ja testaus.

Käytännön testausvaihe alkoi, kun voimaohjauksen PLC-ohjelma oli saatu toimimaan testiympäristössä. Tämä työvaihe alkoi portaalin muiden komponenttien konfiguroinnista sekä ohjelmoinnista. Näitä komponentteja olivat mm. servomootorit ja hydrauliiikka, jotka toteuttivat portaalin liikkeet. Tämän jälkeen alkoi työn viimeinen ja haastavin vaihe, jossa säädettiin voimaohjaus ohjaamaan servomootoreita ja testattiin lukuisia erityyppisiä voimaohjauksen vastekarttoja. Tämän tarkoituksena oli saada aikaan mahdollisimman täsmällinen ja tehokas tapa ohjata raskasta portaalia.

Portaalin massa asetti projektin suurimman haasteen, koska se hidasti portaalin kiihtyvyys ja hidastuvuus ramppeja, joka aiheutti ohjaukseen epätarkkuuden tunnetta. Toinen ratkaistava haaste oli rungon tärähtely, joka syntyi liikkeestä aiheuttaen häiriötä voimaohjausanturiin. Kolmas haaste oli ohjauksen turvallisuuteen liittyvä, sillä operaattori toimi portaalin välittömässä läheisyydessä, joten se vaati pysäyttämistavan, joka pysäyttäisi portaalin riittävän nopeasti vikatilanteessa tai mahdollisen ohjausvirheen sattuessa. Näihin haasteisiin voimaohjauksen oli pystyttävä vastaamaan.

2 YRITYSESITTELY

Pemamek Oy on Loimaalla vuonna 1970 perustettu perheyriys, jonka pääkonttori ja tuotantohallit sijaitsevat Loimaalla. Pemamek työllistää tällä hetkellä noin 240 henkilöä, joista noin 100 työskentelee tuotannon tehtävissä ja 140 toimihenkilötehtävissä. Pemamek Oy on maailman johtava hitsausautomaattoratkaisujen ja työkappaleiden käsittelylaitteistojen toimittaja, jonka liikevaihto on keskimäärin 80 miljoonaa euroa.

Pemamek on erikoistunut automatisoidun hitsaamisen ja tuotantojärjestelmien suunnitteluun ja valmistamiseen. Pemamekin valmistamat tuotteet ja palvelut voidaan jakaa kuuteen pääryhmään, jotka ovat konepajateollisuus, tuulivoimateollisuus, telakkateollisuus, prosessiteollisuus, voimalaitosteollisuus sekä huoltopalvelut.

Konepajateollisuus koostuu vakiolaitteista, joiden avulla pyritään parantamaan konepajan työturvallisuutta ja tehokkuutta. Tuulivoimateollisuuteen tuotantoratkaisut on suunniteltu runkojen ja perustuksien valmistukseen. Nämä ratkaisut koostuvat usein hitsaus-tornin ja pyörityspöydän yhdistelmästä.

Telakkateollisuuteen toimitettavat ratkaisut koostuvat usein useammasta koneesta, jotka muodostavat tuotantolinjan, nämä toimitukset räätälöidään asiakkaan toiveen ja tarpeiden mukaan.

Prosessiteollisuuteen tarjottavat ratkaisut koostuvat usein vakiolaitteista ja niiden yhdistelmästä.

Voimalaitosteollisuuteen Pemamek tarjoaa automaatiojärjestelmiä, joiden avulla onnistuu kattiloiden seinäpaneelien valmistus, putkien esivalmistus leikkauksesta hitsaukseen.

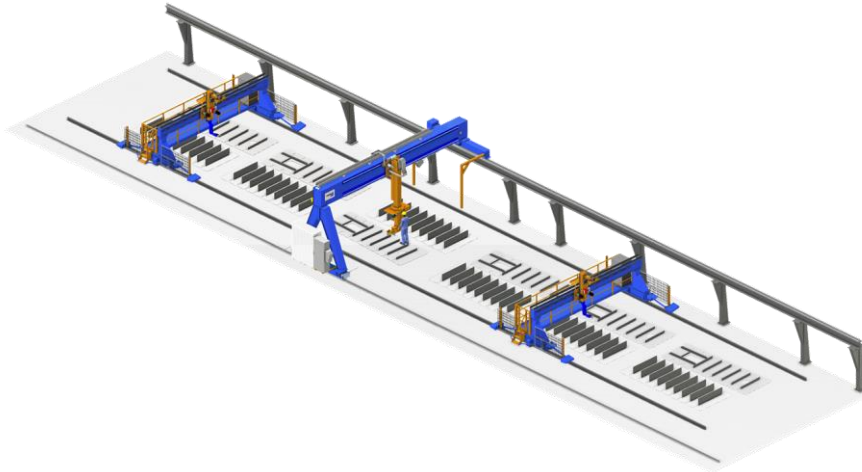
Huoltopalveluiden tärkeys ja määrä on kasvanut huomattavasti yrityksen kasvaessa. Pemamek tarjoaa myös erillistä huoltopakettia laitteen tai tuotantolinjan myynnin yhteydessä.

3 PROFIILIN ASENNUSPORTAALI

Profiilin asennusportaali on uusi laite Pemamekin telakatuotevalikoimassa. Portaali on suunniteltu toimimaan osana mikropaneelilinjaa. Mikropaneelit ovat laivan pienempiä osakokonaisuuksia, esimerkiksi laivan keula- tai peräosia. Mikropaneelien koko ja muoto vaihtelevat usein huomattavasti. Tämä on yksi syy sille, miksi niiden valmistus osana täysin automatisoitua laivanlohkokoontilinjaa ei ole tuotannollisesti eikä taloudellisesti järkevää. Taloudellisesti on kannattavampaa rakentaa niille oma tuotantolinja, jota kutsutaan mikropaneelilinjaksi.

Mikropaneelille tulevien profiilien koko, muoto, niiden määrä sekä sijainti levyllä vaihtelevat huomattavasti. Tämän vuoksi mikropaneelilinjalle profiilien asemointiin levyllä tarvittiin laite, joka pystyi suorittamaan asemoinnin nopeasti ja joustavasti, ilman suurta esivalmistelua. Mikropaneelien pienistä sarjoista ja suuresta vaihtelevuudesta johtuen automaattinen profiilien asemointi ei ollut järkevä vaihtoehto. Profiilin asennusportaalin tuli toimia manuaalisesti, jotta linjan joustavuus säilytettäisiin. Laitteen ohjauksessa haluttiin kokeilla uudenlaista ohjaustapaa, jota kutsutaan voimaohjaukseksi. Voimaohjauksen toivottiin tuovan asemointiin nopeutta, tarkkuutta sekä olevan helposti omaksuttava ohjaustapa.

Profiilin asennusportaalin eli SAM-portaalin (Stiffener Assembly Portal) avulla valmistellaan mikropaneeli robottiasemalla suoritettavaa hitsausta varten. Mikropaneelin valmistelulla tarkoitetaan levyllä tulevien profiilien asemointia ja niiden pistekatkohitsausta paikalleen. Kuvassa 1 on esitetty mikropaneelilinja, jossa profiilin asennusportaali valmistelelee mikropaneeleita kahdelle robottiasemalle.



Kuva 1. SAM-portaali ja 2 robottiasemaa

3.1 Toiminnankuvaus

Profiilin asennusportaali suunniteltiin toimimaan osana mikropaneelilinjaa. Sen avulla valmistellaan levyjakanat, robottiasemalla suoritettavaa hitsausta varten. Asennusportaali on manuaalisesti ohjattava profiilin asemointikone, jonka avulla noudetaan ja asennetaan kevyitä- sekä keskikokoisia T-, L- ja lattaprofiileja levylakanalle. Prosessissa profiilien pistekatkohitsaus suoritetaan manuaalisesti käsikäyttöisellä MIG/MAG- hitsauslaitteella. Sen jälkeen, kun kaikki levylakanalle tulevat profiilit on asemoitu ja pistekatkohitsattu, levylakana siirretään robottiasemalle varsinaista hitsausta varten.

Profiilin asennusportaalien suunnittelussa kiinnitettiin erityisesti huomiota käytettävyyteen. Tämän vuoksi perinteisellä radiokauko-ohjaimella toteutetun ohjauksen rinnalle haluttiin kehittää uusi ohjaustapa, joka olisi luontaisempi käyttää sekä helpottaisi tarkkuutta vaativan profiilin asemointia. Tätä tarkoitusta varten rakennettiin voimaohjaus, jonka tarkoitus oli toimia profiilin asennusportaalien ensisijaisena ohjaustapana. Portaalien suunnittelun muita keskeisiä teemoja oli keveys, jäykkyys ja vähäinen värähtely. Näillä toimenpiteillä pyrittiin parantamaan käsiteltävyyttä, asemoinnin helppoutta ja tarkkuutta.

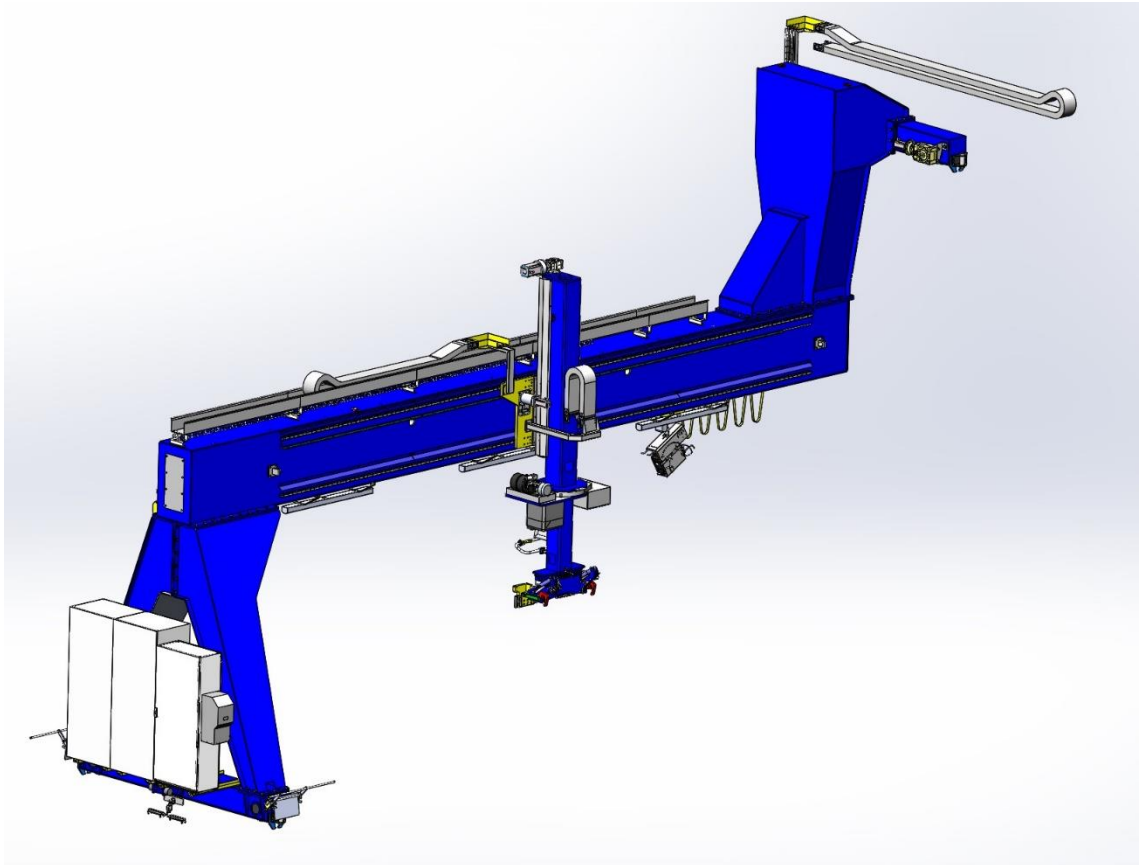
Portaalien ohjaus toteutettiin ohjauskahvan avulla, joka mittaa siihen kohdistuvaa voimaa venymäliuska-antureiden avulla. Näin ollen ohjauskahvasta työntämällä tai vetämällä pystyy liikuttamaan portaalia. Toimintaperiaate perustuu ohjauskahvaan kohdistuvan voiman suunnan ja suuruuden tarkkaan mittaamiseen venymäliuska-anturoinnin avulla. Tämä tieto muunnettiin servomoottorien liikeohjeeksi logiikkaohjauksen avulla.

3.2 Profiilin asennusportaalin rakenne

Profiilin asennusportaalin rakenne voidaan karkeasti jakaa kolmeen osakokonaisuuteen, jotka ovat portaalin runko, tartuntavaunu ja tarttuja. Nämä kolme osakokonaisuutta muodostavat myös asennusportaalin liikesuunnat.

3.2.1 Portaalin runko

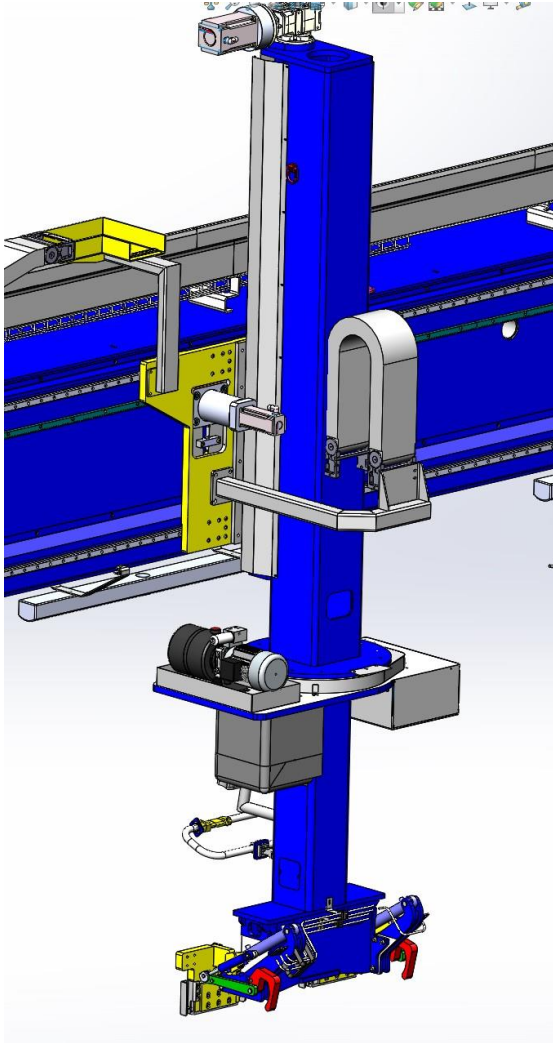
Portaalin runko muodostuu palkista, jonka päät ovat V-mallisten tukien varassa. Rungon toinen pää on riippukannatuksessa seinään kiinnitetyn kiskon varassa ja toinen lattialla olevan kiskon päällä. Portaali pystyy liikkumaan kiskoja pitkin kumpaankin päähän sijoitettujen servomoottorien avulla, mitkä kulmavaihteen ja kiskopyörän välityksellä liikuttavat portaalia. Tätä linjansuuntaista liikettä kutsutaan X-suuntaiseksi liikkeeksi. Asennusportaalin muodostama kokonaisuus on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Portaali

3.2.2 Tartuntavaunu

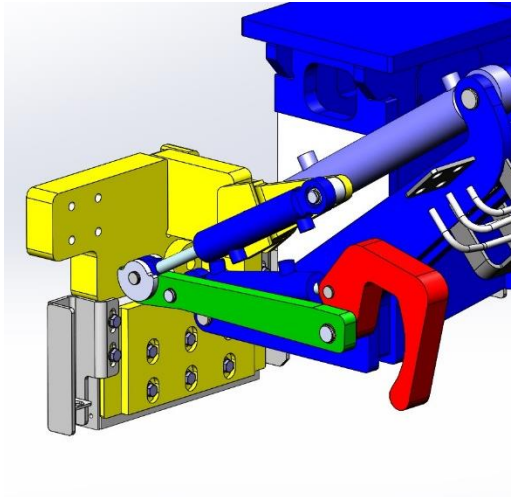
Tartuntavaunu on kiinnitetty portaalin runkoon kuulajohteiden avulla. Tartuntavaunu mahdollistaa liikkeitä Y- ja Z-suunnassa sekä tarttujan pyörimisen. Y-suunnassa tapahtuva liike on toteutettu servomoottorin, vaihteen ja hammaspyörän välityksellä. Servomoottorin pyörittämä hammaspyörä liikuttaa tartuntavaunua portaalin runkopalkissa olevaa hammastankoa pitkin. Z-liike eli pystysuunnassa tapahtuva liike on toteutettu kuularuuvilla, jota pyörittää servomoottori kulmavaihteen välityksellä. Tarttujan pyörimys on toteutettu hammaskehän avulla.



Kuva 3. Tartuntavaunu

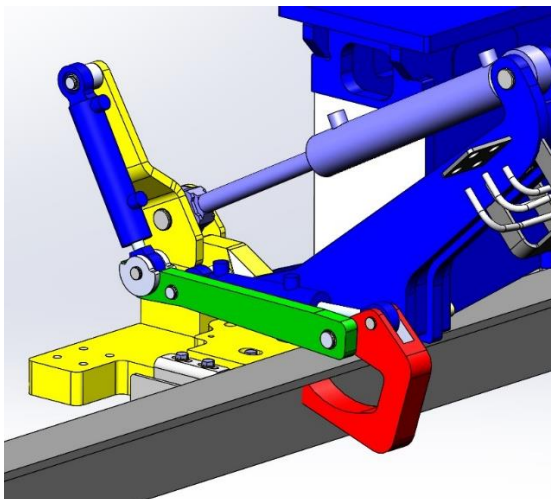
3.2.3 Tarttuja

Tarttujalla mahdollistettiin profiilin nosto, kääntö sekä puristus levylakanaa vasten. Profiiliin tarttuminen on toteutettu sähkömagneettien avulla. Asemoinnin ajaksi profiili lukitaan mekaanisten lukituskynsien avulla. Lukituskynsien avulla varmistettiin profiilin pysyminen tarttujassa kuljetuksen sekä asemoinnin aikana. Magneettien kääntö oli toteutettu hydraulisten sylinterien avulla. Sylinterit mahdollistivat magneettien 90 asteen käännön profiilin haku -asennosta profiilin asemointi -asentoon



Kuva 4. Lukituskyynsi auki

Kuvassa 4 lukituskyynsi on auki ja magneetit ovat profiilin hakuasennossa



Kuva 5. Lukituskyynsi kiinni

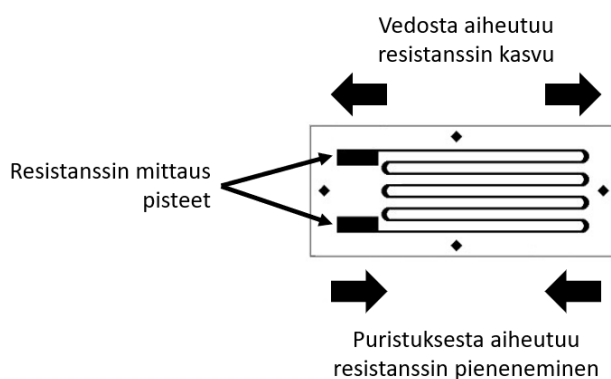
Kuvassa 5 T-Profiiliin on tartuttu magneettien sekä lukituskyynnen avulla. Magneetit on käännetty profiilin asemointiasentoon.

4 VENYMÄLIUSKA-ANTURI

Venymäliuska on anturi, jota käytetään mittaamaan materiaalissa tapahtuvaa venymää. Tämän tiedon avulla voidaan määrittää anturiin vaikuttava voiman ja jännityksen suuruus. Venymäliuska-anturit soveltuvat hyvin muun muassa mittaamaan koneen osissa vaikuttavaa rasitusta. Anturit soveltuvat tähän tarkoitukseen hyvin, koska ne kestävät iskuja ja tärinää, ovat pieniä kooltaan sekä helppoja kiinnittää mitattavaan kohteeseen. (All About Circuits Strain Gauges 2020.)

Venymäliuska-anturilta saatavaa tietoa voidaan käyttää hyväksi mm. koneen suunnittelussa sekä tuotekehityksessä mittaamalla materiaalissa tapahtuvaa venymistä. Tässä työssä venymäliuska-anturilta saatavaa tietoa materiaalissa tapahtuvasta venymisestä käytettiin voimaohjauksen toteuttamisessa. Mittaamalla venymäliuska-antureilla ohjainkahvaan vaikuttavan voiman suuruutta.

Yleisimmin käytettyjen venymäliuska-antureiden johdinmateriaali on metalli. Anturit on valmistettu hyvin ohuesta metallilangasta tai foliosta, jotka kulkevat useita kertoja anturin läpi, kuten esitetty kuvassa 5. Näin toimimalla saadaan maksimoitua saman suuntaisten johdinten määrä anturissa. Johtimet on kiinnitetty ohueen alustaan, jota kutsutaan kantajaksi. Kantaja kiinnitetään suoraan tutkittavaan pisteeseen, jolloin se välittää pisteessä tapahtuvan venymisen tai puristumisen venymäliuskan johtimiin. (National Instruments 2019.)



Kuva 6. Venymäliuska-anturi

Käytetyimmät venymäliuska-anturit ovat nimellisresistanssi arvoiltaan 120Ω, 350Ω ja 1000Ω.

Venymäliuska-anturin toiminta perustuu materiaalin venymisen tai puristumisen yhteydessä tapahtuvaan muodonmuutokseen, siihen kohdistuvan jännityksen vaikutuksesta. Materiaalin venyminen aiheuttaa sen poikkipinta-alan (A) pienenemisen ja puristuminen vastaavasti se suurentumisen. Tämä vaikuttaa materiaalin läpi vaikuttavaan resistanssiin (R). Tämä voidaan todeta resistanssin yhtälöstä 1,

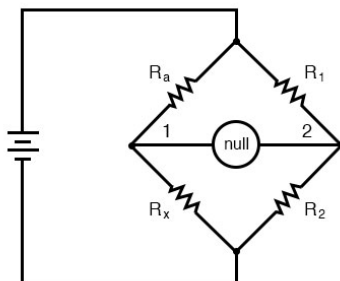
$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

jossa ρ on materiaalin resistiivisyys, l pituus ja A poikkipinta-ala. Poikkipinta-alan suurenemisesta aiheutuu resistanssin pieneneminen. Poikkipinta-alan pienenemisestä vastaavasti resistanssin suureneminen.

Tähän materiaalissa tapahtuvaan resistanssin muutokseen perustuu venymäliuska-anturin toiminta. Venymisestä tai puristumisesta seuraava poikkipinta-alan muutos on hyvin pieni, jonka seurauksena myös resistanssin muutos on pieni. Venymäliuska-anturin herkkyyttä pyritään kasvattamaan lisäämällä saman suuntaisien johtimien määrää, kuten kuvassa 5. Tästä huolimatta resistanssin muutos on kuitenkin niin pieni, että sen mittaaminen normaalilla resistanssinmittauksella olisi erittäin epäluotettavaa. Tästä syystä venymäliuskassa tapahtuvaa resistanssin muutosta mitataan vastussiltakytkennän avulla. (All About Circuits Strain Gauges 2020.)

4.1 Wheatstonen siltamittaus

Wheatstonen siltakytkentä on vastussiltakytkentä, joka koostuu neljästä vastuksesta, jännitelähteestä ja jännitemittauksesta.



Kuva 7. Wheatstonen siltakytkentä

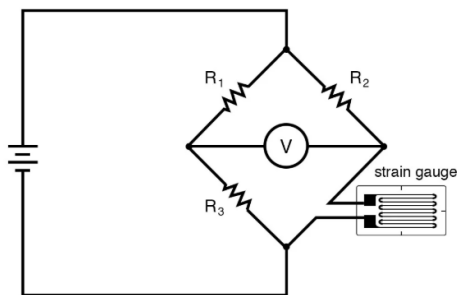
Siltakytkennän avulla voidaan määrittää tuntematon resistanssi erittäin tarkasti, kun kolmen muun vastuksen resistanssi tiedetään. Wheatstonen siltakytkentä on esitetty kuvassa 7.

Tuntemattoman vastuksen R_x arvo pystytään ratkaisemaan yhtälöstä 2.

$$\frac{R_a}{R_x} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

Kun silta on tasapainossa eli pisteiden 1 ja 2 välillä ei ole jännite-eroa, ei niiden välillä kulje virtaa. Sillan tasapainotus tapahtuu vastuksia vaihtamalla, kunnes tasapaino löytyy.

Wheatstonen- siltakytkennän periaatetta voidaan soveltaa venymäliuskassa tapahtuvan resistanssin muutoksen mittaamiseen. Toisin kuin Wheatstonen-siltakytkennässä venymäliuskan- siltakytkennässä mitataan sillan epätasapainoa suuruutta jännitemittarilla pisteiden 1 ja 2 välillä. Useimmiten sillan vastusarvot on valittu siten, että silta on tasapainossa, kun venymäliuska ei ole voiman vaikutuksen alaisena. Näin olen tasapainoa mittaava jännitemittari näyttää nollaa volttia, kun venymäliuskaan vaikuttava voima on nolla. Jos venymäliuskakaan kohdistuu vetoa tai puristusta, jonka seurauksena resistanssi joko kasvaa tai pienenee, aiheuttaa tämä sillan epätasapainon, ja se voidaan havaita jännitemittarilla. Tämän kaltaista siltakytkentää, jossa yksi elementti on vaihdettu, kutsutaan neljäsosasiltakytkennäksi (quarter bridge). Muita venymäliuska-anturien mitauksessa käytettyjä vastussiltoja ovat puoli- ja täyssiltakytkentä.



Kuva 8. Venymäliuska neljäsosasiltakytkentä

4.2 Herkkyyskerroin

Herkkyyskerroin eli Gauge Factor (GF) ilmaisee suhteellisen resistanssin suhteen venymään. Herkkyyskerroin (GF) voidaan laskea yhtälöistä 3,

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} \quad (3)$$

jossa jaettava suhteellinen resistanssi muodostuu venymäliuskassa tapahtuvasta resistanssin muutoksen (ΔR) ja kuormittamattoman venymäliuskan resistanssin (R) suhteesta. Yhtälössä jakajana on venymä (ε), joka muodostuu pituuden muutoksen (ΔL) ja alkuperäisen pituuden (L) suhteesta. Yhtälön 3 voidaan ratkaista venymän (ε) suhteen. Venymän avulla on mahdollista laskea venymäliuskaan kohdistuva jännitys (σ), kun tiedetään materiaalin kimmokerroin (E).

4.3 Häiriöherkkyys

Lämpötilan muutoksista aiheutuvat häiriöt ovat yksi suurimmista ongelmista venymäliuska-antureissa.

Erityisesti materiaalin lämpölaajeneminen aiheuttaa ongelmia, mikäli mitattavan materiaalin lämpölaajenemiskerroin (α) on eri kuin venymäliuskassa käytetyn johdinmateriaalin lämpölaajenemiskerroin. Tällöin venymäliuska johdin ja mitattava materiaali laajenevat eri tahtia aiheuttaen jännityksen niiden välille, kuten kaavasta 4. voidaan todeta.

$$\Delta L = \alpha \Delta T L_0 \quad (4)$$

Monet venymäliuska-antureita valmistavat yritykset ovat yrittäneet minimoida lämpölaajenemisen vaikutusta. Valitsemalla venymäliuskassa käytetty johdinmateriaali kompensoimaan mitattavan kohteen materiaalin lämpölaajenemista. Venymäliuskan materiaalin valinnalla pystytään pienentämään lämpölaajenemisesta aiheutuva virhe noin 10 me/ °C.

Lämpötilanmuutos aiheuttaa resistanssin muutoksen myös siltakytkennässä käytetyissä johtimissa. Tämä muutos on kuitenkin hyvin pieni verrattuna sillassa käytettyjen vastuksien sekä venymäliuskan resistanssiin, mutta saattaa vaikuttaa mittaustarkkuuteen, mikäli venymäliuskan ja vastussillan välinen etäisyys on suuri.

Parhaiten lämpötilanmuutoksen kompensointi onnistuu käyttämällä puoli- tai täyssiltaa.

Tässä työssä lämpötilamuutokset eivät aiheuttaneet ongelmia, koska laitteen käyttölämpötila pysyy melko vakiona.

5 SERVOMOOTTORI

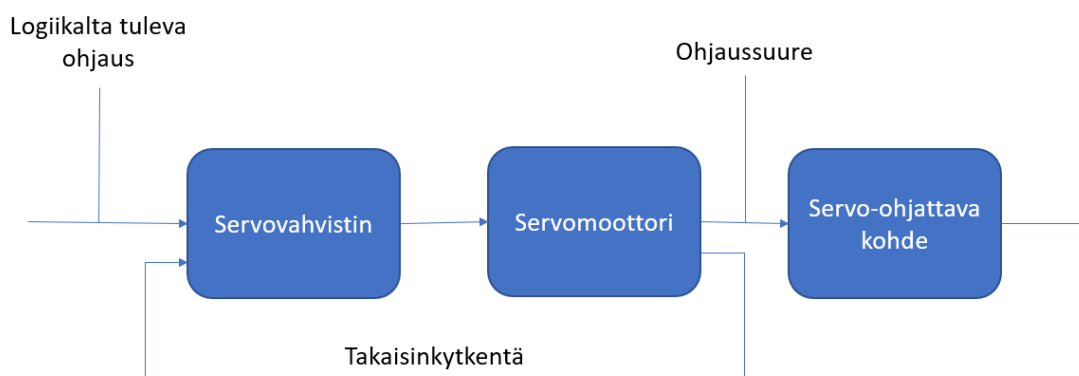
Servomoottorien käyttö alkoi 1940-luvulla sotatekniikassa, jossa tarvittiin nopeita ja tarkkoja liikkeitä, esimerkiksi tykkien, lentokoneiden sekä tutkien ohjauksessa. Teollisuudessa servomoottoreiden käyttö alkoi prosessiteollisuuden venttiiliohjauksista sekä konepajateollisuuden kopiustyöstökoneista, josta ne ovat sittemmin levinneet laajalti teollisuuden muihin sovelluksiin.

Servomoottorilla tarkoitetaan takaisinkytkettyä säädettävää sähkömoottoria, jolle voidaan määritellä tarkka paikka, nopeus ja kiihtyvyys. Servomoottoreita käytetään sovelluksissa, missä vaaditaan hyvää dynamiikkaa ja suurta tarkkuutta. (Keinanen & Sumujärvi 243, 2019.)

5.1 Servomoottorin ohjaus

Tyypillinen servokäyttö koostuu servomoottorista ja servovahvistimesta. Servovahvistin sovitetaan eli konfiguroidaan kyseistä moottorikäyttöä varten, jotta se saadaan toimimaan sovelluksessa halutulla tavalla. Konfiguroinnilla pyritään saamaan servo vastamaan logiikalta tulevaan ohjaukseen ennalta asetettujen rajojen puitteissa. (Johnson J.; Kördel L.; 2003: 52-54.)

Alla olevassa kuvassa on kuvattu servon takaisinkytkentää.



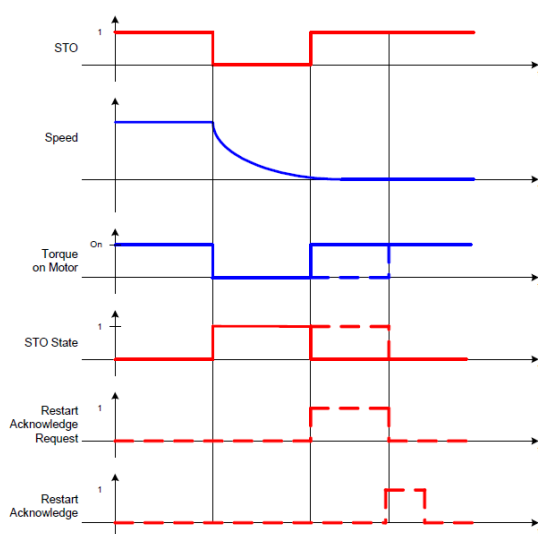
Kuva 9. Takaisinkytkentä

5.2 Servomoottorin turvatoiminnot

Servomoottorien tarkka sekä luotettava paikan ja nopeuden määrittäminen mahdollistaa erilaisten turvatoimintojen käytön. Työssä käytettiin STO-funktiota servojen pysäyttämiseen.

STO- Safe Torque Off -toiminto katkaisee moottorilta virran, heti kun STO-funktio on ohjattu päälle. STO aktivoituu myös automaattisesti vikatilanteissa, kuten servomoottorin ylikuormittumisen yhteydessä. STOtä käytettäessä on tärkeää huomioida, että sen aktivoituminen ei jarruta moottoria vaan ainoastaan katkaisee virran, jonka jälkeen moottori pyörii vapaasti. Näin ollen pysähdysten kesto riippuu siitä, kuinka suuri kineettinen energia kohdistuu moottoriin. Mikäli moottori kannattelee riippuvaa kuormaa moottorin nopeus saattaa jopa kiihtyä. Näin ollen erityisesti riippuvien kuormien yhteydessä on suositeltavaa käyttää ulkoista jarrua. (Beckhoff Automation AX5805/AX5806 2020.)

STO-toiminta on havainnollistettu kuvassa 10.



Kuva 10. STO-funktio

5.3 Beckhoff AM8000

Beckhoff tarjoaa servomootoreita erilaisilla ominaisuuksilla. Profiilin asennus portaalissa käytettiin AM8000-sarjan servomootoreita. AM8000-sarjan moottorit ovat kestäviä korkean suorituskyvyn omaavia moottoreita. Moottorit kattavat laajan vääntömomentti alueen 0.2-129Nm.

AM8000-sarjan roottorien hitausmomentti on matala ja moottorit omaavat korkean ylikuormituskapasiteetin, näiden ominaisuuksien ansiosta moottorit soveltuvat hyvin dynaamisten sovelluksien toteuttamiseen. (Beckhoff Automation Servomotors 2019.)

Kaikissa AM8000-sarjan moottoreissa on elektroninen tunnistekilpi, joka helpottaa huomattavasti käyttöönottoa. Moottorin parametreja ei tarvitse määritellä, vaan ne latautuvat automaattisesti laitekuvaustiedostosta, kun moottori skannataan TSM-ohjelmalla. TSM-ohjelma valitsee laitekuvaustiedoston tietokoneella olevasta EtherCAT-kansiosta moottorin tunnistekilven mukaan. Tämän edellytyksenä on, että skannattavan moottorin laitekuvaustiedosto eli ESI-tiedosto (EtherCAT Slave Information) on valmiiksi ladattu sekä siirretty tietokoneen EtherCAT-kansioon.

6 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

Logiikalla tarkoitetaan teollisuuden käyttötarkoituksiin suunniteltua tietokonetta, joka on suunniteltu ohjaamaan siihen liitettyjä toimilaitteita, kuten releitä, magneettiventtiileitä, moottoreita tai sylintereitä. Logiikkojen ohjelmointi on yksinkertaisempaa kuin tietokoneiden ohjelmointi, koska se suoritetaan standardisoidulla ohjelmointikielellä. (Värjä P.; Mikkola J. 1995.)

Logiikat kehitettiin korvaamaan kalliit ja joustamattomat releohjaus järjestelmät. Tämän lisäksi tavoitteena oli kehittää ohjaustapa, joka vähentäisi ja lyhentäisi huoltoaikoja, olisi mukautumiskykyisempi tuotannon muutoksiin ja parannuksiin. Ensimmäinen logiikka asennettiin osaksi autoteollisuuden tuotantolinjaa vuonna 1969. Logiikan edut huomattiin nopeasti, näitä olivat helppo asennettavuus sekä ohjelmoitavuus, lisäksi ne olivat huomattavasti pienempiä ja luotettavampia kuin releillä toteutetut ohjausjärjestelmät. Tämän vuoksi logiikkaohjaukset yleistyvät nopeasti kaikilla teollisuuden aloilla. (Hughes.T.A 2005.)

5.2 Logiikan tulot ja lähdöt

Tulot ja lähdöt luovat yhteyden laitteiden ja logiikan mikroprosessorin (CPU) välille. Logiikan tulojen (input) avulla havainnoidaan prosessissa tapahtuvia muutoksia kuten liikettä, pinnankorkeutta, lämpötilaa ja sen muutoksia, painetta sekä voimaa. Tulot välittävät myös käyttöliittymien tiedot logiikalle. Tuloista saatujen tietojen avulla logiikan prosessori ohjaa lähtöjä (outputs). Logiikan lähtöjen avulla ohjataan toimilaitteita, kuten venttiilejä, moottoreita, pumppuja ja huomiovaloja. Lisäksi lähtöjen avulla välitetään tietoa prosessin tilasta käyttöliittymiin. (Hughes. T.A., 2005). Tässä työssä yksi tärkeimmistä tuloista oli venymäliuska antureilta tulevat tiedot, näiden tietojen pohjalta muodostettiin liikenopeudet ja suunnat servomoottoreille.

5.3 Ohjelmointikielet

Ohjelmointikielet mahdollistavat logiikan toimintojen luomisen.

1970-luvun alussa kansainväliset tutkijaryhmät ehdottivat useita PLC ohjelmointikieliä kehittääkseen yhtenäisen tavan ohjelmoida logiikoita. Yhtenäinen standardi julkaistiin 1993 viidelle ohjelmointikielelle, nämä ovat Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD) Sequential Function Chart (SFC) Instruction List (IL) Structured Text (ST).

Ladder Diagram (LD) on käytetyin ja yksinkertaisin ohjelmointikieli, jolla voidaan toteuttaa ohjaukset, kuten ajastus ja yksinkertaiset matemaattiset operaatiot. Ladder Diagram (LD) koostuu symbolisista ohjeista, joiden avulla logiikan ohjelma luodaan. Nämä symbolit voidaan jakaa kuuteen luokkaan, jotka ovat kytkimet, laskurit, matemaattiset, datan käsittely, datan siirto sekä ohjelman hallinta.

Function Block Diagram (FBD) oli käytetyin ohjelmointikieli tässä työssä. Se on graafinen ohjelmointikieli, joka muodostuu loogisista 'laatikoista', jotka ovat yhdenkaltaisia Boolean algebran kanssa. Kielessä on myös monimutkaisempia funktion 'laatikoita', joiden avulla voidaan suorittaa ajastusta, matemaattisia operaatioita sekä datan käsittelyä (Hughes T.A. 2005).

Structured Text (ST) on ohjelmointikieli, joka on suunniteltu monimutkaisten sovellusten tekemiseen, joita ei pysty helposti tekemään muilla ohjelmointi kielillä.

Structured Text (ST) käytetään myös yleisesti ohjelman sekvenssien luomiseen. Tässä työssä ohjelmointikielenä käytettiin Structured Text (ST) monimutkaisempien matemaattisten operaation suorittamiseen.

Sequential Function Chart (SFC) ja Instruction List (IL) ovat vähemmän käytettyjä ohjelmointikieliä, joita ei käytetty tässä työssä.

7 KONETURVALLISUUS

Tuotantojärjestelmien jatkuvasta tehostamisesta seurannut automaatioasteen nouseminen edellyttää entistä, älykkäämpiä ja monimutkaisempia turvallisuus ratkaisuja. Tuotantoympäristöjen jatkuva muutos ja monimutkaistuminen edellyttää niitä koskevien lakien ja standardien seurantaa, jotta koneiden turvallisuus säilyy automatisoituvassa ympäristössä. (Automaatiotekniikka 2019.)

Suomen työturvallisuuslaissa 23.8.2002/738, 10§: on säädetty seuraavasti:

- VNA 400/2008, liite I:

”Jotta koneeseen sovellettavat terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan määrittää, pitää koneen valmistajan suorittaa koneelle riskien arviointi. Tämän jälkeen kone on suunniteltava ja rakennettava ottaen huomioon riskien arvioinnin tulokset”

Koneen suunnitteluvaiheessa suoritettiin riskienarviointi. Riskienarviointi suoritettiin riskienarviointitaulukkoa apuna käyttäen, joka perustuu konedirektiivissä määritettyyn periaatteeseen. (SFS-EN ISO 12100 2010.)

1. Koneen rajojen määrittely: sisältää määräysten mukaiset käytön ja kaikki ennakoitavat väärinkäytöt.
2. Vaarojen selvittäminen: vaarat, jotka kone voi aiheuttaa, ja niihin liittyvät vaaratilanteet
3. Riskien arviointi: vakavien tapaturmien tai terveyshaittojen mahdollisuuden niiden esiintymisen todennäköisyyden huomioiminen.
4. Riskien analysointi: selvitettävä, onko riskien rajoittaminen tarpeen direktiivin tavoitteiden saavuttamiseksi.
5. Vaarojen ehkäisy: vaaroihin liittyvien riskien rajoittaminen suojaustoimenpiteillä konedirektiivien määrittämässä järjestyksessä.

Kaikista Pemamekilla valmistettavista koneista tehdään yllä mainittu riskienarviointitaulukko. Riskienarviointi perustuu SFS-EN ISO 12100-koneturvallisuusstandardiin. Riskienarviointitaulukon pohjalta tehdään turvasuunnitelma (safety plain).

7.1 Riskienarviointi

Voimaohjauksen käyttö aiheutti seuraavat riskit:

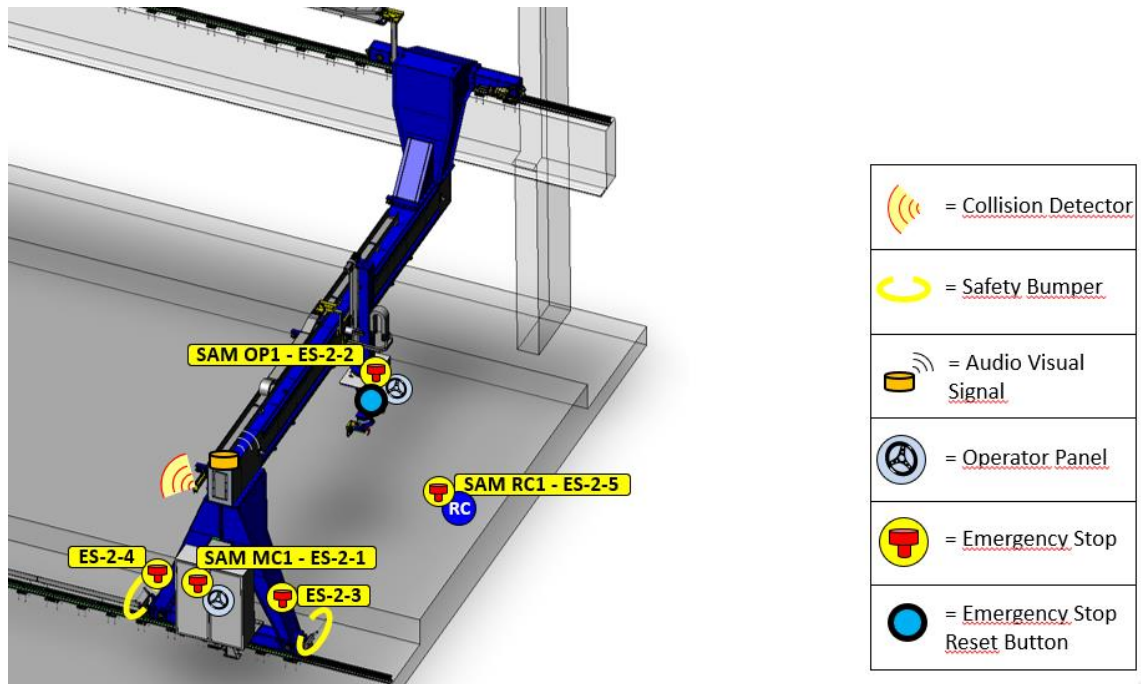
1. Voimaohjauksen takia operaattori joutuu työskentelemään portaalin välittömässä läheisyydessä.
2. Operaattorin kompastumisen tai kaatumisen yhteydessä tapahtuva tahaton voimaohjaus.
3. Voimaohjaus anturin vioittumisesta johtuva tahaton liikeohje.
4. Operaattori virheellisestä ohjauksesta johtuva puristumisvaara.
5. Kauko- ja voimaohjauksesta saman aikaisesta käytöstä aiheutuva vaara.

Nämä riskit pyrittiin minimoimaan seuraavilla ratkaisuilla.

1. Sallintakytkimellä, jonka tarkoituksena on estää tahaton liikeohjaus.
2. Asettamalla maksimi raja ohjausvoimalle. Mikäli voimaohjausanturiin kohdistuu asetusarvoa suurempi voima, kaikki liikkeet pysäytetään ja rajan ylittämistä seurannut virhe on kuitattava ennen kuin koneen käyttöä voidaan jatkaa.
3. Rajoittamalla liikenopeuksia, kun portaalia ajetaan voimaohjauksella.
4. Asettamalla servoille nopeat hätähidastusrampit, jotta ne pysäyttävät portaalin hätäseis tilanteessa riittävän nopeasti.
5. Estämällä kauko- ja voimaohjauksen samanaikainen käyttö avainkytkimellä.
6. Esittämällä selkeästi käyttöliittymän paneelissa, mikä ohjaustapa on valittu ja mitkä liikesuunnat ovat käytössä.

7.2 Turvasuunnitelma

Turvasuunnitelma on dokumentti, josta selviää laitteen turvallisuuteen liittyvät ratkaisut kuten hätä-seis-painikkeiden sijoitus, paikat ja niiden vaikutusalueet, valoverhojen sijoittelu, vaara-alueet sekä hallintalaitteiden sijainti. Alla kuva 11. profiilin asennusportaalin turvasuunnitelma layoutista.



Kuva 11. Safety layout

Turvasuunnitelmaan käytettiin pohjana logiikan turvaohjelmaa suunniteltaessa.

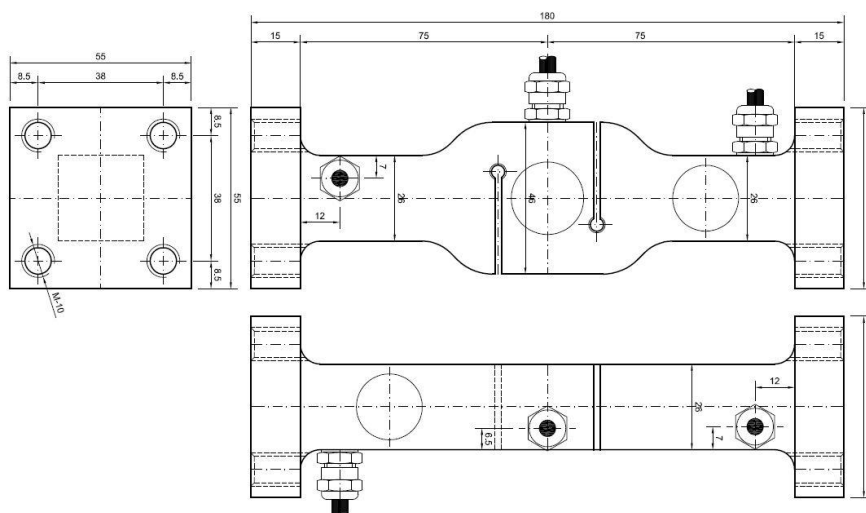
8 VOIMAOHJAUS

Voimaohjauksen lisäämisellä perinteisen radiokauko-ohjauksen rinnalle pyrittiin luomaan ohjaustapa, joka olisi mahdollisimman luontainen käyttää. Tämän seurauksena voimaohjauksen käyttö olisi helposti omaksuttavissa eikä pitkää harjoittelujaksoa tarvittaisi. Tämän lisäksi venymäliuska-antureilla toteutettu liikeohjaus oli tarkoitus olla perinteistä ohjaustapaa tarkempi mikä osaltaan nopeuttaisi profiilien asemointia.

Voimaohjaus koostui kolmesta osasta, jotka olivat Dinacell K300-anturi, Beckhoff EL3351-analoginen vastussilta mittauskortti sekä sallintakytkin.

8.1 Dinacell K300

Dinacell K300 on anturi, joka mittaa siihen kohdistuvaa voimaa. Anturiin on sijoitettu kolme venymäliuskaa, joiden avulla anturi pystyy jakamaan siihen vaikuttavan voiman kolmeen eri vektoriin X, Y ja Z. Tämä on mahdollistettu anturin muotoillulla sekä venymäliuskojen sijoittelulla. Näiden kolmen eri voimavektorin avulla pystytään luomaan liikeohjeet eri liikesuunnille, joka on tärkeitä voimaohjauksen kannalta. Kuvassa 12 on havainnollistettu Dinacell K300-anturin rakenne.



Kuva 12. Dinacell K300

8.2 Beckhoff EL3351

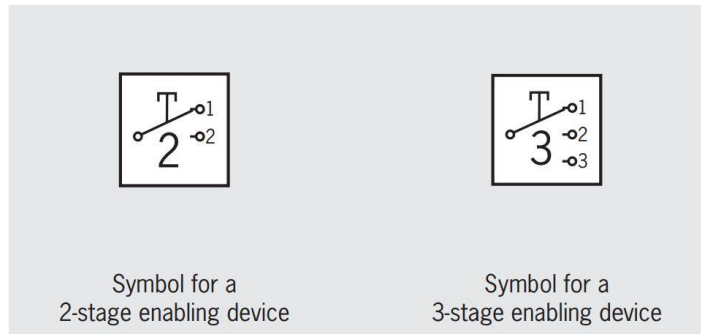
Beckhoff EL3351 on logiikan inputkortti, joka on tarkoitettu vastussillassa tapahtuvan resistanssi muutoksen mittaamiseen. EL3351 -korttia käytettiin mittaamaan Dinacell K300 venymäliuska-anturissa tapahtuvaa resistanssin muutosta. Voimaohjauksessa käytettiin kolmea EL3351- korttia, eli suunnille X, Y ja Z oli jokaiselle oma mittauskortti.

Beckhoff EL3351 mahdollistaa erittäin pienten resistanssi muutosten mittaamisen vastussiltakytkennän avulla. Kortti tarvitsee toimiakseen kaksi inputtia, jotka ovat syöttöjännite U_{REF} sekä venymäliuskaan vaikuttava jännite U_D . Kaavalla U_D/U_{REF} saadaan laskettua tarkasti venymäliuskassa tapahtuva resistanssin muutos. Tästä mittaustuloksesta saadaan muokattua PLC:n ohjelmassa eri akselien liikenopeudet sekä liikesuunnat. (Beckhoff Automation EL3351 2020.)

8.3 Sallintakytkin

Sallintakytkin on tavallisesti kädessä pidettävä tai jalalla painettava kytkin, jonka painaminen mahdollistaa koneen ajamisen.

Sallintakytkin tai aktivointikytkin on tarpeellinen manuaalisesti ohjatuissa koneissa silloin, kun operaattorit joutuvat työskentelemään koneen välittömässä läheisyydessä. Sallintakytkimellä pyritään varmistamaan mahdollisimman nopea koneen pysäytys operaattorin virheen tai konevian yhteydessä. Sallintakytkimet voidaan jakaa kahteen luokkaan 2-asentoisiin- ja 3-asentoisiin kytkimiin. 2-asentoisissa kytkimissä on kaksi asentoa, jotka ovat päällä ja pois. Tämän takia 2-asentoisia kytkimiä voidaan käyttää vain matalan riskitason koneissa. 3-asentoisen kytkimen tilat ovat pois - päällä - pois, molemmista kytkimistä on esimerkki alla olevassa kuvassa.



Kuva 13. Sallintakytkin tyypit

3-asentoisella kytkimellä sallitaan koneen liikkeet ainoastaan keskiasennossa. Tästä seuraa koneen pysähtyminen, mikäli operaattori puristaa tai vapauttaa kytkintä liikaa hätätyntymisen tai kaatumisen takia.

Voimaohjauksen toteuttamisessa käytettiin ABB:n valmistamaa 3-asentoista sallintakytkintä, jonka avulla voitiin varmistaa koneen pysähtyminen hätätilanteissa.



Kuva 14. ABB Sallintakytkin

9 OHJELMOINTI

Ennen varsinaisen ohjelmoinnin aloittamista oli tärkeätä luoda projektille kansio rakenne, jonne kerättäisiin projektiin liittyvät dokumentit sekä jonne ohjelmat tallennettaisiin. Tämä helpottaa huomattavasti projektin liittyvien tiedostojen hallintaa sekä niiden löytämistä projektin aikana sekä tulevaisuudessa.

9.1 Ohjelmistot

Logiikan ohjelmointiin käytettiin TwinCAT 2 ohjelmisto kokonaisuutta. TwinCAT 2 jakaa logiikan ohjelmoinnin kahteen eri ohjelmaan, jotka ovat TwinCAT System Manager (TSM) ja TwinCAT PLC Control.

System Managerin (TSM) avulla otetaan yhteys logiikkaan ja määritellään logiikkaan liitetyt komponentit, kuten IO-kortit, servo-ohjaimet sekä taajuusmuuttajat eli System Managerin avulla konfiguroidaan logiikan väylä sekä väylään liitetyt komponentit. Mikäli väylään on kytketty turvalogiikka, niin sen ohjelma luodaan System Managerin avulla.

PLC Controlin avulla luodaan varsinainen ohjelma. PLC Control- ohjelmointi suoritetaan aikaisemmin mainitulla IEC 61131-3 standardin mukaisilla ohjelmointikielillä, joita ovat Ladder Diagram (LD), Function block diagram (FBD), Structured text (ST), Sequential Function Chart (SFC) Instruction List (IL) ja Continuous Function Chart (CFC). Käytin logiikan ohjelmoinnissa eniten Function block diagram sekä Structured text- ohjelmointi kieliä. PLC Control- ohjelmalla on myös mahdollista monitoroida sekä simuloida ohjelmaa.

Ohjauspisteen yhteyteen tuleva Beijer-X2 kosketusnäyttöpaneelin käyttöliittymä ohjelmoitiin iX Developerin avulla. iX Developerin on ohjelmointi työkalu Beijer merkkisille teollisuuskosketusnäyttö paneeleille. iX Developerin avulla on helppo luoda rajapinta logiikan ja kosketusnäytön välille.

9.2 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä koostui Beijerin X2 7- tuuman kosketusnäyttöpaneelistä, 6- näppäimen painikepaneelistä, kahdesta vipukytimestä, valintakytkimestä, hätäseis-kuittaus-painikkeesta sekä voimaohjauskahvasta.

Käyttöliittymän luomisessa kiinnitettiin erityisesti huomiota käytettävyyteen. Tämän vuoksi koneen toiminnot, jotka liittyivät koneen liikuttamiseen, haluttiin sijoittaa fyysisiin näppäimiin sekä kytkimiin. Kosketusnäyttö paneeli informoi käyttäjää valitusta ohjaustavasta, liikenopeuksista sekä hälytyksistä. Lisäksi paneeliin luotiin huoltosivu, josta oli mahdollista säätää koneen liikenopeuksia ja suorittaa koneen kalibroiminen.

9.3 Logiikan ohjelmointi

Ennen logiikan ohjelmoinnin aloittamista oli tärkeätä tutustua yrityksen ohjelmointiohjeeseen. Ohjelmointiohjeessa on määritetty muun muassa, kuinka erityyppiset muuttujat tulee nimetä ja kuinka ohjelman kommentointi tulee tehdä.

Logiikan ohjelmointi aloitettiin PLC Control- ohjelmalla. Ensimmäinen tehtävä oli luoda ohjelmointiohjeen mukainen ohjelmarakenne. Yhdenmukaisella ja selkeällä ohjelmarakenteella saadaan aikaan huomattavasti helppolukuisempi ohjelma, erityisesti kun on kyse laajoista ohjelmakokonaisuuksista.

Seuraavaksi luotiin rajapinnat logiikkaan tulevasta ja lähtevästä IO:sta. Rajapinnat luodaan käyttämällä apuna sähköosaston piirtämiä sähkökuvia. Rajapinnassa nimetään muuttujat sähkökuviissa käytettyjen nimien mukaan. Tämä helpottaa muuttujien käyttöä ohjelmassa ja tekee ohjelmasta selkeän lukea.

Kun rajapinnat oli luotu, alkoi koneen toimintojen luominen. Ensimmäiseksi luotiin laiteohjauslohkot kaikille koneen toimilaitteille. Näitä ovat mm. servot, venttiilit sekä taajuusmuuttujat. Monissa koneissa käytetään samoja tai samankaltaisia laitteita, jolloin ei ole järkevää luoda uusia laiteohjauslohkkoja vaan käyttää ennalta luotuja lohkoja, joita kutsutaan kirjastolohkoiksi. Tämä helpottaa ja nopeuttaa ohjelmien tekemistä huomattavasti.

Tämän koneen toimintojen ehtojen eli älyn rakentaminen oli yksi työläimmistä vaiheista, koska mitään valmista ohjetta tähän vaiheeseen ei ole. Ääriverrat siihen kuinka koneen tulisi toimia löytyvät koneen toiminnan kuvauksesta. Yksityiskohtien selvittämiseksi oli

välttämätöntä järjestää palavereja, joissa olivat mukana kaikki koneen suunnitteluun osallistuvat osastot sekä myynnin edustaja, jotta lopputuote olisi toiminoiltaan halutunlainen.

8.1 Käyttöönotto ja testaus

Käyttöönotto alkoi logiikan perusasetuksien määrittelyllä, näihin kuului mm. seuraavat asiat IP-asetuksien asettaminen, logiikan nimeäminen ja AMS-osoitteen asettaminen. Kun logiikan IP-osoite oli asetettu, voitiin muodostaa yhteys tietokoneen sekä logiikan välille.

Seuraava työvaihe oli väylässä olevien laitteiden määrittely TwinCAT System Manager-ohjelmaan. Tämä oli mahdollista suorittaa kahdella eri tavalla, joko määrittämällä kaikki laitteet manuaalisesti tai System Managerin ohjelman väylän skannaus ominaisuuden avulla. Skannauksessa ohjelma määrittelee automaattisesti kaikki väylässä olevat laitteet ja luo niistä väylänkonfiguraation. Päätin käyttää työssä väylän skannaamista, koska se pienentää virheiden mahdollisuutta väylän määrittelyssä. Skannauksen lopputuloksesta nähdään myös mahdolliset puutteet tai viat, kuten väylän katkeaminen. Huonoa skannauksessa on se, että sitä ei voi tehdä etukäteen vaan laite pitää olla sähköisesti valmis ennen skannaamisen suorittamista.

Kun väylässä olevat laitteet oli saatu määritettyä System Manageriin, alkoi PLC Controllerissa luotujen muuttujien linkittäminen laitteisiin. Linkityksellä tarkoitetaan yhteyden luomista logiikan ohjelmassa olevan muuttujan ja väylässä olevan laitteen välillä esim. tulokortin kanavan yhdistämistä ohjelmassa kirjoitettuun muuttujaan.

System Managerin avulla luotiin myös turvalogiikan ohjelma. Turvaohjelmaan määritellään käytössä olevat turvalaitteen ja niiden toiminnot esim. hätä-seis-painikkeet ja sallintakytkimet. Tämä oli tärkeätä tehdä ennen servo tai muiden laitteiden liikuttamista. Turvaohjelman avulla käyttöönotto pystyttiin suorittamaan turvallisesti, koska sen avulla pystytään pysäyttämään kone turvallisesti hätätilanteissa.

Muuttujien linkittämisen jälkeen suoritettiin konfigurointi sitä vaativille laitteille. Konfigurointia vaativia laiteita olivat servo-ohjaimet ja analoginen inputkortti EL3351. Konfiguroinnilla tarkoitetaan laitteen ominaisuuksien määrittämistä. Laitteen konfiguroinnilla voidaan vaikuttaa huomattavasti sen toimintaan. Erityisesti servojen osalta konfigurointi osoittautui erittäin haastavaksi. Suurimmat haasteet olivat tasapainon löytämisessä hy-

vän ohjaustuntuman sekä kiihdytys ja hidastus ramppien välillä. Nopeat kiihdytys ja hidastuvuus ajat paransivat ohjaus tuntumaa, mutta aiheuttivat servojen ylikuormittumista. Ongelman ratkaisemisessa käytettiin Beckhoffin Scope- ohjelmaa, jonka avulla pystyttiin seuraamaan servoissa vaikuttavaa vääntömomenttia. Tämän perusteella kiihtyvyys ja hidastuvuus pystyttiin säätämään niin, että vääntömomentti servomootoreissa ei noussut liian korkeaksi.

10 YHTEENVETO

Projekti alleviivasi käsitystä siitä, että käyttäjäystävällisyys sekä tehokkuus ovat yksi tärkeimmistä konesuunnittelun teemoista, jotta yritys pystyy tarjoamaan kilpailukykyisiä tuotteita ja säilyttämään asemansa markkinajohtajana. Yritykselle on oleellisen tärkeää jatkuvasti kehittää tuotteita ja niiden käyttäjäystävällisyyttä. Näin olleen tämän työn prioriteettina oli kartoittaa venymäliuskoilla toteutetun voimaohjauksen toimivuutta.

Työn suurimmaksi haasteeksi nousi kokonaisuuden ymmärtäminen, eli se kuinka eri tekijät korreloivat keskenään. Testiympäristössä voimaohjaus on helppo saada toimimaan ideaalisesti, mutta käytännön ympäristö aiheuttaa haasteita, kuten massan aiheuttamat rajoitteet kiihtyvyydelle sekä portaalin liikkeestä aiheutuva värinä. Pelkästään jo nämä kaksi aiheuttivat huomattavia haasteita voimaohjauksen toimivuudelle. Tämän vuoksi oli tärkeätä ymmärtää mitkä eritekijät vaikuttavat voimaohjaukseen, ja miten ne saadaan toimimaan keskenään halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Näitä ovat esimerkiksi kiihtyvyys- ja hidastuvuusajat. Liian pitkät ramppiajat saivat voimaohjauksen tuntumaan käyttäjästä hallitsemattomalta, kun taas liian pienet ramppiajat aiheutti huomattavaa värinää portaalin runkoon sekä servojen ylikuormitusta.

Tämän lisäksi koneen käyttöönoton aikana ilmeni, että vaikka kone olisi suunniteltu voimaohjausta silmällä pitäen, suunnitteluvaiheessa on hyvin vaikea huomioida kaikkia voimaohjaukseen vaikuttavia tekijöitä. Näitä tekijöitä on mm. koneen liikkeestä syntyvä värähtely, joka voi vahvistua voimaohjauksessa aiheuttaen häiriötä koneen liikeohjaukseen. Näiden lisäksi ratkaistavaksi haasteeksi nousi myös voimaohjauksen turvallisuus käyttäjälle. Raskaita massoja ohjattaessa käyttäjä on koneen välittömässä läheisyydessä. Tämän takia on ehdottoman tärkeätä, että virhetilanteessa kone pysähtyy riittävän nopeasti, jotta käyttäjälle ei aiheudu vaaraa. Tämä ratkaistiin käyttämällä turvaluokiteltua sallintakytkintä, jonka avulla varmistettiin, ettei käyttäjä käynnistä konetta epähuomiossa, esimerkiksi nojaamalla ohjaimeen. Lisäksi voimaohjaimelle asetettiin maksimivoimanrajoitin, jonka ylittyminen aiheutti koneen turvallisen pysäyttämisen.

Kaikki haasteet saatiin ratkaistua ja projektin lopputulemana oli mahdollista rakentaa toimiva kone käyttäen voimaohjaustapaa, joka oli mahdollista tuotteistaa ja joka otettiin Pemakin valikoimaan onnistuneesti. Tällä hetkellä tuotteesta tehdään markkinointimateriaalia kansainvälisille markkinoille.

LÄHTEET

All About Circuits Bridge Circuits 2020. www-sivut Luettu 24.4.2020 Saatavilla verkossa <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-8/bridge-circuits/>

All About Circuits Strain Gauges 2020. www-sivut Luettu 24.4.2020 Saatavilla verkossa <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>

Beckhoff Automation EL3351 2020. www-sivut. Viitattu 12.3.2020. Saatavilla verkossa <https://download.beckhoff.com/download/document/io/ethercat-terminals/el3351en.pdf>

Beckhoff Automation AX5805/AX5806 www-sivut 2020. Luettu 12.2.2020. Saatavilla verkossa https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twinsafe/ax5805_ax5806en.pdf

Beckhoff Automation Servomotors www-sivut 2019. Luettu 17.4.2020. Saatavilla verkossa <https://www.beckhoff.com/Servomotors/>

Hughes T.A.; 2005. Programmable Controllers Resources for measurement and control series 4th edition. United State. ISA.

Idec Corboration Enabling 2012. www-sivut. Luettu 12.12.2019 <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/1424/0900766b81424d2b.pdf>

Johnson J.; Kördel L.; 2003. Servotekniikka. Iisalmi. IS-PRINT.

Keinanen T.; Sumujärvi M.; 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki. Sanoma Pro Oy.

National Instruments 2019. www-sivut Luettu 4.5.2020 Saatavilla verkossa <https://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/06/how-is-temperature-affecting-your-strain-measurement-accuracy-.html>

Pemamek Oy www-sivut 2019. Luettu 17.4.2020. Saatavilla verkossa <https://pemamek.com/fi/yri-tys/>

SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 2010. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Värjä P.; Mikkola J.; 1995. Ohjelmoitavat logiikat. Kouvola. Mikro-Oppi