

Timo Joensuu

PINNANTESTAUSLAITTEEN SÄHKÖ- JA TURVASUUNNITTELU

PINNANTESTAUSLAITTEEN SÄHKÖ- JA TURVASUUNNITTELU

Timo Joensuu
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Sähkö- ja automaatiotekniikan
tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Automaatiotekniikka

Tekijä: Timo Joensuu

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Pinnantestauslaitteen sähkö- ja turvasuunnittelu

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Electrical and Safety Design for Surface Measurement Station

Työn ohjaajat: Manne Tervaskanto (OAMK), Risto Toljamo (JOT Automation Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 37

Työn aiheena oli sähkö- ja turvasuunnittelun toteutus uudelle pinnanmuodon testauslaitteelle. Laitteen tarkoituksena on mitata lasisen pinnan muotoa ja verrata sitä referenssi-kappaleeseen. Hyväksytyin kappaleen toleranssit ovat lasin tasaisuudelle alle 75 µm, korkeudelle ±70 µm ja ulkomitoille ±100 µm. Mittaustarkkuuden vaatimuksena on kymmenesosa toleranssista. Skannauksen jälkeen hylätyt tuotteet on erotettava hyväksytyistä. Työn toimeksiantaja oli JOT Automation Oy, joka suunnittelee ja toteuttaa automaattisia testaus- ja tuotantolaitteita elektroniikkateollisuuden tarpeisiin. Työ toteutettiin lähtökohdaisesti asiakastilauksena, mutta siitä suunniteltiin modulaarinen kokonaisuus, jonka pysyy myöhemmin lisäämään osaksi JOT:n tuoteperhettä.

Opinnäytetyössä esitellään suunnittelussa huomioon otettavia direktiivejä ja standardeja sekä selostetaan vaiheittain suunnittelutyön eteneminen. Sähkö- ja pneumatiikkakuvien suunnittelussa työkaluna käytettiin EPLAN Electric P8 -ohjelmaa. Laitteen turvajärjestelmän älynä toimii Beckhoffin TwinSAFE-tuoteperhe. Turvasuunnittelu toteutettiin Beckhoffin TwinCAT XAE -kehitysympäristön avulla.

Työn tuloksena saatiin sähkö- ja pneumatiikkakuvat sekä turvajärjestelmä, joista rakennettiin valmis, toimiva sekä turvallinen prototyyppi uudesta pinnantestauslaitteesta.

Asiasanat: konedirektiivi, sähkösuunnittelu, turvallisuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Automation Engineering

Author: Timo Joensuu

Title of thesis: Electrical and Safety Design for Surface Measurement Station

Supervisors: Manne Tervaskanto (OUAS), Risto Toljamo (JOT Automation Ltd.)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 37

The aim of this thesis was to make an electrical and safety design for a new surface measurement station. The purpose of the machine is to scan glass surface and compare it to a reference piece. Tolerances for the accepted product are 75 μm for the flatness, $\pm 70 \mu\text{m}$ for the height and $\pm 100 \mu\text{m}$ for outer dimensions. Passed products must be separated from failed ones after the scan. The commissioner of this thesis is JOT Automation Ltd. Jot Automation designs and produces automated testing devices for the global electronics industry.

Primarily the device was designed as a customer project, but it was also designed to be modular, which can be later added as part of JOT's product family.

The thesis explores different directives and standards that are required for designing automatic machines. It also goes through the design process of a new device step by step. Electrical and pneumatic design was done with the EPLAN Electric P8 software. The safety aspect of the machine is controlled by Beckhoff's TwinSAFE product family. The safety programming was done with the Beckhoff's TwinCAT XAE engineering environment.

As a result, electricians built the working and safe prototype of the machine based on the design.

Keywords: electric design, machinery directive, safety

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	9
2.1 Laitteen tarkoitus ja vaatimukset	9
2.2 Modulaarisuus	9
2.3 Suunnittelutyökalut	10
3 SUUNNITTELUSÄÄNNÖT	11
3.1 EU-direktiivit	11
3.2 SMEA	12
3.3 Johdotukset	12
4 SUUNNITTELUPROSESSI	16
4.1 Pääkomponenttien valinta	16
4.2 Alustava suunnittelu	17
4.3 Manipulaattorin suunnittelu	18
4.3.1 Kuljetin	18
4.3.2 Yläakselisto	19
4.3.3 Tarttuja	19
4.3.4 Pääkokoonpano	19
4.3.5 Ohjauskeskus	20
4.4 Skannauslaitteen suunnittelu	22
4.4.1 Ala-akselisto	23
4.4.2 Kappaleen kohdistajat	23
4.4.3 Skannausyksikkö	23
4.4.4 Alakeskus	24
5 RISKIEN JA VIRHETILANTEIDEN KARTOITUS	25
5.1 DFMEA	25
5.2 Riskin arviointi ja pienentäminen	26

6 TURVASUUNNITTELU	29
6.1 Turvakomponentit ja -piirit	29
6.2 Sistema	30
7 POHDINTA	35
LÄHTEET	36

SANASTO

B10d	toimintajaksojen lukumäärä, jolloin 10% komponenteista vikaantuu vaarallisesti
I/O	input/output; tulo- ja lähtösignaali
MTTFd	keskimääräinen aika vaaralliseen vikaantumiseen
OSSD	output signal switching device; kahdennettujen lähtöjen oikosulkuvalvonta
PL	turvafunktion saavuttama suoritustaso
PLC	programmable logic controller; ohjelmoitava logiikka
PLr	turvafunktion vaadittu suoritustaso
SELV-järjestelmä	maasta erotettu pienoispännitteinen järjestelmä
W-akseli	kiertosuuntainen liike
X-akseli	vaakasuuntainen liike
Y-akseli	syvyysuuntainen liike
Z-akseli	pystysuuntainen liike

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli sähkö- ja turvasuunnittelun toteutus uudelle asiakasprojektille, jossa laitteen täytyy mitata lasisen pinnan muotoa. Toleranssit lasin tasaisuudelle ovat alle 75 µm, korkeudelle ±70 µm ja ulkomitoille ±100 µm. Mittaustarkkuuden vaatimuksena on kymmenesosa toleranssista. Uusi laite tehtiin lähtökohtaisesti asiakasprojektina, mutta se suunniteltiin modulaariseksi kokonaisuudeksi, jonka pystyy myöhemmin lisäämään JOT Automationin tuoteperheeseen.

Opinnäytetyössä selostetaan kyseessä olevan pinnantestauslaitteen suunnittelutyön eri vaiheet sekä käsitellään yleisesti uuden koneen suunnittelemisessa huomioon otettavia sääntöjä ja turvallisuusmääräyksiä. Myös modulaarinen suunnittelutapa on keskeisessä osassa opinnäytetyötä.

Suunnittelutyön tarkoituksena oli laatia sähkö- ja pneumatiikkasuunnitelmat, joiden perusteella asentajat pystyvät rakentamaan laitteesta prototyypin. Laitteen turvasuunnittelu sisältyy myös työhön. Aikataulullisesti tavoitteena oli saada vaatimukset täyttävän sekä turvallisen laitteen prototyyppi valmiiksi vuoden 2018 loppuun mennessä.

Suunnittelutyön sähkö- ja pneumatiikkapiirustukset tehtiin EPLAN Electric P8 -ohjelmalla. Turvalogiikan ohjelmoiminen tapahtui Microsoft Visual Studioon integroidulla Beckhoffin TwinCAT 3 XAE -ohjelmistolla.

Työn toimeksiantajana toimi JOT Automation Oy, joka suunnittelee ja toteuttaa automaattisia testaus- ja tuotantolaitteita elektroniikkateollisuuden tarpeisiin. Se on perustettu vuonna 1988 Oulussa, jonka jälkeen se on laajentanut toimintaansa 14 maahan. Kesäkuusta 2018 lähtien JOT Automation on ollut osa Suzhou Victory Precisionia. (1.)

2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Työn toimeksiantajana oli JOT Automation Oy, joka suunnittelee ja valmistaa automaattisia testaus- ja tuotantolaitteita elektroniikkateollisuuden tarpeisiin. JOT:n erityisosaamisalueeseen kuuluu älylaitteiden lopputestaus sekä piirilevytason testauslaitteet osana tuotantolinjastoa.

Laitteen suunnittelu alkoi keväällä 2018 asiakkaan tilauksen pohjalta. JOT:lla ei ollut vakiotuoteperheessään asiakkaan vaatimuksia täyttävää laitetta, mutta tällainen laite sopi erinomaisesti JOT:n tuoteperheeseen. Projektissa täytyi ottaa huomioon asiakkaan vaatimusten lisäksi myös modulaarinen suunnittelutapa, jotta laitteesta voidaan myöhemmin helposti tehdä JOT:lle vakioitu alusta osaksi tuotevalikoimaa.

Laitteeseen täytyi myös toteuttaa turvasuunnittelu. Turvasuunnittelu on paitsi tärkeää, myös välttämätöntä, jotta konetta saadaan myydä ja käyttää. EU asettaa konedirektiivissä vaatimukset laitteiden turvallisuudesta. Mikäli riittävää turvallisuutta ei saavuteta rakenteellisella luontaisesti turvallisella suunnittelulla, on laitteen turvallisuutta lisättävä turvateknisillä komponenteilla.

2.1 Laitteen tarkoitus ja vaatimukset

Suunniteltavan laitteen on tarkoitus kannata ja varmistaa lasisen pinnan oikea muoto. Toleranssit ovat lasin tasaisuudelle alle 75 µm, korkeudelle ±70 µm ja ulkomitoille ±100 µm. Mittaustarkkuuden täytyy olla 0,1 kertainen toleranssiin verrattuna. Yhden kappaleen skannaukseen saa kulua aikaa korkeintaan kuusi sekuntia.

Kone tulee olemaan osa linjastoa, jossa edellisen ja seuraavan laitteen välisessä rajapinnassa on noudatettava SMEMA standardia. Lasikappaleet liikkuvat kuljettimella 10-paikkaisissa tarjottimissa. Skannauksen jälkeen hylätyt tuotteet on eriteltävä hyväksytyistä ja lähetettävä eteenpäin.

2.2 Modulaarisuus

Samalla kun tuotteiden elinkaaret lyhenevät, asettaa teollisuus enemmän painoarvoa ketterille ja helposti muokattaville tuotantoratkaisuille. Kyky sopeutua nopeasti muuttuviin

markkinoihin, uusiin tuotteisiin sekä teknologioihin on avain yrityksen selviytymiseen. (2, s. 69.)

Laitteesta suunniteltiin myös modulaarinen kokonaisuus. Peruslaitteeseen voidaan myöhemmin suunnitella liitettäväksi erilaisia vaihtoehtoisia osakokonaisuuksia eli moduuleja. Tällöin tätä laitetta pystytään käyttämään alustana tuleviin projekteihin suunnittelemalla asiakas- ja tuotekohtaisia laitteeseen yhteensopivia moduuleja. Prototyypin ei kuitenkaan vielä tule useita moduuleja, vaan ainoastaan valmius helposti suunnitella ja liittää sellaisia myöhemmin.

Laitteen runko, keskus ja akselistot tulevat pysymään pääsääntöisesti muuttumattomina, mutta esimerkiksi erilaiset tarttajat voivat olla mekaanisesti ja sähköisesti hyvinkin erilaisia toisiinsa nähden. Tähän varaudutaan ottamalla ohjausraja-rajapinnoissa huomioon eniten I/O-pisteitä tarvitseva vaihtoehto.

2.3 Suunnittelutyökalut

Sähkö- ja pneumatiikkasuunnittelu toteutetaan EPLAN Electric P8 -ohjelmalla. EPLAN on osa Friedhelm Loh Groupia, joka työllistää 11500 henkilöä ympäri maailmaa. EPLAN keskittyy optimoimaan suunnittelutyöskentelyn muun muassa integroitumalla yrityksen PDM- tai ERP-rajapintoihin, luomalla tehdyistä suunnitelmista automaattisesti kattavan valikoiman raportteja sekä tarjoamalla konsultointia ja koulutusta. (3.) Turvalogiikan ohjelmoiminen tapahtui Microsoft Visual Studioon integroidulla Beckhoffin TwinCAT 3 XAE -ohjelmistolla.

3 SUUNNITTELUSÄÄNNÖT

Uuden koneen suunnittelussa on ensimmäiseksi otettava selville, mitä EU:n asettamia direktiivejä on noudatettava. Lisäksi täytyy ottaa huomioon käytettävät standardit sekä yrityksen sisäiset suunnittelutavat.

3.1 EU-direktiivit

Euroopan Unionin direktiivit yhtenäistävät jäsenvaltioidensa lainsäädäntöä. Uuden tai päivitetävän koneen suunnittelussa ne asettavat vaatimuksia, joiden on täyttyvä, ennen kuin tuotetta voidaan markkinoida sen jäsenmaissa (4). Kun nämä vaatimukset on täytetty, on kaikkien jäsenten myös hyväksyttävä sen markkinointi omassa maassaan (4). Tämä helpottaa huomattavasti direktiivin alla olevien tuotteiden liikkumista EU:n jäsenmaissa, koska niitä ei tarvitse erikseen tarkastuttaa jokaisen eri maan viranomaisilla.

Keskeisin tämän laitteen suunnittelussa huomioon otettava direktiivi on konedirektiivi 2006/42/EY. Muita tätä laitetta koskevia direktiivejä ovat Pienjännitedirektiivi 2014/35/EU sekä EMC- direktiivi 2014/30/EU.

Jokainen näistä direktiiveistä vaatii suorittamaan laitteelle vaatimustenmukaisuuden arvioinnin, laatimaan nämä osoittavat tekniset asiakirjat sekä allekirjoittamaan vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. Tämän jälkeen tuote on varustettava CE-merkinnällä. (4; 5; 6.)

Konedirektiivi velvoittaa valmistajan suorittamaan riskin arvioinnin, joka määrittää koneeseen sovellettavat terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Tämän jälkeen kone täytyy suunnitella ja rakentaa niin, että nämä vaatimukset täyttyvät riskin arvioinnin tulokset huomioon ottaen. Sähköisten vaarojen osalta noudatetaan pienjännitedirektiivissä asetettuja turvallisuustavoitteita. Direktiiveissä määrätyt olennaiset vaatimukset katsotaan täytetyiksi, mikäli suunnittelussa on noudatettu niitä yhdenmukaistettuja standardeja, joihin on viitattu kyseisen vaatimuksen osalta Euroopan unionin virallisessa lehdessä. (4.)

Yhdenmukaistetut standardit konedirektiiviin liittyen on jaettu kolmeen tyyppiin. A-tyyppin standardit kattavat koneiden yleiset suunnitteluperiaatteet, mutta eivät kuitenkaan yksin riitä täyttämään vaatimustenmukaisuusvaatimusta. B-tyyppin standardit käsittelevät tiettyjä

koneen osa-alueita ja yhdessä A-tyyppin standardien kanssa noudatettuna toteuttavat vaatimustenmukaisuusolettaman. C-luokan standardit määrittelevät tietyn koneluokan vaatimukset ja ovat ensisijaisia edellä mainittuihin nähden, mikäli vaatimukset poikkeavat toisistaan. (7.)

Pienjännitedirektiivin tavoitteena on varmistaa ihmisten ja lemmikkieläinten turvallisuus, sekä omaisuuden suojelun taso määrittämällä näitä vaarantavat riskit. Sitä sovelletaan sähkölaitteisiin, jotka toimivat nimellisjännitteeltään 50–1000 V:n vaihtovirran alueella, tai 75–1500 V:n tasavirran alueella. (5.)

EMC-direktiivi taas on laadittu varmistamaan, että laitteet ovat riittävällä tasolla sähkömagneettisesti yhteensopivia. Laite ei saa häiritä muita laitteita ja on toisaalta siedettävä sille tarkoitetussa käytössä odotettavia sähkömagneettisia häiriöitä. (6.)

Valmistaja vakuuttaa CE-merkinnällä, että tuote täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset. CE-merkintä on pakollinen, mikäli tuotetta koskeva direktiivi niin vaatii. Muussa tapauksessa CE-merkinnän tai sitä muistuttavan merkinnän käyttö on kiellettyä (4.)

3.2 SMEMA

SMEMA-standardi on kehitetty erilaisten elektroniikkateollisuuden käsittelylaitteiden väliseksi rajapinnaksi. SMEMA-standardin täyttävät laitteet ovat vierekkäin asennettuna mekaanisesti sekä sähköisesti yhteensopivia. Mekaniikan suhteen standardi asettaa vaatimukset muun muassa liukuhihnan korkeudelle ja leveydelle. Sähköisesti kahden laitteen välinen kommunikointi tapahtuu optoerottimilla tai releillä katkotuilla digitaalisignaaleilla, joista pakolliset ovat *"tuote saatavilla"* ja *"laite valmiina vastaanottamaan"*. Tarvittaessa voidaan käyttää myös signaalia *"virheellinen tuote saatavilla"*. (8.)

3.3 Johdotukset

Johdinvärisäännöt jakaantuvat kolmeen ryhmään. 230/400 V:n johdinväreissä noudatetaan standardia SFS 6000-5-51, jonka mukaan "Äärijohtimet pitää tunnistaa koko pituudeltaan ruskealla, mustalla tai harmaalla värillä. Nollajohdin tunnistetaan sinisellä värillä ja suojajohdin väriyhdistelmällä keltavihreä" (9, s. 8). Keskuksen sisäisissä tasavirtakytkenöissä käytetään yrityksen sisäistä ohjetta mukailien standardia SFS EN 60204 (kuva

1). Keskuksen ulkopuolella 24 V:n sensoreiden ja toimilaitteiden kaapeloinnissa käytetään monijohdinkaapeleita, joiden värit noudattavat standardia DIN 47100.

CIRCUIT	COLOR
Protective Earth	GRN YEL
Neutral	BLU
AC Power L/L1	BRN
AC Power L2	BLK
AC Power L3	GRY
DC Power L-	VIO
DC Power L+	RED
DC Control circuits	ORG
EmStop/Safety circuits	WHT
External Power	ROS

KUVA 1. Johdinvärit standardin SFS 6000-5-51 sekä yrityksen sisäisen ohjeen mukaan

Johtimien poikkipinta-ala sekä sulakekoko määräytyy laitteen sähkönsyöttöpuolella standardin SFS EN 60204-1 taulukossa 6 esitetyn kuormitettavuuden mukaan (10, s. 71). 24 V:n jännitteellä johtimen poikkipinta-alaan ensimmäisenä vaikuttava tekijä ei kuitenkaan ole sen lämpeneminen liian suuren kuormituksen takia, vaan jännitteenaleneman aiheuttamat haittavaikutukset. Standardi SFS EN 60204-1 antaa jännitteenaleneman rajaksi viisi prosenttia (10, s. 71). Oikosulkusuojaukseen täytyy tietenkin mitoittaa sulake johdon kuormitettavuuden mukaan. Kuparijohtimen jännitteenaleneman laskemiseksi on ensin saatava selville kaapelin resistanssi R yhtälöllä 1 (11, s. 120).

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

YHTÄLÖ 1

ρ = resistiivisyys (Ωm)

l = johtimen pituus (m)

A = johtimen poikkipinta-ala (m^2)

Jännitehäviö taas lasketaan kuorman läpi kulkevan virran I ja resistanssin R tulona yhtälön 2 mukaan (11, s. 120).

$$U = I * R$$

YHTÄLÖ 2

Tämän jälkeen voidaan laskea jännitteenalenema kaapelissa yhdistämällä yllä olevat yhtälöt (yhtälö 3).

$$U = \frac{\rho l}{A} * I$$

YHTÄLÖ 3

Tästä saadaan johdettua vaadittu johtimen poikkipinta-ala eri virroilla I ja johtimien pituuksilla l (yhtälö 4), kun piirin jännite on 24 V ja sallittu alenema U on 5 % eli 1,2 V. Resisttiivisyys ρ on kuparille +20 °C:ssa $10^{-9} \Omega\text{m}$ (11, s.177).

$$A = \frac{\rho l}{U} * I$$

YHTÄLÖ 4

Resisttiivisyys muuttuu lämpötilan kanssa yhtälön 5 mukaisesti (12).

$$\rho = \rho_{ref}(1 + \alpha(T - T_{ref}))$$

YHTÄLÖ 5

ρ = resisttiivisyys kohdelämpötilassa

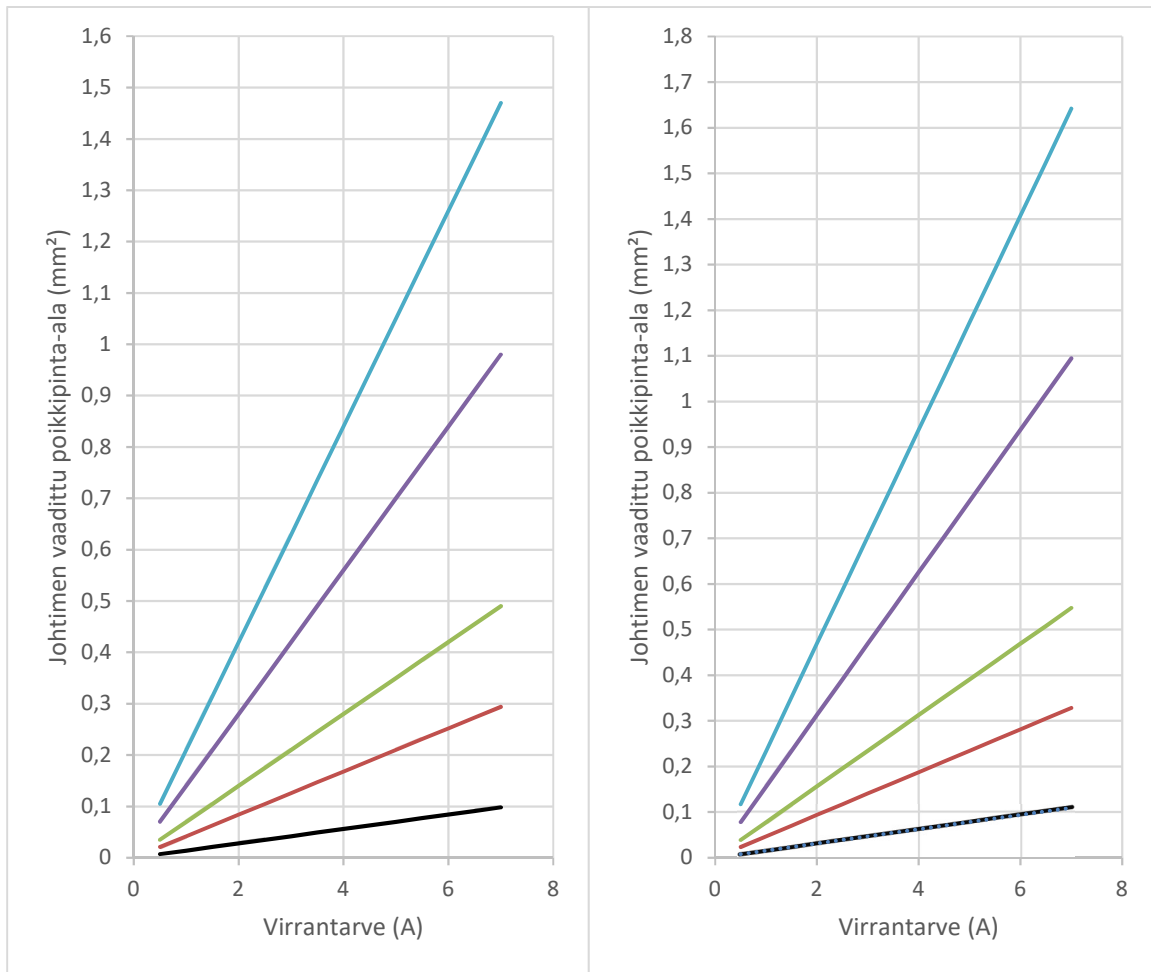
ρ_{ref} = vertailuresisttiivisyys 20 °C:ssa

α = lämpötilakerroin 20 °C:ssa (0,004041)

T = kohdelämpötila

T_{ref} = vertailulämpötila (20 °C)

Poikkipinta-alan A vaatimus eri virroilla I lämpötilassa 20 °C on esitetty kuvassa 2 vasemman puoleisella kuvaajalla. Vertailun vuoksi oikealla puolella on esitetty poikkipinta-ala-vaatimukset myös 50 °C:n lämpötilassa. Kuvasta 2 nähdään esimerkiksi, että mikäli johtimen lämpötila on 20 °C, edestakainen matka on 10 m ja perässä olevan kuorman virrantarve on alle 1,5 A, riittää johtimen poikkipinta-alaksi 0,25 mm². Jos taas virrantarve on yli 1,5 A mutta alle 3,5 A, on käytettävä 0,5 mm²:n johtimia ja niin edelleen. 50 °C:n lämpötilassa 1,5 A:lle riittää vielä sama poikkipinta-ala, mutta 3,5 A:n virralle tarvitaan jo 0,75 mm²:n johdin.



KUVA 2. Vaadittu kuparijohtimen poikkipinta-ala 5 %:n jännitteenalenemalla eri virroilla ja johtimen pituuksilla syöttöjännitteen ollessa 24 V, vasemmalla 20 °C:n lämpötilassa ja oikealla 50 °C:n lämpötilassa

4 SUUNNITTELUPROSESSI

Uuden koneen suunnitteluprosessi aloitettiin määrittelemällä laitteen vaatimukset. Tämän jälkeen oli kartoitettava vaihtoehdot laitteen tarkoituksen täyttävistä asiakaskohtaisista komponenteista sekä karkeasti luonnostella laitteen muotoa ja päätoimintoja. Seuraavaksi laitteesta tehtiin alustava suunnittelu, jonka jälkeen aloitettiin varsinainen suunnittelu. Lopuksi suunnitelmista luotiin valmis kokonaisuus, jolla asentaja osasi rakentaa ensimmäisen version laitteesta eli prototyypin.

4.1 Pääkomponenttien valinta

Keskeisin asiakaskohtainen komponentti oli lasipinnan riittävän tarkkaan mittaamiseen soveltuva skanneri. Sopivan skannerin löytäminen oli haasteellista, sillä vaikka sen mitaustarkkuus olisikin ollut riittävä, saattoivat lasisen pinnan reunat aiheuttaa epäluotettavia mittaustuloksia heijastumien takia. Lopulta päädyttiin laseriin perustuvaan skanneriratkaisuun, joka onnistui saamaan riittävän tarkkoja tuloksia sillä mitatusta mallikappaleesta.

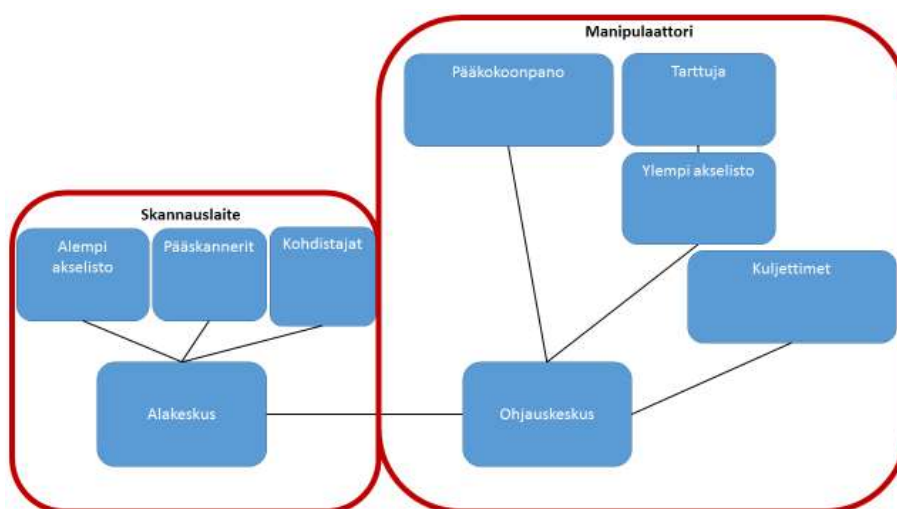
Laitteen ohjauslogiikaksi valikoitui Beckhoffin sulautettu järjestelmä CX2020, koska tämä ja muut valmistajan vastaavat tuotteet olivat JOT Automationille jo valmiiksi tuttuja ja toimivia. Koska Beckhoffin ohjauslogiikat toimivat Windows-ympäristössä, pystyy siihen asentamaan myös esimerkiksi analysointiohjelmiston skannereilta tulevan tiedon käsittelyyn. Mietintää aiheutti kuitenkin analysointiohjelmiston tehontarve. Olisiko kannattavampaa hankkia hieman tehokkaampi ohjauslogiikka, joka hoitaisi sekä koneen ohjauksen että skannauksen analysoinnin, vai erillinen tietokone tiedon käsittelyyn? Modulaarisesta näkökulmasta ajatellen ohjauslogiikka voisi hoitaa vain koneen ohjauksen ja ehkä hyvin yksinkertaisen tiedonkäsittelyn. Vähänkään vaativampi analysointi tapahtuisi tällöin aina erillisellä tietokoneella, joka tällöin kuuluisi asiakaskohtaisiin komponentteihin. Koska analysointiohjelmiston saattaminen toimintaan CX2020:lla osoittautui kuitenkin haasteelliseksi, päädyttiin laittamaan prototyyppiin erillinen analysointitietokone. Asiakkaan mas-
satuotantoversioon pyritään kuitenkin saamaan kaikki ohjelmistot ja liikkeen ohjaukset yhdelle Beckhoffin järjestelmälle.

4.2 Alustava suunnittelu

Kun laitteen vaatimukset sekä pääkomponentit tilantarpeineen olivat selvillä, aloitettiin laitteen suunnittelu näiden täyttämiseksi. Mekaniikan suunnittelu eteni yhteistyössä automaatio-suunnittelijan kanssa, jotta saatiin selville tarvittavat sähkökomponentit ja niille sopivat sijoituspaikat. Tässä vaiheessa myös jaettiin laite järkeviin osakokonaisuuksiin. Osakokonaisuuksien suunnittelu on tärkeää, koska tällöin niiden rakentaminen voidaan kilpailuttaa ja koota laite näistä osista. Tämä myös mahdollistaa modulaarisen suunnittelun.

Laitteisto suunniteltiin koostumaan kahdesta mekaanisesti erillään olevasta isommasta kokonaisuudesta: manipulaattorista ja skannauslaitteesta. Manipulaattori hoitaa tuotteiden siirtämisen ympärillä olevien laitteiden sekä skannauslaitteen välillä. Skannauslaite hoitaa tuotteen tarkastuksen ja sijaitsee manipulaattorin sisällä omilla jaloillaan. Tämä minimoi manipulaattorin liikkeen aiheuttaman värinän mitattavaan kappaleeseen skannaamisen aikana, mikä saattaisi vaikuttaa mittaustarkkuuteen.

Isommat kokonaisuudet jaettiin seuraaviin osakokonaisuuksiin: Manipulaattori koostuu ohjauskeskuksesta, ylemmästä akselistosta, tarttujasta, kuljettimista ja pääkokooppanosta. Skannausratkaisu taas koostuu alakeskuksesta, ala-akselistosta, kohdistajista sekä skannerikokooppanosta. Näiden välinen sähköinen ja pneumaattinen yhteys on havainnollistettu kuvassa 3.



KUVA 3. Sähköiset yhteydet osakokonaisuuksien välillä

4.3 Manipulaattorin suunnittelu

Manipulaattorin tehtävä on vastaanottaa ja lähettää eteenpäin tuotetarjottimia, siirtää tuotteita skannauslaitteelle sekä erotella hyväksytyt ja hylätyt eri tarjottimelle. Hyväksytyt tuotteet siirtyvät linjassa eteenpäin oikealle päin ja hylätyt siirtyvät takana olevasta luukusta ulos. Manipulaattori sisältää myös ohjauskeskuksen, jonka sisällä oleva PLC hoitaa koko laitteen liikeohjauksen. Lisäksi kaikki ohjaus- ja merkinantolaitteet ovat tässä kokoonpanossa.

4.3.1 Kuljetin

Kuljetin suunniteltiin ilman leveyssäätöä liikuttamaan vakiokokoisia tarjottimia, joissa tuotteet ovat. Kuljetin koostuu kahdesta X-suuntaisesta ja kahdesta Y-suuntaisesta segmentistä. Segmentti tarkoittaa yhtä osa-aluetta kuljettimessa, jota pystyy erikseen ohjaamaan. Y-suuntaiset segmentit voidaan nostaa sylinterillä ylös, mikä mahdollistaa tarjottimen nostamisen X-suuntaiselta segmentiltä sekä liikkeen sen reunan yli. Hihnamoottoreina toimivat DC-moottorit, joita on yksi segmentin molemmin puolin. Yhteensä DC-moottoreita on kahdeksan kappaletta. Moottoreita ohjataan Beckhoffin kaksikanavaisella DC-moottoriohjainkortilla EL7332. Yhden segmentin moottoreita voidaan ohjata yhdellä kanavalla kytkemällä moottorit rinnakkain ristiin, jolloin kaksi ohjainkorttia riittää.

Kuljettimella on kolme paikkaa, joihin tarjotin voi pysähtyä. Näistä jokainen tarvitsee hidastus- ja pysäytystunnistimen sekä sylinteritoimisen pysäytystapin, jossa on työasennon tieto. Lisäksi molemmilla Y-liikkeen segmenteillä on nostosylinterit, joissa kummassakin on ala- ja yläasentotieto. Nämä ovat kuljettimen tarvitsemat digitaalisignaalit.

Alkuperäinen ajatus oli kytkeä kaikki yllämainitut digitaalitulot ja -lähdöt omille kytkentäkorteilleen, josta ne kootusti jatkaisivat ohjauskeskukselle. Prototyypin rakentaessa kävi kuitenkin ilmi, että Y-liikkeen toinen segmentti joudutaan rakentamaan ja kiinnittämään laitteen runkoon erillään muista segmenteistä, jolloin on järkevämpää koota tämän segmentin I/O:t yhdelle kortille ja loput toiselle.

4.3.2 Yläakselisto

Sähköisesti yläakselisto koostuu osakokonaisuutena vain X- ja Y-liikkeen lineaarimootto-reista sekä paikka-antureista. Näiden valintaperusteisiin ei keskitytä tässä työssä, sillä niiden valinta on mekaniikkasuunnittelijan vastuulla. Nämä kytketään suoraan AX5203-servo-ohjaimen. Koska moottorit ja anturit sijaitsevat liikkuvissa osissa, täytyy johdot jol-lain tavalla saada ohjauskeskukselle. Tämä onnistuu energiansiirtoketjujen avulla, jotka pitävät kaapelit yhdessä, mahdollistavat ennalta arvattavan liikkeen sekä estävät kaape-leita taipumasta liikaa. Tämä myös vaatii, että kaapelit on suunniteltu tätä tarkoitusta var-ten niin, että ne kestävät jatkuvaa mekaanista rasitusta. Yläakseliston energiansiirtoket-jujen kautta kulkee myös tarttujan pneumatiikka sekä sähköt.

4.3.3 Tarttuja

Tarttujassa on pneumaattinen Z-liike toteutettu 3/2 venttiilillä sekä W-akselin suuntainen kääntö 5/3 venttiilillä avoimella keskiasennolla. Se tarttuu tuotteesta kiinni imukupeilla ejektorin luoman alipaineen avulla.

Sähköisesti tämä vaatii tiedon käännön ääripäistä, pystyliikkeen ääripäistä sekä alipai- neen tunnistimelta. Ohjaussignaaleita tarvitaan yksi pystyliikkeeseen, kaksi kääntöön sekä yksi imulle ja yksi puhallukselle. Sensoreiden ja toimilaitteiden kaapelit kootaan kyt- kentäkortille, josta ne kootusti jatkavat yhtä kaapelia pitkin ohjauskeskukselle.

4.3.4 Pääkokoontapano

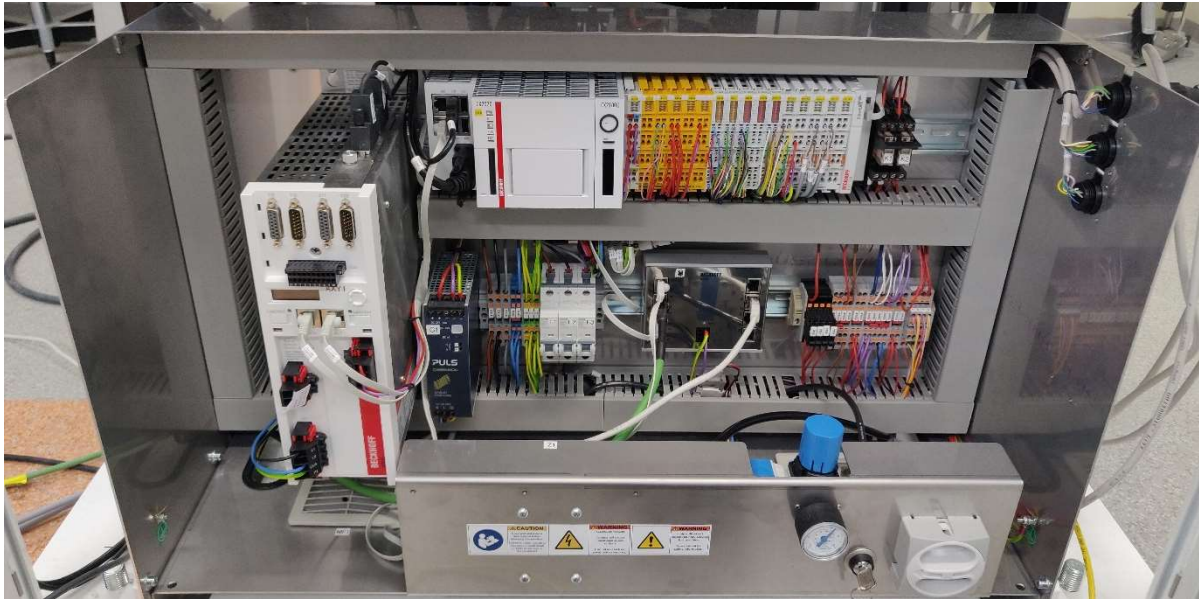
Pääkokoontapano sisältää kaikki sellaiset osat, jotka tulevat joka tapauksessa laitteen mu- kana, mutta niille ei ole erikseen osoitettua osakokonaisuutta. Tässä projektissa sellaisia ovat vain majakka ja käyttöpaneeli. Majakka ilmaisee laitteen tilaa kolmella erivärisellä valolla ja äänimerkillä. Käyttöpaneelissa on kosketusnäyttö, E-stop painike sekä ilmoitus- valolliset Start- ja Stop-painikkeet.

4.3.5 Ohjauskeskus

Suunnittelu ohjauskeskuksen osalta alkoi tehon tarpeen arvioimisesta. Vaihtosähkön merkittävimmät kuluttajat tässä laitteessa ovat lineaarimoottorit, joiden tehontarve valmistajan mukaan häviöineen on korkeintaan noin 600 W. Mikäli jossain tilanteessa kaikki neljä moottoria olisivat täysin kuormitettuja, tehontarve olisi noin 2400 W. Tämän pystyisi saavuttamaan vielä yksivaiheisella 16 A:n syötöllä, mutta koska laitteesta on tarkoitus tehdä modulaarinen, oli parempi ratkaisu käyttää kolmivaihetta tulevaisuuden varalta.

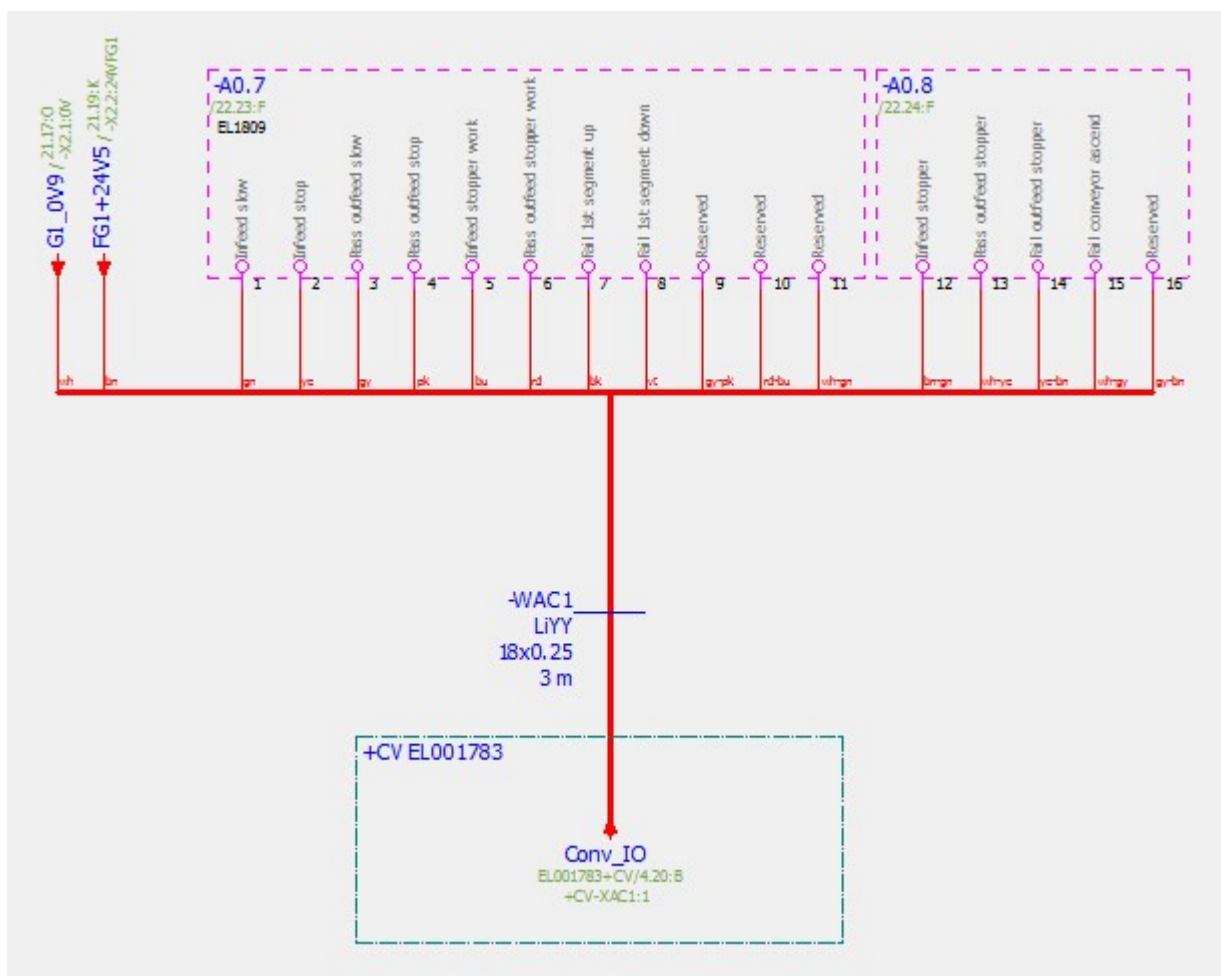
Seuraavaksi kartoitettiin tasasähkön tarve, jotta saadaan selville oikeantehoinen, tai tehoiset, AC/DC muuntajat. Kaikki tasavirtaa käyttävät komponentit pyrittiin ensisijaisesti valitsemaan 24 V:n syötöllä, jotta välttyttiin monelta eri muuntajalta. Kuljetinmoottoreita on 8 kpl, joista jokainen kuluttaa korkeintaan 330 mA, eli yhteensä 2,64 A. Neljästä segmentistä kuitenkin vain kaksi tulee todellisuudessa olemaan yhtä aikaa päällä, joten virran tarve voitiin puolittaa. AX5203-servo-ohjaimet tarvitsevat molemmat korkeintaan 1 A:n. Ohjauslogiikassa on virtalähde, jonka teho on 45 W, eli virtaa se tarvitsee maksimissaan noin 2 A. Näyttö kuluttaa noin 0,5 A. Lisäksi skannereille olisi varattava yhteensä vajaat 3 A. Tarpeen täyttämiseen riitti 10 A:n muuntaja. Tarvittaessa on myöhemmin helppo lisätä myös toinen muuntaja.

Sitten oli kartoitettava tilantarve keskuksessa, jotta mekaniikkasuunnittelija pystyi sovitteluun sopivan kokoisen keskuksen laitteen runkoon. Eniten tilaa syvyys suunnassa tarvitsivat servo-ohjaimet. Keskukseseen varattiin tila kahdelle Beckhoffin AX52xx-sarjan servo-ohjaimelle tulevaisuuden varalta. Tähän laitteeseen riittää kuitenkin vain yksi servo-ohjain. Suurin osa komponenteista kiinnittyy DIN-kiskolle. Kun keskuksesta tehtiin niin leveä kuin järkevästi saatiin laitteen runkoon mahtumaan sekä niin korkea, että sen sisälle mahtui kaksi DIN-kiskoa päällekkäin, riittää tila hyvin niille kiinnitettävillä laitteilla. SMEMA-kättelyiden läpivientiliittimet sijaitsevat keskuksen reunassa sekä Hartingin modulaarinen liitin keskuksen keskellä takapellissä. Lisäksi keskuksen sisälle tarvittiin paineilman huoltoyksikkö, EMC-suodin suodattamaan sähkömagneettisia häiriöitä sekä pääkytkin. (Kuva 4.)



KUVA 4. Laitteen ohjauskeskus

Kun tilantarve ja tarvittavat laitteet olivat selvillä, voitiin osat tilata. Sitten aloitettiin keskuksen kytkentöjen suunnittelu. Yhteen kuvaan koottiin pääsääntöisesti yksi asiakokonaisuus, esimerkiksi syöttöjohdon kytkennät riviliittimille asti tai yhden lähtevän kaapelin kytkennät ja nimettiin kuva kohteen mukaan. Esimerkiksi kuvassa 5 on esitetty kuljettimelle menevän kaapelin keskuksenpuoleiset kytkennät.



KUVA 5. Kuljettimen kytkennät keskuksessa

Beckhoffin ohjauslogiikan sijoittelussa oli otettava huomioon muun muassa asento, korttien järjestys sekä väylävirta. Logiikkakortit täytyy kiinnittää niin, että ilmanottoaukot ovat pystysuorassa toisiinsa nähden, ellei erillistä tuuletusta ole järjestetty niiden läpi. Lisäksi ilmanottoaukkojen ylä- ja alapuolella täytyy olla vähintään 30 mm vapaata tilaa. Korttien järjestyksessä on huomioitava, että passiivisia kortteja ei saa kytkeä useampaa kuin kaksi peräkkäin, eikä heti väylän ensimmäiseksi. Täytyy myös laskea, ettei väylävirta lopu kesken, mikäli liikaa aktiivisia kortteja on kytketty yhden syötön perään. (13.)

4.4 Skannauslaitteen suunnittelu

Skannauslaite on oma kokonaisuutensa, joka on mekaanisesti irrallaan telakasta. Sähköinen ja pneumaattinen syöttö tulevat ohjauskeskukselta, jonka lisäksi tarvitaan kaksi

Ethernet-kaapelia; toinen Beckhoffin EtherCat-väylään ja toinen skannereiden dataliikenteeseen.

Liitettävyyden parantamiseksi sekä modulaarisuutta ajatellen laitteeseen suunniteltiin Hartingin *Han-Modular* -tuoteperheen liittintä. Se antaa suunnittelijan yhdistää valitsemallaan tavalla vahvavirta-, heikkovirta-, data- sekä pneumatiikkakontakteja yhden isomman liittimen sisään. Tämä olisi helpottanut sisällä olevan laitteen väliaikaista irrotusta esimerkiksi huoltotoimenpiteiden suorittamiseksi. Tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että tämän liittimen kustannukset eivät vastaa siitä saavutettavaa hyötyä, joten se tullaan korvaamaan yksittäisillä liittimillä.

4.4.1 Ala-akselisto

Ala-akselisto, johon skannausyksikkö kiinnittyy, koostuu X-, Y- ja W-liikkeistä. X- ja Y-liike on toteutettu lineaarimoottoreilla sekä lineaarisilla absoluuttipaikka-antureilla, jotka on kytketty alakeskuksessa sijaitsevaan AX5203-servo-ohjaimeen. W-liike oli alun perin tarkoitus toteuttaa Maxonin harjattomalla moottorilla, jonka paikkatieto saadaan inkrementti- ja referenssianturin avulla. Saatavuusongelmien vuoksi jouduttiin kuitenkin laittamaan prototyyppiin varastosta löytynyt Harmonic Driven moottori. Tämä tullaan muuttamaan tuotantoversiossa.

4.4.2 Kappaleen kohdistajat

Laitteen täytyy kohdistaa lasi ennen skannausta, eikä se saa koskea siihen skannauksen aikana. Tämä on toteutettu kahdella pneumaattisella sylinterillä, joista toinen liikuttaa kiinteää reunaa ja toinen jousitettua reunaa. Sähköisesti tämä tarvitsee työ- ja kotiasennon tunnistuksen sekä ohjaussignaalin molemmille sylintereille.

Tässä laitteessa kohdistajia on kaksi kappaletta, joiden I/O:t on kerätty omille liitäntäkortteilleen, jolloin tarvittaessa toisen voi irrottaa esimerkiksi huoltotoimenpiteitä varten.

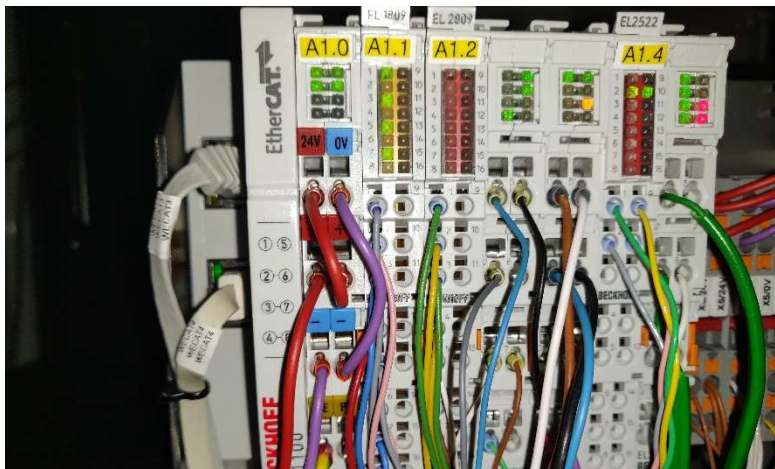
4.4.3 Skannausyksikkö

Skannausyksikkö koostuu neljästä laserskannerista, isäntäohjaimesta sekä Ethernet-kytkimestä. Jokaisesta skannerista lähtee yksi kaapeli, joka jakautuu kahteen

rj45-liittimelliseen kaapeliin: tehonsyöttö/synkronointi sekä tietoliikenne. Tehonsyöttö/synkronointi kytketään isäntäohjaimen, joka taas tarvitsee toimiakseen 24 V:n käyttäjännitteen, turvatulon laserin käyttöluvan sekä paikka-anturitiedon skannerin oikea-aikaisiin liipaisuihin. Tietoliikennekaapeli kytketään Ethernet-kytkimeen, joka tarvitsee myös 24 V:n jännitesyötön.

4.4.4 Alakeskus

Alakeskus koostuu Beckhoffin EtherCat-väylälaajennuskortista, jonka perässä on yksi 16-kanavainen sisään- ja ulostulokortti, harjattoman tasavirtamoottorin ohjauskortti sekä pulssikortti. Prototyypivaiheessa näiden lisäksi asennettiin vielä termopareille tarkoitettu kortti mittaamaan laitteen lämpenemistä. (Kuva 6.) Väylä jatkuu vielä Beckhoffin AX5203-servovahvistimelle ja päättyy siihen. Keskuksessa on myös tilavaraus erilliselle AC/DC-virtalähteelle, mikäli tulevaisuudessa jokin vaihtoehtoinen sensori tarvitsee toimiakseen SELV-järjestelmällä toteutetun tasavirtasyötön sekä erilliselle tietokoneelle, joka hoitaisi tarvittaessa tiedon analysoinnin.



KUVA 6. Beckhoffin ohjauslogiikka alakeskuksessa

5 RISKIEN JA VIRHETILANTEIDEN KARTOITUS

Uuteen tai muokattuun koneeseen liittyy aina uusia riskejä turvallisuuden tai koneen toiminnan kannalta. Konedirektiivi velvoittaa suorittamaan koneille riskien arvioinnin ja tekemään toimenpiteet niiden pienentämiseksi vaaditulle tasolle.

Koneeseen liittyvien vikatilanteiden ja riskitekijöiden selvittäminen kannattaa suorittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelua. Mikäli tämä jätetään myöhemmälle, voi vian korjaaminen olla jo hyvin hankalaa, aikaa vievää ja kallista. Korjaavien toimenpiteiden jälkeen laitteelle tehdään uudet arvoinnit, joissa arvioidaan toimenpiteiden onnistuminen sekä täyttääkö laite olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset.

5.1 DFMEA

Suunnitteluvaiheen vika- ja vaikutusanalyysi eli DFMEA (Design Failure Mode & Effects Analysis) on menetelmä, joka pyrkii systemaattisesti löytämään kaikki mahdolliset eri vikatilanteet ja niiden pahimmat seuraukset. Tämän jälkeen jokaisen vikatilanteen kohdalla pohditaan kaikki tapahtumat, jotka voivat johtaa kyseiseen vikatilanteeseen sekä kuinka todennäköisesti ne johtavat siihen. Seuraavaksi kartoitetaan toimenpiteet, joilla edellä oleva tapahtuma arviointihetkellä pystytään havaitsemaan ja estämään sekä todennäköisyys toimenpiteen onnistumiselle. Näistä lasketaan riskitulo eli RPN (Risk Priority Number), jonka perusteella saadaan selville, mihin kannattaa kiinnittää huomiota ja missä järjestyksessä. Tämän jälkeen selvitetään, millä toimenpiteillä riskituloa saataisiin pienennettyä. (14.)

DFMEA menetelmän hyötynä on löytää jo suunnitteluvaiheessa laitteesta mahdollisimman paljon ajateltavissa olevia vikoja, jotka tulisivat haittaamaan sen päätoiminnon toteuttamista ja täten alentamaan sen tuottavuutta. Sitä ei kuitenkaan voi käyttää konedirektiivin vaatimaan riskin arviointiin, sillä henkilövahingon vaara voi olla olemassa myös ilman minkäänlaista vikatilannetta.

Esimerkkinä taulukossa 1 on tilanteena lasin siirto kohdistajalle. Mahdollinen vikatilanne voisi olla, että lasi ei osu oikeaan paikkaan. Tämän pahin mahdollinen seuraus olisi rikkoutunut lasi. Syynä olisi väärin opetettu paikka, jonka taas pystyy helposti huomaamaan ja korjaamaan, jolloin riskitulo jää pieneksi.

Toinen mahdollinen vikatilanne voisi olla, että kohdistajassa on jo lasi. Tämän pahin seuraus olisi jälleen lasin rikkoutuminen, jonka syynä olisi, että operaattori ei ollut varmistanut koneen olevan tyhjä käynnistettäessä. Tätä ei arviointihetkellä myöskään tarkisteta millään tavalla, jolloin riskitulo on suuri. Ratkaisuksi päätettiin, että laitteen käynnistyksen yhteydessä tarttuja käy kokeilemassa molemmilla kohdistajilla, havaitseeko alipainesensori kappaletta. Tämä parantaa syyn estämiskykyä, mikä taas pienentää riskitulon halutulle tasolle.

TAULUKKO 1. DFMEA esimerkki lasin viemisestä kohdistajalle

Function	Potential Failure Mode	The worst effect of FAILURE	Severity (S) of effect	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence (O) of cause	Current Control(s)	Detection ability (D) of control	RPN (S*O*D)	Recommended Action(s)	Responsible Person	Completion Date	Status	Action Results						
													Action Taken	(S)	(O)	(D)	RPN		
Loading Glass to Jig	Glass does not hit to jig slot	Broken Glass	5	Wrong Teached Position	1	Possible to see on ramp up phase	1	5											0
	Glass unloading height is wrong	Broken Glass	5	Wrong Teached Position	1	Possible to see on ramp up phase	1	5											0
	Jig in Close status	Broken Glass	5	Sw Bug/Jig movement slack	1	SW, Timeout	1	5											0
	Jig has already glass in	Broken Glass	5	Operator does not make jigs empty after machine stop	3	None	10	150	Gripper checks jigs during initialization cycle	Atte Rankinen	W7	OK	Gripper checks jigs during initialization cycle	5	3	2	30		

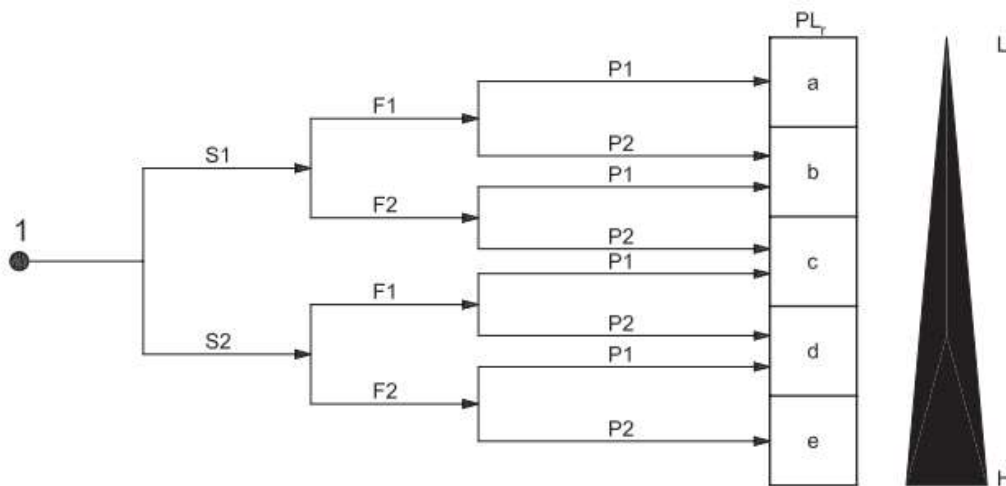
5.2 Riskin arviointi ja pienentäminen

Riskin arvioinnille ja sen pienentämiselle on annettu yhdenmukaistetussa standardissa *EN ISO 12100:2010* (15, s. 28) pääkohdat ja järjestys seuraavasti:

1. Määritä koneen raja-arvot, joihin sisältyvät tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö.
2. Tunnista vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet.
3. Arvioi riskin suuruus kunkin tunnistetun vaaran ja vaaratilanteen osalta.
4. Arvioi riskin merkitys ja tee päätökset riskin pienentämisen tarpeesta.
5. Poista vaara tai pienennä vaaraan liittyvää riskiä suojaustoimenpiteiden avulla.

Riskiä täytyy pienentää ensisijaisesti luontaisesti turvallisella suunnittelulla, jonka jälkeen suojausteknisillä toimenpiteillä ja viimeiseksi, mikäli vielä tarvetta on, käyttöä koskevilla tiedoilla ja opastuksella (15, s. 52).

Mikäli riskin pienentämiseen käytetään ohjausjärjestelmää, on sen suunnittelussa noudatettava standardia SFS-EN ISO 13849-1, joka käsittelee turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmien yleisiä suunnitteluperiaatteita. Jokaiselle turvatoiminnolle, jonka toteutuksessa käytetään ohjausjärjestelmää, on määritettävä suoritustasovaatimus (PLr) (16, s. 22). Kuvassa 7 on esitetty suoritustasovaatimuksen määrittämiseen opastava kuvaaja. Eri suoritustasot eroavat vaatimuksiltaan toisistaan turvapiirissä käytettävien osien viikaantumistaajuuden, rakenteen sekä diagnostiikan kattavuuden osalta (16, s. 23).



Selite

- 1 Aloituskohta turvatoiminnon osuudenarvioimiseksi riskin pienentämisessä
- L Osuus riskin pienentämisessä pieni
- H Osuus riskin pienentämisessä suuri
- PL_r Vaadittava suoritustaso

Riskimuuttujat:

- S Vamman vakavuus
- S1 Lievä (tavallisesti palautuva vamma)
- S2 Vakava (tavallisesti palautumaton vamma tai kuolema)
- F Vaaralle altistumisen taajuus ja/tai kesto
- F1 Harvoin...toisinaan ja/tai lyhyt altistumisaika
- F2 Toistuvasti...jatkuvasti ja/tai pitkä altistumisaika
- P Mahdollisuus välttää vaaraa tai rajoittaa vahinkoa
- P1 Mahdollista tietyissä olosuhteissa
- P2 Tuskin mahdollista

KUVA 7. Suoritustasovaatimuksen määrittäminen (16, s. 55)

Riskin arvioinnissa arvioitiin esimerkiksi, että liikkuva ylämanipulaattori voisi aiheuttaa puristumisvaaran. Puristumistapahtuman todennäköisyys on suuri koneen ollessa toiminnassa ja altistumisen taajuuskin on korkea, koska mikään ei riskin arviointihetkellä estä

pääsyä esimerkiksi poistamaan vierasta esinettä laitteesta. Vahingon vakavuudeksi arviointiin yhden raajan menetys. Yhteensä riskitaso nousi hyvin korkeaksi ja ohjausjärjestelmällä toteutettujen suojaustoimenpiteiden suoritustasovaatimukseksi saatiin PLe. Toimenpiteinä kyseessä olevaan vaaraan päätettiin asentaa kiinteät suojapellit ja manipulaattorin liikkeeseen kytketyt avattavat ovet.

6 TURVASUUNNITTELU

Riskin arvioinnissa määriteltiin turvallisuusvaatimusten täyttymiseksi, että koneen liikkuviin osiin ei saa olla pääsyä liikkeen aikana. Koska laitteessa on kiinteiden suojauslaitteiden lisäksi avattavia ovia, on nämä kytkettävä koneen toimintaan siten, että sen liikkuvat osat eivät voi toimia ovien ollessa auki. Koneessa on oltava myös hätäpysäytysnappi, jonka myös on pysäytettävä ja estettävä kaikki liike.

Kaikki erilaiset ohjausjärjestelmän avulla vaarallisen tapahtuman estävät toimenpiteet jaettiin turvafunktioihin ja määritettiin näille suoritustasovaatimukset. Taulukossa 2 on esitetty eri suoritustasojen vaatimukset. Tämän laitteen turvafunktiot ovat seuraavat:

- SF1; Lineaarimootoreiden pysäytys hätäseis-painikkeella; PLe
- SF2; Lineaarimootoreiden pysäytys oven auetessa; PLe
- SF3; paineettomuus, pienempien moottoreiden pysäytys sekä laserin käyttöluupa hätäseis-painikkeella; PLc
- SF4; paineettomuus, pienempien moottoreiden pysäytys sekä laserin käyttöluupa oven auetessa; PLc

Tämän jälkeen turvafunktiot suunniteltiin standardin ISO 13849-1 suoritustasovaatimusten mukaisesti.

6.1 Turvakomponentit ja -piirit

Turvakomponentit valittiin edellä määritettyjen suoritustasovaatimusten mukaisesti. SF1- ja SF2-turvafunktioiden kaikkien osien on saavutettava suoritustaso PLe. SF1-turvafunktion tuntoelimenä toimii hätäseis-painike, jonka kytkentä täytyy olla kahdennettu ja valvottu vaadittavan suoritustason saavuttamiseksi. Tämä on kytketty EL1904-turvatulokorttiin, joka valvoo hätäseis-piiriä toisen kanavan hajoamisen, ulkopuolisen jännitteen, maasulun sekä keskinäisen oikosulun varalta. Kaikkien turvapiirien älynä toimii Beckhoffin TwinSAFE-logiikka EL6900, joka luo loogisen yhteyden turva I/O-kortteihin sekä servo-ohjaimiin asennettujen AX5805-lisäkorttien kanssa. Yhteys käyttää FSoE-protokollaa (Fail Safe over EtherCAT), jonka ansiosta turvadata liikkuu olemassa olevaa EtherCAT-väylää pitkin ohjausdatan kanssa.

SF2-turvafunktiossa erona edelliseen on vain toimieliminä toimivat Sickin STR1-sarjan sensorit, jotka valvovat avattavia ovia. Niissä on kaksi OSSD-turvalähtöä eli sensorit valvovat itse kahdennettua lähtöään. Jokaisen oven sensori on kytketty sarjaan ja edelleen EL1904-kortille.

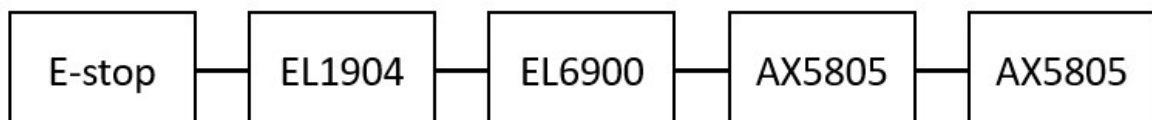
SF3- ja SF4-turvafunktioihin riittää suoritustasoksi PLC. Turvafunktioissa on samat tuntoelimet kuin edellä, mutta toimilaitteina toimii kaksi pakko-ohjautuvaa releitä, jotka on kytketty EL2904-turvalähtökortille. Releiltä on myös takaisinkytkentä turvatulokortille diagnostiikan kattavuuden parantamiseksi.

Kun ovi avataan tai painetaan hätäseis-painiketta, putoaa releiltä ohjaus ja servo-ohjaimille menee STO (Safe Torque Off) -käsky, joka pysäyttää ja estää lineaarimoottoreiden liikkeen. Turvapiiri laukeaa myös, mikäli yksikin turvapiiriin kuuluva Beckhoffin komponentti havaitsee virheen (17, s 13). Turvapiirin releet ohjaavat 24 V:n jännitettä, jota käytetään pienempien moottoreiden ja pääventtiilin käyttöjännitteenä sekä esimerkiksi skannerin käyttölupasignaalina.

6.2 Sistema

Turvafunktioiden validointia helpottaa Sistema niminen ohjelma. Se varmistaa suunnittelijalta, että kaikki standardin ISO 13849-1 mukaiset vaatimukset on täytetty sekä suorittaa tarvittavat laskutoimitukset koko turvafunktioista yksittäisten komponenttien arvojen pohjalta (18).

Ensimmäiseksi turvafunktioista luodaan lohkokaavio, jossa esitetään turvafunktion toteutavat osat. Alla olevassa kuvassa 8 on esitetty turvafunktion SF1-lohkokaavio.



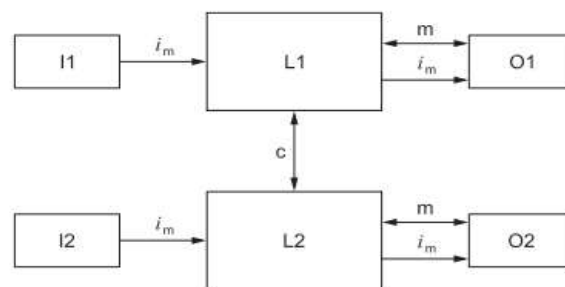
KUVA 8. Lohkokaavio SF1 turvafunktioista

Tämän jälkeen turvafunktio lisätään ohjelmaan ja annetaan sille riskin arvioinnista saatu vaadittava suoritustaso. Otetaan esimerkiksi edellä mainittu turvafunktio SF1, jonka vaadittu suoritustaso on PLe. Ohjelma antaa koko turvafunktiolle standardin ISO 13849-1 mukaiset vaatimukset. Taulukosta 2 voimme tarkastella eri suoritustasojen asettamia vaatimuksia.

TAULUKKO 2. Yksinkertainen menettelytapa saavutetun suoritustason määrittämiseksi (16, s. 28)

Luokka	B	1	2	2	3	3	4
DC_{avg}	nolla	nolla	matala	keskitaso	matala	keskitaso	korkea
Kunkin kanavan $MTTF_D$							
Matala	a	Ei kata	a	b	b	c	Ei kata
Keskitaso	b	Ei kata	b	c	c	d	Ei kata
Korkea	Ei kata	c	c	d	d	d	e

SF1-Turvafunktion luokan täytyy olla neljä, joka vaatii, että yksittäinen vika missään turvafunktion osassa ei johda vaaraan ja että vika paljastuu viimeistään seuraavalla turvatoiminnon vaateella (16, s. 46). Kuva 9 havainnollistaa tämän luokan rakennetta. Luokan lisäksi keskimääräisen diagnostiikan kattavuuden täytyy olla korkea sekä jokaisen kanavan keskimääräisen vikaantumisaajan $MTTF_d$ täytyy olla korkea. Näiden lisäksi on tehtävä toimenpiteitä yhteisvikaantumista (CCF) vastaan.



Selite

- i_m Liitännävalineet
- c Ristiinvalvonta
- I1, I2 Tuloyksikkö (esim. anturi)
- L1, L2 Logiikka
- m Valvonta
- O1, O2 Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

Yhtenäiset viivat valvontatoiminnoissa esittävät diagnostiikan kattavuutta, jonka taso on korkeampi kuin luokkaan 3 kuuluvassa nimetyssä rakenteessa

KUVA 9. Luokan 4 mukainen rakenne (16, s. 47)

Tämän turvafunktion validointiin täytyy käsin syöttää vain hätäseis-painikkeen tiedot, koska lopuille alajärjestelmille Beckhoff on luonut valmiit kirjastot Sistema-ohjelmistolle. Kirjastoista käy ilmi suoraan komponentin suoritustaso. Hätäseis-painikkeelle valmistaja antaa B10d-arvon 250 000, joka tarkoittaa toimintajaksojen määrää, jolloin 10 % komponenteista vikaantuu vaarallisesti. Keskimääräisen vikaantumisajan MTTFd laske-
miseksi arvioidaan hätäseis-painikkeen käyttötaajuudeksi 52 kertaa vuodessa. Tämä antaa MTTFd-tasoksi korkean (kuva 10).

Lohko **SISTEMA**

Dokumentaatio MTTFD DC Elementit

Määritä MTTFD-arvo elementtien avulla
 Syötä MTTFD-arvo suoraan
 Määritä MTTFD-arvo B10D- / B10-arvon avulla
 Determine MTTFD value from Lambda / MTTF / MTBF and RDF value

B10D: Toimintajaksoa^{10p}: Toimintajaksoa / vuosi:
 T10D: v.

 MTTFD: v. MTTFD-taso:

Komponenttien tyypilliset arvot

KUVA 10. Hätäseis-painikkeen MTTFd tason laskeminen Sistemalla

Sistemasta löytyy standardin SFS-EN ISO 13849-1 taulukossa E.1 esitetyt esimerkit diagnostiikan kattavuuden määrittämiseksi. Hätäseis-painikkeelle saadaan diagnostiikan kattavuuden arvoksi 99% valitsemalla esimerkkilistalta mielekkyyden tarkistus. (Kuva 11).

Elementti MA

Dokumentaatio DC

Syötä DC-arvo suoraan
 Valitse sovellettavat toimenpiteet

Kirjasto: IDEC_LIB_Safety_components_data_V200 [locked]

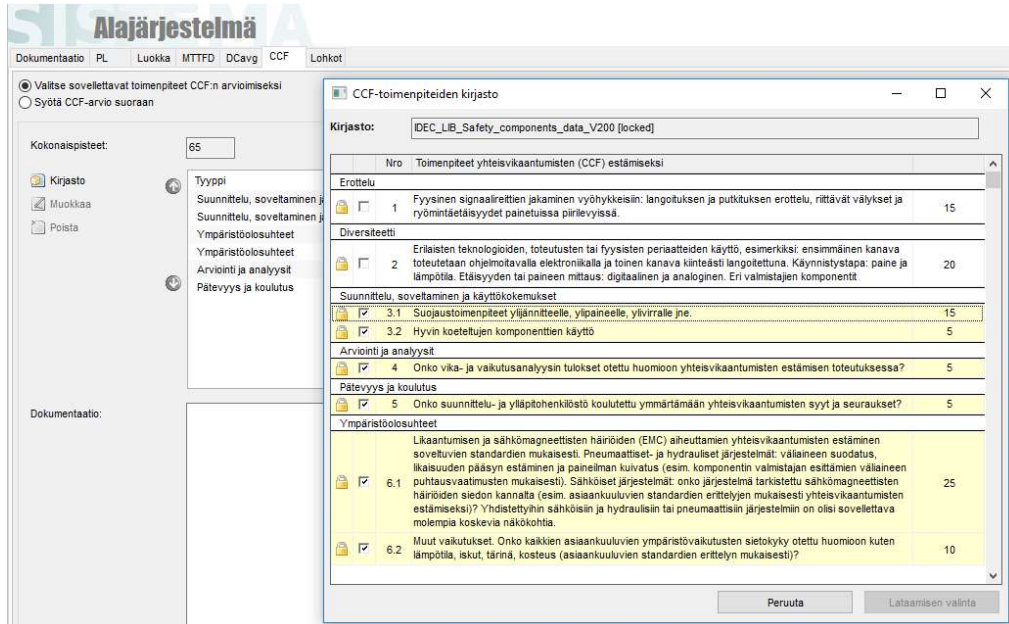
Kuvaus	DC	riippuen	riittämätön suoritusasolle
TAULUKON E.1 MUKAISET LUKUARVOT: ISO 13849-1:2006			
Tuloon liitettävät laitteet			
Tulosignaalien dynaamisten muutosten aikaansaama jaksottainen testauksen käynnistys	90	-	-
Tuloon liitettävä laite			
Mielekkyyden tarkistus, esim. käyttämällä normaalisti avoimia ja normaalisti suljettuja mekaanisesti toisiinsa kytkettyjä koskettimia	99	-	-
Tulojen ristiinkytkentä ilman dynaamista testausta	0 - 99	riippuen kuinka usein sovelluksessa tapahtuu signaalin tilamuutos	-
Tulosignaalien ja välimuuttujien ristiinkytkentä logikassa, ohjelman kulun tilapäinen looginen valvonta sekä staattisen sähkön aiheuttamien vikojen ja oikosulkujen paljastuminen (useille I/O-yksiköille)	90	-	-
Tulosignaalien ja välimuuttujien ristiinkytkentä logikassa, ohjelman kulun tilapäinen looginen valvonta sekä staattisen sähkön aiheuttamien vikojen ja oikosulkujen paljastuminen (useille I/O-yksiköille)	99	-	-
Epäsuora valvonta (esim. valvonta painekeytimellä, toimilaitteiden aseman sähköinen valvonta)	90 - 99	riippuen sovelluksesta	-

Peruuta Lataamisen valinta

KUVA 11. Diagnostiikan kattavuus Sistemassa

Lopuksi arvioidaan toimenpiteiden riittävyys yhteisvikaantumista vastaan. Sistema sisältää myös standardin SFS-EN ISO 13849-1 taulukon F.2, jossa on lueteltu erilaisia toimenpiteitä yhteisvikaantumista vastaan. Taulukon toimenpiteet on pisteytetty sen mu-

kaan, kuinka merkittävä tekijä se on yhteisvikaantumisen estämisessä. Pisteitä on saatava vähintään 65, jolloin voidaan katsoa, että riittävä määrä toimenpiteitä yhteisvikaantumista vastaan on toteutettu. (Kuva 12.)



KUVA 12. Yhteisvikaantumisen vaikutuksen estotoimenpiteet Sistemassa

Alla olevasta kuvasta 13 nähdään turvafunktion SF1 hierarkia sekä että sen jokainen osa täyttää kaikki vaatimukset. Lopuksi Sistemasta voi tulostaa raportin turvaprojektista niin yksityiskohtaisesti kuin itse haluaa.



KUVA 13. SISTEMA näkymä SF1 turvafunktiosta

7 POHDINTA

Työssä oli tarkoitus tehdä sähkö- pneumatiikka- ja turvasuunnittelu uuteen lasisen pinnan testauslaitteeseen. Sähkö- ja pneumatiikkasuunnittelun tuloksena saatiin valmiit kytkentäkuvat, joiden perusteella rakennettiin laitteen prototyyppi. Turvasuunnittelun tuloksena saatiin valmis turvajärjestelmä. Prototyyppi valmistui aikataulun mukaan vuoden 2018–2019 vaihteessa ja toimi sähköisesti odotetulla tavalla.

Työssä sai perehtyä lukuisiin eri standardeihin, sillä esimerkiksi konedirektiivi viittaa jopa 700:aan eri yhdenmukaistettuun standardiin. Tietenkään kaikkia standardeja ei sovelleta tähän koneeseen, mutta kyllä 29:ssä tähän liittyvässä standardissakin riitti tarpeeksi perehtymistä. Tästä on varmasti hyötyä tulevaisuudessa.

Opin tässä työssä, mitä eri vaiheita uuden laitteen suunnittelu alusta loppuun pitää sisälleen. Myöhemmin tätä laitetta pohjana käyttäen tullaan suunnittelemaan JOT:lle modulaarinen laite osaksi sen tuoteperhettä.

LÄHTEET

1. JOT Automation Oy. 2019. About Us. Saatavissa: <http://www.jotautomation.com/about.html>. Hakupäivä 3.1.2019.
2. Desby, Stephen J. 2005. Design of Automatic Machinery. New York: Marcel Dekker.
3. EPLAN. 2019. Tietoja meistä. Saatavissa: <https://www.eplan.fi/fi/yritys/tietoja-meista/>. Hakupäivä 3.1.2019.
4. Direktiivi 2006/42/EY. 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 17.5.2006. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0042:FI:HTML>. Hakupäivä 23.1.2019.
5. Direktiivi 2014/35/EU. 2014. Tietyllä jännitealueella toimivien sähkölaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Euroopan Unionin virallinen lehti. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0035>. Hakupäivä 5.3.2019.
6. Direktiivi 2014/30/EU. 2014. Sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan Unionin virallinen lehti. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32014L0030>. Hakupäivä 5.3.2019.
7. Direktiivin 2006/42/EY täytäntöönpanoon liittyvä komission tiedonanto Unionin yhdenmukaistamislainsäädännön soveltamisalaan kuuluvien yhdenmukaistettujen standardien otsikot ja viitenumerot. Euroopan unionin virallinen lehti. Saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52018XC0309\(04\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52018XC0309(04)). Hakupäivä 9.3.2018.
8. IPC-SMEMA-9851. 2007. Mechanical Equipment Interface Standard. Bannockburn. Association connecting electronics industries. Saatavissa:

<https://ocmmanufacturing.com/wp-content/uploads/2016/01/IPC-SMEMA-9851.pdf>. Hakupäivä 10.3.2019.

9. SFS 6000-5-51. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa5-51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
10. SFS-EN 60204-1. 2018. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
11. Tekniikan kaavasto. 2015. Tampere: Tammertekniikka Oy.
12. Electric Resistance. The Physics Hypertextbook. Saatavissa: <https://physics.info/electric-resistance/> Hakupäivä: 4.4.2019.
13. Manual for CX2020, CH2030, CX2040. Saatavissa: https://download.beckhoff.com/download/document/ipc/embedded-pc/embedded-pc-cx/cx2000_hwen.pdf. Hakupäivä 31.1.2019.
14. DFMEA. Quality-One. Saatavissa: <https://quality-one.com/dfmea/>. Hakupäivä 20.2.2019.
15. SF-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
16. SFS-EN ISO 13849-1. 2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
17. Operating Instructions for EL6900. Saatavissa: <https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twinsafe/el6900en.pdf>. Hakupäivä 21.3.2019.
18. DGUV. Software: SISTEMA. Saatavissa: <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/practical-solutions-machine-safety/software-sistema/index.jsp>. Hakupäivä 21.3.2019.