

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PROFIILIN ASENNUS- JA HIT- SAUSPORTAALIN SÄHKÖSUUNNIT- TELU

Opinnäytetyö

TEKIJÄ Eero Laitinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Eero Laitinen			
Työn nimi Profiilin asennus- ja hitsausportaalin sähkösuunnittelu			
Päiväys	30.5.2023	Sivumäärä/Liitteet	27/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Pemamek Oy			
Tiivistelmä Opinnäytetyössä modernisoitiin sähkösuunnitelma Pemamek Oy:n valmistamaan profiilin asennus- ja hitsausportaaliin. Laitteen tilaaja on Pohjois-Amerikkalainen yritys, joten suunnittelu toteutettiin UL508A- standardin mukaisesti. Projekti aloitettiin tutustumalla laitteen rakenteeseen ja toimintaan, sekä perehtymällä Pemamekin sähkösuunnitteluosaston suunnitteluprosessiin. Suunnittelu tehtiin hyödyntämällä yrityksen resursseja, kuten sisäistä tietokantaa, ja suunnitteluohjelmistona käytettiin EPLAN electric p8- ohjelmistoa. Raportissa esiteltiin laitteen rakennetta ja sen toimintaperiaatetta. Teoriaosuudessa perehdyttiin kenttäväylään ja väylälaitteisiin sekä anturointiin, mitkä olivat itse suunnittelutyössä suurimmassa roolissa. Lopuksi käytiin läpi eri suunnittelun osuuksien tavoitteita, ja sekä yleisesti suunnittelun aikana tehtyjä toimenpiteitä ja tehtyjen toimenpiteiden perusteluja. Opinnäytetyön aikana tehty sähkösuunnitelma oli tavoitteiden mukainen. Suunnittelun tuloksena luotiin tarvittava dokumentaatio, kuten piirikaaviot, layout-kuvat, osalista, riviliitinkaavio, IO-lista ja testausuunnitelma. Lopputuloksena laite on siirretty tuotantoon, jonka jälkeen se testataan ja lähetetään asiakkaalle. Valmis dokumentaatio toimitettiin tilaajalle			
Avainsanat Sähkösuunnittelu, UL508A			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Eero Laitinen	
Title of Thesis Electrical Design of Stiffener Mounting Portal	
Date 30. May 2023	Pages/Appendices 27/0
Client Organisation /Partners Pemamek Oy	
<p>Abstract</p> <p>In this thesis the electrical design documentation was modernized for the stiffener mounting portal manufactured by Pemamek Oy. The machine was ordered by a North American company, so the design was implemented according to the UL508A standard.</p> <p>The project began by studying the structure and operation of the machine, as well as studying Pemamek's electrical design department's design process. The design was carried out utilizing the company's resources, such as internal databases, and the design software used was EPLAN electric p8.</p> <p>This thesis presents the structure of the device and its operating principle. The theoretical part delved into fieldbus systems, field devices and sensors, which played the main role in the design work itself. Finally, the objectives of the various design sections were presented, along with an overview of the decisions made during the design process and the reasons behind them.</p> <p>The electrical design created during the thesis work met the set objectives. As a result of the design, the necessary documentation was produced, including circuit diagrams, layout drawings, parts list, terminal block diagram, IO list, and a test plan. The machine has been moved into production, after which it will undergo testing and be shipped to the customer. The completed documentation was delivered to the client.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Electrical design engineering, UL508A</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA.....	7
2.1	Yritysesittely.....	7
2.2	Toimiala ja tuoteratkaisut	7
3	PEMA SMP 12000/2 & STT	8
3.1	Laitteen käyttötarkoitus.....	8
3.2	Jäykiste.....	8
3.3	Rakenne.....	8
3.3.1	Portaali	8
3.3.2	Tartuntapuomi	9
3.3.3	Hitsauskelkat.....	9
3.3.4	Kasettiasema.....	10
3.4	Toimintaperiaate.....	10
4	UL-STANDARDI	11
4.3	Underwriters Laboratories	11
4.4	UL508A ja muut sovellettavat standardit	11
4.5	Merkinnät komponenteissa	11
5	KENTTÄVÄYLÄ JA VÄYLÄLAITTEET	13
5.3	Ohjelmoitava logiikka	13
5.3.1	Logiikan rakenne	13
5.4	Kenttäväylä	13
5.5	EtherCAT.....	13
5.6	EtherCAT box	14
5.7	Taajuusmuuttaja.....	15
5.8	Servomoottori.....	15
6	ANTUROINTI	17
6.3	Yleistä.....	17
6.4	Induktiivinen anturi.....	17
6.5	Valokennoanturi.....	18
6.6	Ultraäänianturi.....	18
7	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT.....	19

7.1	Suunnitteluprosessi	19
7.2	EPLAN	19
7.3	Suunnittelutyön työtavat ja tarkoitus	19
8	SUUNNITTELU	20
8.1	Lähtötietoihin tutustuminen	20
8.2	Anturoinnin suunnittelu	20
8.3	Hajautuskeskusten suunnittelu	21
8.4	Logiikan suunnittelu	21
8.5	Johdotus ja kaapelointi	22
8.6	SCCR-arvon määrittely	23
8.7	Jäähdyttimen mitoitus	23
8.8	Layout-piirustukset.....	24
8.9	Hitsausvirtakaapelin mitoitus	24
8.10	Turvallitteet.....	24
8.11	Dokumentaatio	25
9	YHTEENVETO.....	26
	LÄHTEET	27

KUVALUETTELO

Kuva 1.	SMP:n 3D-malli	8
Kuva 2.	Hitsauskelkan 3D-malli	9
Kuva 3.	Kasettiaseman 3D-malli	10
Kuva 4.	UL-Listed- merkinnät (Underwriters Laboratories, 2023)	11
Kuva 5.	UL-recognized- merkinnät (Underwriters Laboratories, 2023).....	11
Kuva 6.	CSA- merkinnät (CSA Group, 2023)	12
Kuva 7.	Esimerkkikuva EtherCAT-väylän mahdollisesta topologiasta (Lähde: EtherCAT Technology Group) .	14
Kuva 8.	Beckhoff EtherCAT box (Lähde: Beckhoff Automation)	15
Kuva 9.	Induktiivisen anturin toimintaperiaate (Metropolia, 2010)	17
Kuva 10.	Valokennoanturin toimintaperiaate (Omron, 2023)	18
Kuva 11.	Johdinten poikkipinta-alat AWG- ja mm ² -mitoissa yli 10 A kytkennöissä. (UL508A taulukko 28.1)	22
Kuva 12.	Johdinten poikkipinta-alat AWG- ja mm ² -mitoissa alle 10 A kytkennöissä. (UL508A taulukko 37.1)	23

1 JOHDANTO

Raskas teollisuus on kilpailullinen ala, jossa laadulla ja tuotannon nopeudella suuri merkitys. Yksi parhaimpia menestyksen turvaajia ovat erilaiset automaattioratkaisut. Automaation tarkoituksena on parantaa asiakasyrityksen tuottavuutta ja kilpailukykyä jatkuvasti kehittyvällä alalla. Automatisoiduilla hitsausratkaisuilla pystytään nopeuttamaan huomattavasti prosessiin kuluvaan aikaan, sekä parantamaan tuotteen laatua minimoimalla manuaalisesta tekemisestä aiheutuvia virheitä. Hyvin suunnitellussa laitteessa lisätään myös työntekijän työturvallisuutta.

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Pemamek Oy:n valmistamaan profiilin asennus- ja hitsausportaaliiin sähkösuunnittelu UL508A- standardin mukaisesti. Opinnäytetyön aihe tuli eteen harjoittelu 3:n yhteydessä, sillä projektin suunnittelu oli tarpeeksi laaja opinnäytetyötä varten.

Päätavoitteena oli modernisoida laitteen sähkökaaviot ja luoda muu tarvittava dokumentaatio. Suunnittelun painottui eniten kenttäväylään liittyviin laitteisiin ja komponentteihin, jonka vuoksi ne olivat teoriaosuuden pääaiheena. Opinnäytetyössä perehdytään suunniteltavan laitteen toimintaan, ja tärkeimpien suunnittelun kohteiden syihin. Työssä käydään läpi myös yleisluontoisempia suunnittelussa eteen tulleita asioita. Salassapitovelvollisuuden vuoksi näitä ei kuitenkaan voida esittää julkisena liitteenä.

2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA

2.1 Yritysesittely

Pemamek Oy on loimaalainen perheyritys, joka on perustettu vuonna 1970. Yritys on vahvasti kasvussa, ja kirjoistushetkellä työntekijöitä on noin 400, mutta määrä on jatkuvasti nousussa. Pemamek tunnetaan maailmalla yhtenä toimialansa päänimistä, ja on myynyt laitteita yli 50 maahan. Liiketoiminta perustuukin erittäin vahvasti vientiin; yli 90% valmistetuista ratkaisusta päätyvät Suomen ulkopuolelle.

Yritys on yli 50-vuotiaan uran aikana toimittanut yli 15000 erilaista hitsauslaiteratkaisua. Pemamekin liikevaihto vuonna 2022 oli 65 miljoonaa euroa, ja kasvun oletetaan jatkuvan edelleen erityisesti tuulivoimateollisuuden kysynnän takia.

Pemamekin pääkonttori ja tuotantohalli sijaitsevat Loimaalla, missä kaikki tuotannon työntekijät ja suurin osa toimihenkilöistä työskentelevät. Tämän lisäksi toimihenkilöille on toimistotiloja Turussa ja Tampereella. Pemamekillä on myös myyntitoimistoja ulkomaille, jotka sijaitsevat Yhdysvalloissa, Brasiliassa, Saksassa, Espanjassa, Puolassa ja Italiassa.

2.2 Toimiala ja tuoteratkaisut

Pemamekin toiminta perustuu automatisoitujen hitsaus- ja tuotantolaiteratkaisujen suunnitteluun ja valmistukseen. Asiakkaat ovat pääasiallisesti raskaan metalliteollisuuden yrityksiä, joiden toimialoihin kuuluu tuulivoima, laivanrakennus, kone- ja laitevalmistus, prosessi-, energia-, ja konepajateollisuus, jonka lisäksi Pemamek tarjoaa erilaisia tuki- ja huoltopalveluita laitteita varten. Pemamek tarjoaa erilaisia laitetyppejä, joiden pohjalta asiakkaalle räätälöidään toiveiden mukaan juuri heille sopiva ratkaisu.

Pemamek tekee projektitoimitukset ”avaimet käteen” -periaatteella. Laitteet suunnitellaan ja kokoonpannaan Loimaan tuotantohallilla, jonka jälkeen ne testataan. Asiakas tulee tarkastamaan laitteen, ja hyväksynnän jälkeen laite puretaan ja kuljetetaan asiakkaalle, missä se kootaan ja testataan, sekä paikalliset operaattorit koulutetaan.

3 PEMA SMP 12000/2 & STT

3.1 Laitteen käyttötarkoitus

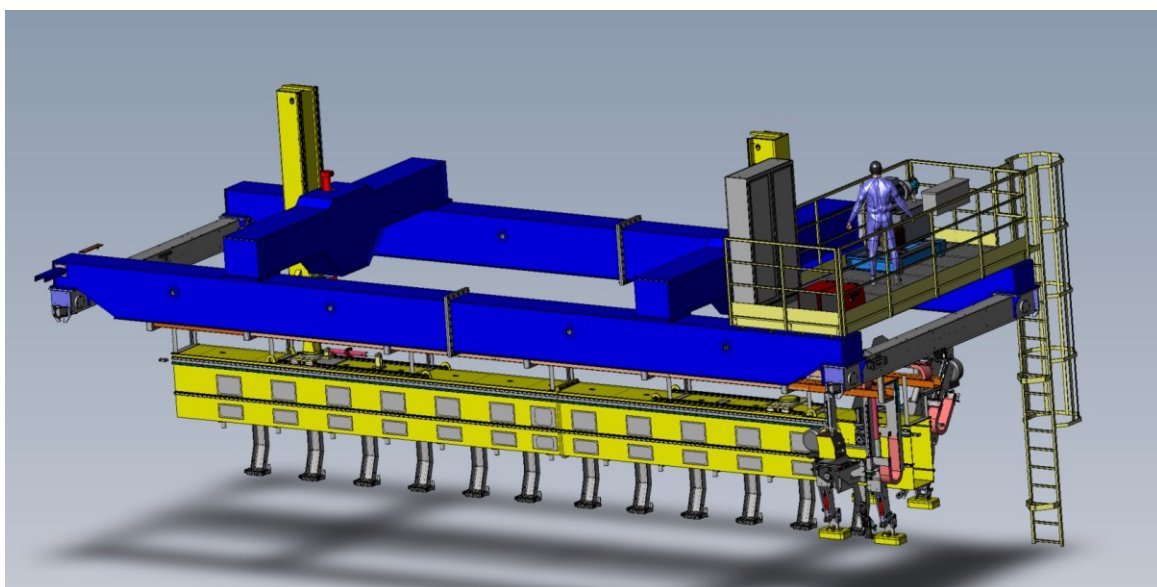
Profiilin asennus- ja hitsauslaite PEMA SMP on Pemamek Oy:n valmistama laivanteollisuuden käyttöön tarkoitettu laite, jonka tarkoituksena on sijoitella ja hitsata laivan lohkorakentamiseen käytettäviin kansilevyihin jäykistäjät. Laivan lohkorakennuksella tarkoitetaan laivanrakennuksen tapaa, jossa ensin valmistetaan pienempiä osakokonaisuuksia eli lohkoja, jotka yhteen liittämällä saadaan rakennettua laivan perusrakenne valmiiksi. Laitteen tilaaja on yhdysvaltalainen laivanrakennusyritys, joka on jo aiemmin hankkinut Pemamekiltä paneelihitsauskoneen. Suunniteltava laite tulee tuotantolinjalle tämän laitteen jälkeen, mikä lisää paneelilinjan tuottavuutta.

3.2 Jäykiste

Jäykiste eli profiili on poikkileikkaukseltaan esimerkiksi T-, I-, tai H-kirjaimen muotoinen teräsraakenne, joka hitsataan laivan kansilevyyn pitkittäis- tai poikittaissuunnassa kiinni 90 asteen kulmaan. Jäykisteen tarkoituksena on estää kansilevyjen taipumista niin sivuttais- kuin pitkittäissuuntaisten voimien, kuten aaltojen aiheuttaman taipumisen ja kiertymisen vaikutuksesta. (Marine Insight, 2022) Jäykisteitä tarvitaan suuria määriä, joten prosessia pystytään nopeuttamaan huomattavasti käyttämällä manuaalisen työn sijaan erilaisia automaatio- tai tuotantolaiteratkaisuja.

3.3 Rakenne

Profiilin asennus- ja hitsausportaali (SMP) voidaan jakaa rakenteellisesti kolmeen pääosaan, portaaliin, tartuntapuomiin ja hitsauskelkkaan. Kasettivaunu (STT) on erillinen rakenne, mutta toimii osana suunniteltavaa laitekokonaisuutta.



Kuva 1. SMP:n 3D-malli

3.3.1 Portaali

Portaali koostuu kahdesta poikittaissuuntaisesta ja kahdesta liikkeen suuntaisesta palkista (siniset osat kuvassa 1), jotka liikkuvat yläkiskoja pitkin. Portaalin liikettä ohjataan oikosulkumoottoreilla, jotka asennetaan palkkien alle. Portaalin toisessa reunassa on huoltotaso, johon päästään asiakkaan

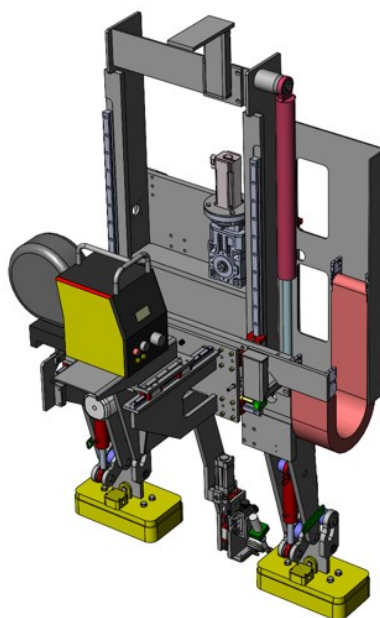
halliin asennetun huoltotason kautta. Huoltotasolle sijoitetaan pääkaapit, magneettikaappi, hydraulikoneikko ja hitsausvirtalähteet. Portaalin liikesuunnasta puhutaan jatkossa X-akselina.

3.3.2 Tartuntapuomi

Tartuntapuomin tarkoituksena on tuoda ja sijoitella jäykiste oikeaan kohtaan levytakanalle hitsausta varten. Tartuntapuomi koostuu leveästä poikkipuomista, joka on portaalissa kiinni kahdella pystypuomilla (keltaiset osat kuvassa 1). Poikkipuomissa on 12 magneettivartta, joiden päissä on profiiliin tarttumiseen tarkoitettut sähkömagneetit. Jokaisen varren vieressä on myös hydrauliset painimet, jotka painavat profiilia levytakanaa vasten hitsauksen aikana. Tartuntapuomi liikkuu portaalin mukana, jonka lisäksi sitä voidaan liikuttaa itsenäisesti ylös ja alas (jatkossa Z-akseli), poikittaissuuntaan (jatkossa Y-akseli), sekä toista päätä X-akselilla. Tartuntapuomin liikkeet suoritetaan hydraulilla sylintereillä.

3.3.3 Hitsauskelkat

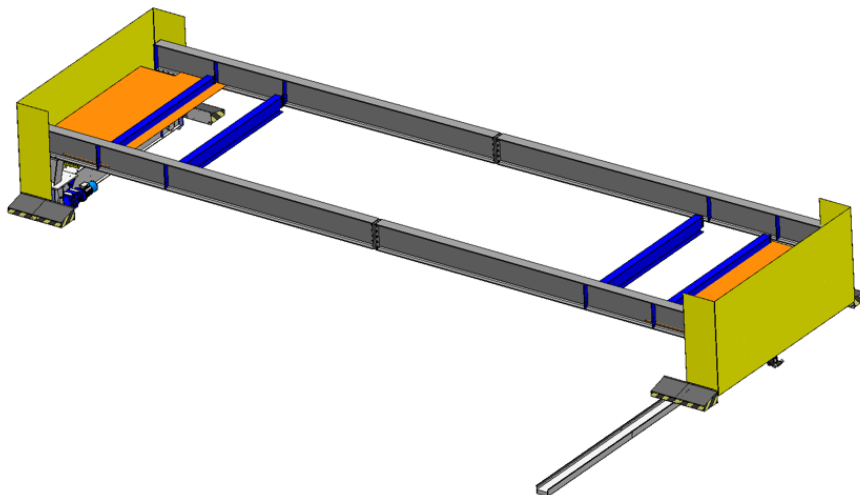
Tartuntapuomissa on kiinni molemmin puolin hitsauskelkat, joiden tehtävänä on hitsata profiili kiinni levytakanaan. Hitsauskelkat liikkuvat puomia pitkin Y-akselilla servomootorilla, Z-akselilla hydraulisen sylinterin avulla. Hitsauskelkkaan kuuluu hitsauspää sekä kaksi vetomagneettia. Hitsauspään lyhyt liike kelkkarakennetta pitkin Y-akselilla toteutetaan oikosulkumootorilla, ja lyhyt Z-akselin suuntainen liike paineilmasylinterillä.



Kuva 2. Hitsauskelkan 3D-malli

3.3.4 Kasettiasema

Kasettiasema on lattiakiskoja pitkin liikkuva vaunurakenne, jonka tarkoituksena on tuoda jäykistäjät levyalkan lähelle, jolloin tartuntapuomi poimii ne sijoittelua ja hitsausta varten. Jäykistäjät nostetaan kasettiaseman kyytiin asiakkaan omaa kattonosturia käyttäen. Kasettivaunua liikuttaa kaksi jarrullista oikosulkumoottoria.



Kuva 3. Kasettiaseman 3D-malli

3.4 Toimintaperiaate

Lohkon valmistusprosessi aloitetaan nostamalla kattonosturilla profiilit kasettivaunuun, ja kuljetetaan levyalkana lattiakiskoja pitkin aloituspisteeseen. Tartuntapuomi asetetaan sopivalle korkeudelle, ja kasettivaunu ajetaan tartuntamagneettien luokse, kunnes ne tulevat kontaktiin. Tartuntamagneetit aktivoidaan, jonka jälkeen profiili nostetaan irti kasettivaunusta ja se asetellaan halutulle paikalle levyalkanalle. Hydrauliset painimet lasketaan profiiliin kiinni, jonka jälkeen aktivoidaan automaattinen hitsaussekvenssi.

Sekvenssin aikana vetomagneetit lasketaan kiinni levyalkanaan, ja ne aktivoidaan. Magneetteja vedetään hieman ylöspäin, ja ne lukitaan yläasentoon hitsauksen ajaksi. Hitsauspäät laskeutuvat hitsauksen aloituspisteeseen, ja hitsaavat profiiliin molemmiin puoliin kelkkarakenteen salliman matkan verran. Tämän jälkeen sama sekvenssi toistuu käänteisessä järjestyksessä, ja hitsauskelkat siirtyvät tartuntapuomin suuntaisesti seuraavan hitsauskohtaan. Sama prosessi toistuu, kunnes profiili on hitsattu koko matkalta kiinni, ja hitsauskelkat palaavat takaisin lähtöpisteeseen. Laitetta voidaan ohjata kahdella eri kaukosäätimellä tai HMI-näytön avulla.

4 UL-STANDARDI

4.3 Underwriters Laboratories

Underwriters Laboratories (UL) on yhdysvaltalainen turvallisuus- ja tutkimusorganisaatio, joka tutkii ja testaa eri tekniikan aloilla käytettäviä laitteita ja komponentteja. UL on myös vastuussa turvallisuusstandardien luomisesta ja kehittämisestä Pohjois-Amerikan alueella. Järjestön testaamat ja hyväksymät komponentit merkataan Recognized Component Mark- merkinnällä, ja pääsääntöisesti vain hyväksynnän saaneita komponentteja saa käyttää Yhdysvaltoihin ja Kanadaan myytävissä laitteissa. (Underwriters Laboratories, 2023)

4.4 UL508A ja muut sovellettavat standardit

UL508-standardin tarkoituksena on määrittää vaatimukset Pohjois-Amerikan teollisuuden sähkökeskuksiin, joiden jännite on korkeintaan 600 V, ja joiden ympäristö on korkeintaan 40 °C. Standardin mukaan suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös sähköturvallisuusstandardit NFPA 70-NEC, NFPA 70E ja NFPA 79. Teollisuuden sähkökeskukseksi määritellään kokoonpano, joka sisältää vähintään kaksi voimapiirin komponenttia, kuten moottoriohjain ja ylivirtarele, tai kaksi ohjauspiirin komponenttia, kuten painike ja merkkivalo. Komponentit voivat sijaita kotelon sisällä tai sen pinnalla. (UL508A, 2018, s. 10)

4.5 Merkinnot komponenteissa



Kuva 4. UL-Listed- merkinnät (Underwriters Laboratories, 2023)

UL Listed- merkintä löytyy komponenteista, jotka ovat testattu ja täyttävät UL-standardin vaatimukset. Tämän merkinnän saaneet komponentit kelpaavat sähköasennuksiin sellaisinaan ilman erillisiä toimenpiteitä. Merkinnästä on kolme versiota: UL, C-UL ja C-UL-US. UL-merkitty komponentti on hyväksytty vain Yhdysvalloissa, C-UL-merkitty vain Kanadassa ja C-UL-US sekä Yhdysvalloissa, että Kanadassa. (UL, 2023)



Kuva 5. UL-recognized- merkinnät (Underwriters Laboratories, 2023)

UL Recognized-merkintä on harvinaisempi, sillä tällä tavoin merkattuja komponentteja käytetään osana laajempaa kokonaisuutta. Tällä merkinnällä varustetut komponentteja voivat myös olla testat-

tuja ja hyväksytyjä vain tietyissä valmistajan määrittämässä olosuhteissa. Merkinnän voi löytää esimerkiksi joistain kytkimistä tai virtalähteistä. UL-Recognized komponentit soveltuvat laitteen tai kokonaisuuden rakentamiseen tehtaalla, mutta ei kentällä. UL-Recognized komponenteista rakennettu kokonaisuus testataan, jonka jälkeen voidaan todeta sen määräystenmukaisuus. (UL, 2023)



Kuva 6. CSA- merkinnät (CSA Group, 2023)

CSA eli The Canada Standards Association on Underwriters Laboratoriesin kaltainen standardiorganisaatio. CSA toimii yhteistyössä UL:n kanssa, ja CSA:n testaamien ja hyväksymien komponenttien katsotaan täyttävän Yhdysvalloissa vaadittavat turvallisuusmääräykset, vaikka ne eivät virallisesti olekaan UL-hyväksytyjä. (SMC, 2011)

3.3 UL-standardin huomiointi työssä

UL-standardin mukainen suunnittelu ja suunnitteluun liittyvä dokumentointi eroaa monella tapaa IEC-standardiin verrattuna. Työn aikana erityisesti seuraaviin seikkoihin kiinnitettiin huomiota:

- Suunnittelussa käytettiin vain UL- hyväksytyjä merkattuja komponentteja. Merkinnät etsittiin komponenttien datalehdistä.
- Suojalaitteita suunniteltaessa kiinnitettiin huomiota piirien oikosulkuvirran kestoisuuteen, eli SCCR-arvoon. Suunnittelun loppuvaiheessa haarapiirit käytiin yksitellen läpi, jotta lopullinen SCCR-arvo saatiin määriteltyä.
- IEC-standardin mukainen koteloiden IP-suojausluokittelu ei päde Pohjois-Amerikassa. Suojausluokittelussa käytetään National Electrical Manufacturers Associationin (NEMA) laatimaa TYPE-luokittelua.
- Kaapeleiden poikkipinta-ala ilmoitettiin AWG-mitoissa mm² sijaan, ja kenttäkaapelointia suunniteltaessa varmistettiin kaapeleiden jännitekestoisuus.
- Tyyppikilpeen tarvitaan eri tietoja IEC-standardiin verrattuna, joten tarvittavat standardin mukaiset muutokset tehtiin.

5 KENTTÄVÄYLÄ JA VÄYLÄLAITTEET

5.3 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka on yksi automaatiotekniikan keskeisimmistä komponenteista, jonka tarkoituksena on ohjata toimilaitteita, kuten venttiileitä, releitä, sylintereitä ja moottoreita. Logiikat ovat suosittuja teollisuuden automaatiassa, sillä ne kykenevät toimimaan hyvin ympäristössä, jossa on paljon sähkömagneettista häiriötä ja mekaanisia häirttekijöitä, kuten värähtely ja korkea lämpötila.

(Suomen Automaatioseura, 2013)

Logiikat ovat myös helppoja asentaa ja ylläpitää modulaarisuutensa vuoksi. Myös tarvittavien muutosten teko ohjelmaan on nopeaa ja pystytään tekemään järjestelmän ollessa toiminnassa, mistä on suuri hyöty erityisesti laitteiden käyttöönotossa. Ohjelman muutosten tekoa helpottaa myös standardoidut logiikan ohjelmointikielet, jotka ovat perinteisiä ohjelmointikieliä helpompia omaksua.

(Suomen Automaatioseura, 2013)

5.3.1 Logiikan rakenne

Logiikan rakenne koostuu virtalähteestä, tulo- ja lähtömoduuleista, sekä prosessorimoduulista (mikroprosessori, CPU), jotka voivat olla integroituja keskenään tai erillisinä komponentteina. Digitaalisten tulomoduurien tarkoituksena on välittää prosessorimoduulille tarvittavaa tietoa prosessin tilan muutoksista, kuten lämpötilan, sijainnin tai paineen muutokset, joiden perusteella ohjaustoimenpiteet päätetään. (Suomen Automaatioseura, 2013)

Tulomoduuiliin kytketään tyypillisesti erilaisia antureita tai painikkeita, jotka yleisesti ottaen kertovat ohjaimelle tietoja prosessin tilasta tai halutuista toiminnoista. Lähtömoduurien tehtävänä on viedä prosessorin ohjausviesti esimerkiksi kontaktoreille tai releille, jotka ohjaavat toimilaitteita kuten moottoreita tai huomiovaloja. Analogisilla lähtömoduuleilla voidaan ohjata esimerkiksi taajuusmuuttajia tai säätöventtiileitä. Logiikkaan voidaan lisätä kenttäväylän avulla hajautusyksiköitä, jotka mahdollistavat tulo- ja lähtömoduurien lisäämisen erilleen pääohjausmoduulista lähemmäksi prosessia. Tämän avulla voidaan esimerkiksi lyhentää huomattavasti antureiden kaapeloinnin pituutta.

(Suomen Automaatioseura, 2013)

5.4 Kenttäväylä

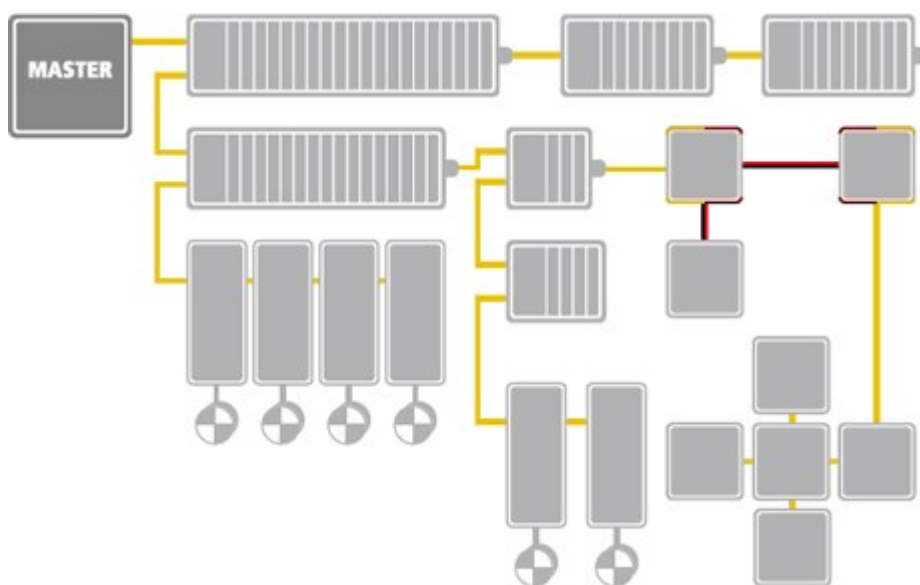
Kenttäväylällä tarkoitetaan kaksisuuntaista tiedonsiirtoverkkoa, jota käytetään teollisuuden reaaliaikaisissa ohjausjärjestelmissä. Kenttäväylä mahdollistaa nopean kommunikoinnin kenttä- ja toimilaitteiden sekä logiikan välillä, ja sen avulla pystytään siirtämään suurempia tietomääriä, kuin perinteisellä johdotuksella. Kenttäväylän avulla voidaan toteuttaa järjestelmän hajautus, mikä käytännön tasolla tarkoittaa prosessiasemien sijoittamista lähemmäs prosessia, jolloin esimerkiksi tiedonsiirron tarve ja vasteaika pienenevät. (Suomen Automaatioseura, 2013)

5.5 EtherCAT

Ethercat (Ethernet for Control Automation Technology) on Beckhoffin kehittämä ethernet-pohjainen kenttäväyläteknologia, joka soveltuu erittäin pienen vasteaikansa ansiosta kaikenlaisiin automaatiotratkaisuihin. EtherCAT-väylällä yksi laite on master, ja loput slave-laitteita. Master on väylällä ainut

laite, joka saa lähettää kehyksen, joka sisältää väylällä oleville laitteille tarkoitetut viestit. Kehys kulkee jokaisen solmun läpi, ja viimeiselle laitteelle saapuessa kehys lähetetään takaisin master-laitteelle. Jokainen slave-laite lukee itselleen tarkoitetun kehyksen sisältämän datan ”lennosta”, ja kirjoittaa tarvittaessa kehykseen omaa dataa sen liikkussa eteenpäin. Tämän toimintamallin ansiosta saadaan eliminoitua ethernet-kehyksen vastaanottamiseen ja prosessointiin kuluva aika, jolloin kehyksen viive saadaan pienennettyä alle mikrosekuntiin. (EtherCAT Technology group, 2023)

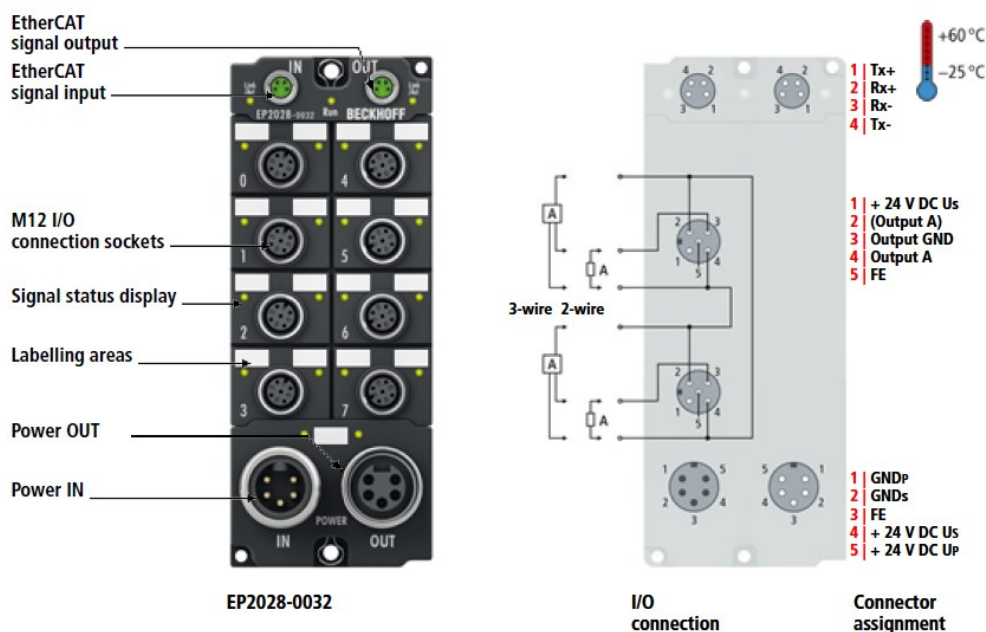
Yhdellä EtherCAT-segmentillä voidaan yhdistää jopa 65535 laitetta linja-, tähti-, tai puutopologiassa, mikä tekee siitä äärimmäisen joustavan käyttää, ja helpottaa väylän suunnittelua. Ethernet-väylän kaapelointi voidaan toteuttaa Beckhoffin valmistamilla väyläkaapeleilla, sekä yleisillä ethernet-kaapeleilla. (EtherCAT Technology group, 2023)



Kuva 7. Esimerkkikuva EtherCAT-väylän mahdollisesta topologiasta (Lähde: EtherCAT Technology Group)

5.6 EtherCAT box

EtherCAT box on Beckhoffin valmistama hajautusmoduuli, joka on suunniteltu käytettäväksi vaativissa teollisuuden olosuhteissa. Moduuleja on saatavana tulo- ja lähtötyyppisinä, niin digitaalisena kuin analogisena. Moduuleissa on mallista riippuen 4-8 M12-liitäntää, joihin signaali kytketään. Moduuleita pystytään ketjuttamaan väylään tyypistä välittämättä keskenään, sillä kaikissa on samanlainen M8-tyypin väyläliitäntä. Teholiitännän tyyppi vaihtelee moduulityyppien välillä, mutta ketjutus on mahdollinen käyttämällä kaapelia, jonka päissä on erityyppiset liittimet. Moduulilla on IP65-luokitus, minkä vuoksi sitä voidaan käyttää kentällä.



Kuva 8. Beckhoff EtherCAT box (Lähde: Beckhoff Automation)

5.7 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkömoottorien ohjaukseen käytettävä laite, jolla säädetään moottorin käyntinopeutta ja momenttia. Taajuusmuuttaja kytketään syötön ja moottorin väliin, ja syötön virran ja jännitteen aaltomuotoa muokkaamalla saadaan ulostulona jännite ja virta, joilla moottori nopeus ja momentti saadaan halutun suuruisiksi (ABB, 2023).

Taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, suodatuspiiristä sekä vaihtosuuntaajasta eli invertteristä. Syöttöverkosta otettu vaihtosähkö muutetaan esimerkiksi diodeista koostuvalla tasasuuntauspiirillä tasasähköksi, jonka aaltomuotoa tasoitetaan kondensaattoreista ja kuristimista koostuvalla suodatuspiirillä. Tämän jälkeen suodatettu tasasähkö syötetään vaihtosuuntauspiiriin, joka koostuu kytkinkomponenteista, kuten tyrstoreista tai IGBT-transistoreista. Tasasähkö muutetaan vaihtosähköksi kytkemällä jännitettä päälle ja pois, jolloin keskiarvoinen jännitteen suuruus muistuttaa siniaaltoa (pulsseinleveysmodulaatio). (ABB, 2023)

Taajuusmuuttaja laskee moottorin tarvitseman jännitteen ja taajuuden, minkä avulla moottoripiiriin pystytään syöttämään vain tarvittava määrä sähkötehoa, mikä parantaa prosessin energiatehokkuutta. Taajuusmuuttajaa käyttämällä voidaan myös kasvattaa moottorin käyttöikää vähentämällä mekaanista rasitusta, sillä moottoria ei tarvitse aina käyttää maksimiteholla. (ABB, 2023)

5.8 Servomoottori

Servomoottori on takaisinkytketty sähkömoottori, jota käytetään esimerkiksi tarkkuutta vaativissa halutulla nopeudella liikkeissä tai pyöryksessä. Servokäyttö koostuu servomoottorin lisäksi servosäätimestä, vahvistimesta, sekä paikkaa tunnistavasta anturista. Servomoottorin toiminta perustuu paikkatietoon, ja sen poikkeamaan halutusta ohjausarvosta. Servosäätimelle annetaan logiikan asetusarvo, jonka jälkeen säädin laskee asetusarvon ja anturin mittaaman arvon erotuksen. Mikäli

nämä arvot eroavat toisistaan, saadaan tulokseksi erosuure, jonka perusteella säädin antaa vahvistimelle ohjaussuureen, jonka kautta ohjausviesti lähetetään moottorille. Moottoria ohjataan ohjausviestin mukaisesti, kunnes paikka-anturi havaitsee prosessin saavuttaneen asetusarvon. Säädin saa anturilta jatkuvaa tietoa moottorin tilasta, ja poikkeaman ilmetessä säädin pyrkii saavuttamaan asetusarvon uudelleen. (International Society of Automation, 2003)

Servomoottoreita hyödynnetään hyvin laaja-alaisesti erilaisissa laitteissa. Esimerkiksi robottilaitteiden liikkeitä ohjataan pääasiallisesti servoilla. Myös metalliteollisuudessa käytetään tarkkuutta vaativissa prosesseissa servokäyttöjä. Tarkkuuden lisäksi suurimpia servomoottorin hyötyjä ovat energiatehokkuus, toimintavarmuus ja pieni koko.

6 ANTUROINTI

6.3 Yleistä

Anturilla tarkoitetaan laitetta, joka mittaa haluttua suuretta, kuten lämpötilaa ja painetta, ja muuttaa sen sähköiseksi signaaliksi. Anturien tekemien mittausten perusteella pystytään tekemään ohjauspäätöksiä prosessissa, ja välttämään vaaratilanteita. Tässä projektissa anturoinnissa hyödynnettiin eniten induktiivista anturia, ultraääni- ja valokennoantureita. (Analog Devices Inc, 2023)

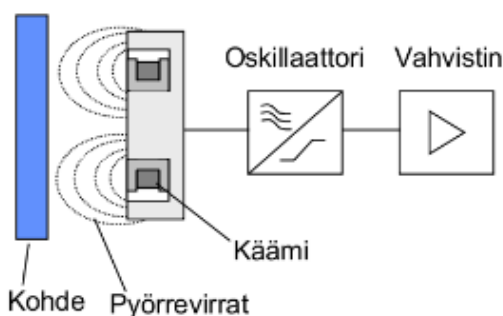
6.4 Induktiivinen anturi

Induktiivisen anturin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Induktiolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa muuttuvassa magneettikentässä olevaan johteeseen muodostuu sähkömotorinen voima. Yleisesti ottaen induktiivisen anturin rakenteeseen kuuluu oskillaattori, vahvistin ja tunnistinpiiri.

Oskillaattori luo anturin eteen värähtelevän magneettikentän. Kun sähköä johtava materiaali (kuten teräs) saapuu magneettikenttään, muuttuu magneettipiirin permeabiliteetti, jonka muutoksen anturi havaitsee. Induktiivisen anturin havaitsemisetaisyys on muutamien millimetrien luokkaa, joten yleensä sitä voidaan käyttää esimerkiksi välittömän törmäysvaaran havaitsemiseen. Kun havaittu kappale siirtyy pois anturin havaitsemisalueelta, magneettikenttä palautuu normaaliksi, eikä anturi enää lähetä ulostuloviestiä.

Induktiivisilla antureilla on mallien mukaan erilaisia kytkentätapoja. Anturi voi olla kuorman kanssa sarjaan kytketty kahden johtimen malli, mutta yleisimmin anturissa on kolme johdinta; positiivinen jännite (tyypillisesti 10-40 V), nollajännite ja signaali. Signaalijohdin voidaan kytkeä esimerkiksi releeseen tai digitaalitulomoduuliin, jolloin saadaan vietyä logiikalle tieto esimerkiksi lähellä olevasta esteestä. PNP-tyyppisellä anturilla signaali on positiivinen, ja NPN-tyyppisellä negatiivinen, eli nollajännite.

Induktiivisen anturin suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota myös mekaanisiin tekijöihin. Anturi ei saa olla liian lähellä metallisia pintoja, sillä se voi häiritä anturin toimintaa. Jos anturin tuntopintaa ei ole suojattu, tulisi anturin pään ja lähimmän metallipinnan välimatka olla vähintään kaksinkertainen tuntopinnan halkaisijaan nähden. Suojatussa rakenteessa saman etäisyyden tarvitsee olla noin 1,5-kertainen. (Metropolia, 2010)

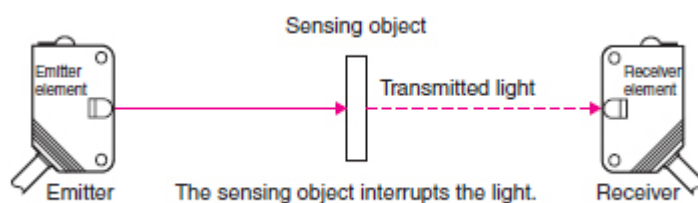


Kuva 9. Induktiivisen anturin toimintaperiaate (Metropolia, 2010)

6.5 Valokennoanturi

Valokennoanturin toiminta perustuu sähkömagneettisen säteilyyn. Anturi koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta, jotka voivat olla joko kaksi erillistä komponenttia, tai sisäänrakennettuna yhteen komponenttiin. Tässä projektissa käytettiin vain lähetin-vastaanotinparia.

Valokennoanturilla pystytään havaitsemaan vaikutusalueella tapahtuvaa liikettä. Anturin lähetin emittoi valonsäteen, joka kulkee suoraviivaisesti vastaanottimelle. Kun lähetin-vastaanotinparin väliin tulee este, säde ei pääse vastaanottimelle, ja vastaanotin joko lähettää signaaliviestin tai lopettaa signaalin lähettämisen anturin tyyppin mukaan. Signaalin tyyppi PNP- ja NPN-kytkennöillä on sama kuin induktiivisella anturilla. (Omron, 2023)



Kuva 10. Valokennoanturin toimintaperiaate (Omron, 2023)

6.6 Ultraäänianturi

Ultraäänianturin toiminta perustuu ääniaaltojen heijastumiseen. Anturi lähettää eteenpäin ääniaaltoja taajuudella, jotka ovat ihmiskorvan kuuloalueen ulkopuolella. Aaltoliikkeelle tyypillisesti myös ääniaallot kimpoavat eli reflektoituvat törmätessään esteeseen, kuten kiinteään tai nestemäiseen aineeseen. Takaisin tullessaan aallot törmäävät anturiin, joka mittaa matkaan kuluneen ajan, ja laskee tämän perusteella matkan esteeseen.

Ultraäänianturin havaitsemiskyky on materiaalien kannalta laajempi kuin induktiivisella anturilla, ja myös sen tunnistusetaisyys on pidempi. Sillä pystytään seuraamaan prosessissa esimerkiksi nesteen tasoa tai tunnistamaan mekaanisten osien asentoa laitteissa, joissa liikkuvat osat voivat olla vaarassa törmätä toisiinsa, kuten robottilaitteissa. Sitä voidaan käyttää myös induktiivisen anturin tapaan lähestymisanturina, joka havaitsee jo pidemmältä mahdollisen törmäysvaaran. Ne toimivat hyvin myös pölyisissä tai savuisissa ympäristöissä, minkä vuoksi ne soveltuvat hyvin tehdasympäristöön.

Ultraäänianturin kytkentäperiaatteet ovat saman kaltaisia muiden anturien kanssa. Anturiin kytketään käyttöjännite, nolajännite, ja signaalijohdin kytketään logiikkaan joko suoraan tai digitaalitulo-moduulin kautta. (MaxBotix, 2023)

7 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

7.1 Suunnitteluprosessi

Projektin suunnittelu aloitetaan esisuunnittelulla. Kun laite on myyty asiakkaalle, aletaan selvittää esimerkiksi tilarajoitteita ja syöttötietoja. Teknologiaosaston suunnittelijat tekevät selvitettyjen tietojen pohjalta lähtötiedot operatiiviselle suunnittelulle, jolloin varsinainen suunnittelutyö voi alkaa.

Projektin aloitetaan aloituspalaverilla, jonka pitää projektipäällikkö, ja paikalla on edustajat joka suunnitteluosastolta. Palaverissa käydään läpi projektin alkuun liittyviä tekijöitä, kuten asiakkaan tuotantotilojen rajoitteet ja alustavat layout-suunnitelmat. Palaverissa käsitellään myös aiempia projekteja, joita voidaan käyttää pohjana suunnittelun alkaessa.

Projekteista pyritään pitämään viikkopalaveri joka viikko, jossa seurataan projektin etenemistä ja aikataulua. Palaverissa käydään yhdessä keskustelua eri suunnitteluosastojen välillä suunnittelun aikana havaituista haasteista, ja niihin pyritään keksimään ratkaisut.

7.2 EPLAN

EPLAN on tietokantapohjainen suunnitteluohjelma, jota käytetään sähkö-, automaatio ja mekaaniseen suunnitteluun, ja sitä käytetään erityisesti teollisuuden koneiden ja laitteiden, sekä keskusten suunnitteluun. EPLAN mahdollistaa myös tehokkaan dokumentaation luomisen. (EPLAN, 2023)

Pemamek käyttää EPLAN electric p8 - ohjelmistoa sähkösuunnittelussa. Komponenttien tiedot ovat erillisessä tietokantasovelluksessa, jonka avulla pystytään seuraamaan esimerkiksi niiden saatavuutta yrityksen varaston puolella. EPLAN mahdollistaa makrojen luomisen, mikä sujuvoittaa suunnittelutyötä. Myös monet komponenttivalmistajat ovat tehneet suosituista komponenteistaan valmiita makroja.

7.3 Suunnittelutyön työtavat ja tarkoitus

Koska Pemamek toimittaa räätälöityjä laitteita tietyiltä pohjilta, voidaan aiempia projekteja hyödyntää uusia suunnitellessa. Aiemmistä ratkaisuista voidaan ottaa mallia uusia projekteja suunnitellessa, sillä ne on jo todettu toimivaksi käytännössä.

Sähkösuunnitteluprosessi Pemamekillä on kehittynyt suuresti viime vuosina, mikä nähdään ensisijaisesti sähkökuvien laadussa ja tyyliässä. Yhtenä päätavoitteena on siis luoda laadukkaat ja nykyaikaiset sähkökuvat, joita voidaan hyödyntää tulevaisuuden saman kaltaisten laitteiden toimituksissa. Nykyaikainen piirtotyö on yksityiskohtaisempaa ja helppolukuisempaa, sillä esimerkiksi sivunumerointien väkiointi nopeuttaa kentällä tarvittavan tiedon löytämistä. Myös dokumentaatio on kehittynyt, ja EPLANin raporttityökaluja on opittu hyödyntämään paremmin, mikä edelleen helpottaa esimerkiksi asentajien työtä.

8 SUUNNITTELU

8.1 Lähtötietoihin tutustuminen

Lähtötiedoiksi laitteesta on luotu useita dokumentteja, joiden perusteella suunnittelua aletaan suorittamaan. Ensimmäiseksi tutustutaan tekniseen erittelyyn ja operatiivisen suunnittelun lähtötietoihin, joissa määritellään tarkemmin laitteen toiminnallisuus sekä vaatimukset. Näihin lukeutuu esimerkiksi mekaaniset mitat, laitteen suorituskyky, toimintalämpötilat, ja sovellettavat standardit. Dokumentteista saadaan selville myös, mitä muiden valmistajien laitteistoja käytetään (esimerkiksi hitsauslaitteisto).

Seuraavaksi tutustutaan laitteen ohjausrakenteeseen. Ohjausrakenteesta selviää kenttäväylään menevät komponentit, sekä mitä kenttäväyliä laitteessa käytetään. Ohjausrakenteesta selviää myös karkeasti ohjauslaitteiden sijainnit ja käyttötarkoitukset, minkä perusteella tarkempaa suunnittelua aletaan tekemään. Tämän jälkeen tutustutaan malliprojekteihin, joiden perusteella suunnittelu aloitetaan.

8.2 Anturoinnin suunnittelu

Anturoinnin suunnittelu aloitettiin tutustumalla vanhaan malliin, sekä laitteen 3D-kuvaan. Vanhasta mallista löytyi osa tarvittavista IO-tiedoista ja antureista, minkä perusteella lähdettiin miettimään, mitä anturoinnilla halutaan saavuttaa, ja mikä anturi parhaiten sopii tehtävään.

Pääasiallisesti anturoinnilla halutaan tuottaa tarvittavat IO-tiedot automaatisuunnittelulle. Esimerkiksi törmäysvaaran lähestyessä laitteen on pysähdyttävä ilman operaattorin ohjauskäskyjä, jotta vahinkoja ei pääsisi tapahtumaan. Myös muut laitteen automaattiset toiminnot ovat oikein tehdystä anturoinnista riippuvaisia, joten tarkkuuden noudattaminen suunnittelussa on erityisen tärkeää.

Suunnitellessa pohdittiin vanhojen antureiden tarpeellisuutta, sekä uusien antureiden tarvetta. Osa antureista vaihdettiin eri mallisiksi, ja joidenkin antureiden kytkentäpaikkaa vaihdettiin. Muutamat anturit todettiin myös tarpeettomaksi nykyisen ja vanhan laitteen kiskorakenteen erilaisuuden vuoksi. Sijoittelua tehtiin yhteistyössä mekaniikkasuunnittelun kanssa, jotta tarvittavien anturien tarkat paikat saadaan järjestettyä mekaanisesti, ja täsmäämään mekaniikan 3D-layoutin ja sähkösuunnittelun välillä.

Anturit kytkettiin pääasiassa kentälle asennettaviin Beckhoffin digitaalitulomoduuleihin, joiden kautta niiden tuottamat IO-tiedot saadaan vietyä kenttäväylälle. Asennusten suunnittelussa hyödynnettiin myös Beckhoffin Duo-kaapelia liitin- ja kaapelimäärän vähentämiseksi. Duo-kaapelissa yksittäisestä M12-liittimestä lähtee kaksi erillistä neljän johtimen kaapelia. Tällä tavoin yhdellä liittimellä voidaan kytkeä kaksi anturia yhteen liittimeen.

8.3 Hajautuskeskusten suunnittelu

Suunnittelua tehtäessä laitteen huoltovarmuus on yksi tärkeä tekijä. Aiemmassa mallissa hajautuskeskus on tartuntapuomin päälle, jolloin esimerkiksi sulakkeen lauetessa joudutaan kiipeämään puomin päälle, mikäli se halutaan kuitata ja jatkaa tuotantoa. Tämä voi aiheuttaa omat ongelmansa, sillä pääsy puomin päälle voi olla estynyt esimerkiksi työkappaleen tai yleisen tilanpuutteen vuoksi, eikä asiakkailta välttämättä ole saatavilla henkilönostimia huoltotöitä varten. Hajautuskeskuksia suunnitellessa pyrittiin siis ratkaisuun, jolla saataisiin siirrettyä keskuksat paikkaan, jossa sähköalan ammattilaisella on niihin helppo pääsy tarpeen tullen.

Vaihtoehtoja mietittäessä järkevimmäksi nousi hajautuskeskuksen jakaminen kahdeksi erilliseksi keskuksiksi, jotka sijoitettiin puomin molemmin puolin. Tällä tavoin keskusten koko saatiin pidettyä tarpeeksi pienenä, sillä sijoituspaikka on mekaanisesti ahdas. Toinen tärkeä syy kahtia jakoon oli kenttäkytkentöjen helpottaminen. Koska keskuksat sijaitsevat puomin eri puolilla, saadaan pääkeskuksesta tuotua siistimmin yksittäiset syöttökaapelit energiaketjua pitkin suoraan hajautuskeskusten riviliittimille. Tuloksena on yksinkertaisempi kaapelointi, sillä hitsauskelkkojen vaatimat kaapelit ovat selkeästi puomin eri puolilla omissa ketjuissaan, mikä sujuvoittaa laitteen purkamis- ja uudelleenrakennusprosessia.

Keskusten kokoa suunnitellessa jouduttiin miettimään niissä käytettävää jännitettä. Mikäli syötöksi valitaan kolmivaihesähkö, joudutaan keskuksiin lisäämään virtalähde ja kontaktoreita, mikä voi aiheuttaa tilanpuutetta pienessä tilassa. Tämä on toimintavarmempi ratkaisu, eikä esimerkiksi jännitehäviötä tarvitse miettiä. Tasasähköä käytettäessä keskuksista saadaan yksinkertaisempi ja halvempi, ja tarvittavat komponentit saadaan mahtumaan pienempään tilaan. Se on kuitenkin alttiimpi esimerkiksi EMC-häiriölle ja jännitehäviöstä aiheutuville ongelmille, mikäli kaapelin pituus on liian suuri.

Tuotekehityksen seurauksena laitteen ohjauspisteet muuttuivat. Vanhan malliset kiinteät ohjausrakenteet vaihtuivat kauko-ohjaimiin, jotta prosessin ohjaus olisi helpompaa ja tarkempaa. Kauko-ohjaimet vaativat säilytyspaikan, johon operaattoreilla on esteetön ja helppo pääsy. Tämän vuoksi päädyttiin ratkaisuun, jossa toisen puolen hitsauskelkan hajautuskeskuksen yhteyteen suunniteltiin keskus, jonka sisällä on kauko-ohjainten säilytyspaikat. Keskusten yhdistys suunniteltiin tehtäväksi Rit-talin valmistamalla rivityssarjalla, jonka avulla keskuksat pysyvät turvallisesti kiinni toisissaan. Myös molemmille kauko-ohjaimille suunniteltiin latauspisteet, joihin ne on helppo laittaa käytön jälkeen.

8.4 Logiikan suunnittelu

Logiikkaa suunnitellessa kiinnitettiin erityisesti huomiota IO-pisteiden uudelleennimeämiseen. Suuntaa ilmaistaessa oli ennen käytetty sanoja kuten "Up", "Left", tai "horizontal". Vaikka joissain tilanteissa tämä tapa on riittävän tarkka, aiheutuu kolme akselia pitkin liikkuvassa laitteessa helposti sekaannuksia tarkoitetusta liikesuunnasta. Nimeämistavaksi valittiin liikeradan mukaan seuraamaan X-, Y- ja Z-akselia, ja liikesuuntaa ilmaistiin plus- ja miinusmerkeillä. Myös mahdolliset epäselvyydet anturien käyttötarkoituksista selkeytettiin nimettäessä. Näillä toimenpiteillä poistettiin mahdollisimman paljon tulkinnanvaraa, mikä edesauttaa automaattisuunnittelun tekoa.

8.5 Johdotus ja kaapelointi

Pohjois-Amerikkaan menevissä laitteissa käytetään kaapeleiden poikkipinta-alan ilmaisuun sähkökuvissa AWG-mittoja. Myös metrisiä kaapeleita saa käyttää, mikäli johtimen poikkipinta-ala on vähintään alla olevan muunnostaulukon mukainen.

Kaapeloinnissa pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman paljon samoja kaapelityyppejä, jotta laitetta toimittaessa selvittää mahdollisimman pienellä kaapelikelojen määrällä. Kenttäkaapelointia suunniteltaessa huomiottiin myös kaapeleiden jänniteluokitus, sillä samalla kaapelihyllyllä olevien kaapelien jännitekestoisuus tulee olla vähintään yhtä suuri kuin korkeimman hyllyllä kulkevan jännitteen arvo.

Table 28.1 – Ampacities of insulated conductors in Ampere

Wire size		60 °C		75°C	
AWG	mm ²	Copper	Aluminium	Copper	Aluminium
14	2.1	15	-	15	-
12	3.3	20	15	20	15
10	5.3	30	25	30	25
8	8.4	40	30	50	40
6	13.3	55	40	65	50
4	21.2	70	55	85	65
3	26.7	85	65	100	75
2	33.6	95	75	115	90
1	42.4	110	85	130	100
1/0	53.5	-	-	150	120
2/0	67.4	-	-	175	135
3/0	85.0	-	-	200	155
4/0	107.2	-	-	230	180
250 kcmil	127	-	-	255	205
300	152	-	-	285	230
350	177	-	-	310	250
400	203	-	-	335	270
500	253	-	-	380	310
600	304	-	-	420	340
700	355	-	-	460	375
750	380	-	-	475	385
800	405	-	-	490	395
900	456	-	-	520	425
1000	506	-	-	545	445
1250	633	-	-	590	485
1500	760	-	-	625	520
1750	887	-	-	650	545
2000	1013	-	-	665	560

NOTES
1 For multiples-conductors of the same size (1/0 AWG or larger) at a terminal, the ampacity is equal to the value in this table for that conductor multiplied by the number of conductors that the terminal is able to accommodate.

Kuva 11. Johdinten poikkipinta-alat AWG- ja mm²-mitoissa yli 10 A kytkennöissä. (UL508A taulukko 28.1)

Table 37.1
Ampacities of field wiring conductors smaller than 14 AWG (2.1 mm²)

Maximum control circuit terminal ampacity, amperes	Minimum terminal wire range		Marking required
	AWG	(mm ²)	
10	16	(1.3)	yes
10	16 – 14	(1.3 – 2.1)	no
7	18	(0.82)	yes
7	18 – 14	(0.82 – 2.1)	no
5	20 – 18	(0.52 – 0.82)	yes
5	20 – 14	(0.52 – 2.1)	no
3	22 – 18	(0.32 – 0.82)	yes
3	22 – 14	(0.32 – 2.1)	no
2	24 – 18	(0.20 – 0.82)	yes
2	24 – 14	(0.20 – 2.1)	no
1	26 – 18	(0.13 – 0.82)	yes
1	26 – 14	(0.13 – 2.1)	no
0.8	28 – 18	(0.08 – 0.82)	yes
0.8	28 – 14	(0.08 – 2.1)	no
0.5	30 – 18	(0.05 – 0.82)	yes
0.5	30 – 14	(0.05 – 2.1)	no

Kuva 12. Johdinten poikkipinta-alat AWG- ja mm²-mitoissa alle 10 A kytkennöissä. (UL508A taulukko 37.1)

8.6 SCCR-arvon määrittely

SCCR (Short Circuit Current Rating)- arvolla tarkoitetaan oikosulkuvirran kestoisuutta. Pohjois-Amerikkaan menevissä sähkökeskuksissa täytyy lukea arvokilvessä keskuksen lopullinen SCCR-arvo, ja pääpiirin syöttö- ja haarapiirit esitetään yksiviivapiirroksena, jossa on määritelty yksittäisten haara-piirien SCCR- arvot. Tarkasteluun kuuluu power- ja branch-piirien suojalaitteet kuten katkaisijat, sulakkeet ja niiden pitimet, moottorien suojalaitteet, riviliittimet ja virtakiskot.

Komponenttien SCCR-arvot löytyvät useimmiten niiden datalehdestä. Mikäli komponentin valmistaja ei ole ilmoittanut arvoa erikseen, käytetään arvona UL508A SB4.1-taulukon määrittelemää arvoa, joka on useimmiten todellista pienempi arvo. Komponenttivalmistaja on myös voinut testauttaa useamman komponentin kokonaisuuksille "Certification of Compliance (CoC)" SCCR-arvon, joka on suurempi kuin kokonaisuudessa käytettävien yksittäisten komponenttien SCCR- arvot. CoC-yhdistelmiin löytyy useimmilta komponenttivalmistajilta taulukot suunnittelun helpottamiseksi.

Tarkastelussa varmistetaan myös, että sulakkeiden läpi päästämä oikosulkuvirta on pienempi kuin samassa haarassa olevien laitteiden oikosulkuvirran kestävyys. Sulakkeen läpipäästämä virta luetaan sulakkeen datalehden kuvaajasta. Kun kaikkien branch-piirien SCCR-arvo on määritelty, valitaan kaapille tulevaisiksi arvoksi niistä pienin.

8.7 Jäähdyttimen mitoitus

Pääkeskuksen koko ja komponenttimäärä on suuri, joten jäähdyttimen tarvetta jouduttiin selvittämään. Selvitykseen käytettiin Rittalin Therm 6.6- sovelluksella. Ensin valittiin keskuksen malli, ja syötettiin jännite, taajuus, keskuksen asennuspaikka ja lämpötilarajat keskuksen sisällä ja ulkona. Tämän jälkeen selvitettiin komponenttien lämpöhäviöt tutkimalla niiden datalehtiä, ja yhteenlaskettu arvo syötettiin sovellukseen. Näiden tietojen perusteella sovellus laskee jäähdytystehon tarpeen, ja näyttää yhteensopivat jäähdytysratkaisut. Tulosten perusteella keskuksen lisättiin jäähdytyslaite, jonka teho oli vähintään yhtä suuri tarvittavan jäähdytystehon kanssa, ja oli saatavilla varastossa.

8.8 Layout-piirustukset

Layout-suunnittelun tavoitteena oli tehdä komponenttien sijoittelusta johdonmukainen asentajan työtä ajatellen. Tasavirta- ja vaihtovirtakomponentit pyritään pitämään erillään toisistaan, ja kentälle menevät lähdöt sijoitellaan pääsääntöisesti keskuksen alareunaan. Layout-kuvaan merkattiin pituudet kourujen välillä, sekä oveen tulevien painikkeiden ja merkkivalojen sijainti keskuksen reunoihin verrattuna helpottamaan asennustyötä. Layout-piirustus tehdään jokaiselle laitteeseen suunnitellulle keskukselle.

Kenttäväylärakenteesta tehtiin layout-kuvat, joissa yksiviivaesityksellä näytetään kenttäväylässä olevien laitteiden kytkentä, liitintyyppit sekä kaapelimallit. Kaikille kenttäväylille luodaan oma layout, ja samaan kuvaan piirretään sekä keskuksen sisäiset laitteet, että kenttälaitteet.

Laitteesta tehdään myös 3D-layout mekaniikkakuvien perusteella, josta selviää pääkeskuksen, ha-jautuskeskusten ja etä-IO-moduulien paikat kentällä. 3D-layoutiin merkataan myös magneettien numerointi ja koordinaatiston suunta, mikä havainnollistaa IO-tietoihin merkittyjä funktioita.

8.9 Hitsausvirtakaapelin mitoitus

Hitsauslaitteistona käytettiin Lincoln Electricin virtalähdettä ja hitsauspään langansyöttölaitetta. Hitsauskaapeli on rakenteeltaan erilainen verrattuna normaaliin syöttökaapeliin. Koska sähkövirta kulkee johtimien reunoja pitkin, saavutetaan maksimaalinen virransyöttökyky käyttämällä kaapelia, jossa on mahdollisimman suuri määrä pinta-alaltaan pienempiä johdinsäikeitä. Tämän vuoksi normaalit mitoitusäännöt eivät koske hitsauslaitteiston virtakaapelia.

Kaapelin mitta pyritään arvioimaan mahdollisimman tarkasti, sillä liian lyhyt kaapeli ei riitä kulkemaan koko hitsauskelkan liikerataa, mutta liian pitkistä aiheutuu turhia häviöitä, sillä hitsatessa käytettävä virta on todella suurta. Ylimääräistä kaapelia ei myöskään saa rullata kiepille. Kaapelin mitaksi lasketaan matka virtalähteeltä langansyöttölaitteen kautta hitsauspäälle, johon lisätään matka virtalähteeltä maadoituskiskon kautta työkappaleeseen. Mitoittamista varten löytyy Lincoln Electricin tekemä taulukko, jossa kaapelimitan, hitsausvirran ja pulssisuhteen perusteella valitaan kaapelille oikea poikkipinta-ala.

8.10 Turvalaitteet

Turvalaitteiden suunnittelu suoritetaan turvainsinöörin tekemän turvasuunnitelman perusteella. Turvasuunnitelmassa on määritelty turva-alueet, hätäseis-painikkeet, muut käytettävät turvalaitteet, kaikkien turvalaitteiden tunnuksat ja niiden sijainnit. Tunnusten perusteella laitteet kytketään turva-IO-korteille, ja niille annetaan turvasuunnitelman määrittelemät IO-tiedot sekä turva-alueet.

Hätäseis-painikkeilla halutaan pysäyttää laitteesta kaikki liike. Käytännössä tämä toteutettiin suunnitelmalla piiri siten, että moottoreiden ja etä-IO-moduulien kuormavirta katkeaa painiketta painettaessa. Hätäseispiirissä jokainen laite on kahden kontaktorin takana, jotta kontaktorin vikaantumisen aiheuttaman toimintahäiriön mahdollisuus minimoidaan. Taajuusmuuttajien takana olevien moottorien hätäseis toteutettiin erillisellä taajuusmuuttajaan lisättävällä turvamoduulilla, joka katkaisee syötön saadessaan turvalogiikalta signaalin.

8.11 Dokumentaatio

Dokumentaatiota tehdessä hyödynnettiin laajasti EPLANin raportointityökaluja, joiden avulla oikealla tavalla suunnitellusta työstä saadaan luotua makrojen avulla monipuolisesti hyödyllisiä raportteja.

Laitteesta luotiin seuraava dokumentaatio:

- Sähkökaavio
- Layout
- Osalista
- Riviliitinkaavio
- IO-lista
- Testaussuunnitelma

Lopuksi laitteesta luotiin projektikohtainen dokumentaatio yrityksen sisäiseen tietojärjestelmään. Kaikki opinnäytetyön aikana tehty dokumentaatio on salassa pidettävää tietoa, joten niitä ei voida esittää liitteenä yleisessä julkaisussa.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyötä tehdessä saavutettiin päätavoitteet. Laitteesta luotiin sähkökokoontamiseen tarvittavat piirikaaviot, sekä muu tarvittava dokumentointi. Hajautuskeskukseen liittyvä ongelma onnistuttiin ratkaisemaan muidenkin suunnitteluosastojen kannalta hyväksyttävällä tavalla. Sähkösuunnitelma onnistuttiin päivittämään modernimpaan ja helppolukuisempaan tyyliin, mikä mahdollistaa niiden tehokkaamman hyödyntämisen jatkossa saman mallisia laitteita suunnitellessa. Myös UL508A-standardiin tutustuttiin, ja suunnittelu tehtiin sen mukaisesti.

Työ antoi hyvät lähtökohdat työelämään siirtymisen kannalta. Suunnittelua tehdessä päästiin tekemään monipuolisesti lähes kaikkea, mitä sähkösuunnittelijan työnkuvaan kuuluu Pemamekissä. Yrityksen puolelta oltiin myös tyytyväisiä työn lopputulokseen, ja laite siirrettiin tuotantoon. Jatkotoimenpiteenä sähkökaavioihin tehdään tarvittavia muutoksia, mikäli niitä asennuksen aikana tarvitaan.

Työn teossa oli alussa haasteita. Työkokemusta oli ehtinyt kertyä vain alle kaksi kuukautta, minkä vuoksi työtahti oli verrattaen hidasta. Onneksi resursseja oli kuitenkin paljon hyödynnettävissä, sillä yrityksen sisäisen tietokannan kautta päästiin käsiksi vanhoihin sähkökuviin sekä ohjeistuksiin, ja osaavat kollegat sähkösuunnitteluosastolta osasivat auttaa ongelmien noustessa. Kirjalliseen osuuteen olisi kuitenkin pitänyt varata enemmän aikaa, sillä kokopäivätyön ohella kirjoittaminen oli yllättävän raskasta.

LÄHTEET

- ABB. (2023). *What is a variable speed drive?: ABB*. Retrieved from <https://new.abb.com/drives/what-is-a-variable-speed-drive>
- Analog Devices Inc. (2023). *What is a sensor?: Analog devices Inc*. Retrieved Huhtikuu 5, 2023, from <https://www.analog.com/en/design-center/glossary/sensor.html>
- EPLAN. (2023). *Tietoja meistä: EPLAN*. Retrieved Huhtikuu 27, 2023, from <https://www.eplan.fi/yritys/kuvaus/tietoa-meista/>
- EtherCAT Technology group. (2023). *EtherCAT-the Ethernet Fieldbus: EtherCAT technology group*. Retrieved from <https://www.ethercat.org/en/technology.html>
- International Society of Automation. (2003, 2 7). *Fundamentals of Servo Motion Control: International Society of Automation*. Retrieved from <https://www.automation.com/en-us/articles/2003-1/fundamentals-of-servo-motion-control>
- Marine Insight. (2022, 10 4). *Understanding Frames in Ships, Marine Insight*. Retrieved 3 12, 2023, from <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-frames-in-ships/>
- MaxBotix. (2023, Maaliskuu 1). *How ultrasonic sensors work: MaxBotix*. Retrieved Huhtikuu 6, 2023, from <https://maxbotix.com/blogs/blog/how-ultrasonic-sensors-work>
- Metropolia. (2010, Marraskuu 30). *Induktiivinen rajakytkin: Metropolia AMK*. Retrieved Huhtikuu 5, 2023, from <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Induktiivinen+rajakytkin>
- Omron. (2023). *Photoelectric Sensors: Omron*. Retrieved Huhtikuu 6, 2023, from <https://www.ia.omron.com/support/guide/43/introduction.html>
- SMC. (2011, Maaliskuu). *What are CSA Standards?: SMC*. Retrieved Huhtikuu 25, 2023, from <https://www.smcworld.com/overseas/international/en-jp/csa/print/csa01.html?print=true>
- Suomen Automaatioseura. (2013, Toukokuu 26). *Teollisuuden automaatio- ja ohjausjärjestelmät: Suomen Automaatioseura*. Retrieved Maaliskuu 29, 2023, from <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/standardikirja.pdf>
- UL. (2023). *Marks for North America*. Retrieved Huhtikuu 25, 2023, from <https://marks.ul.com/about/ul-listing-and-classification-marks/appearance-and-significance/marks-for-north-america/>
- UL508A. (2018, Huhtikuu 24). *Industrial Control panels*. Retrieved Huhtikuu 21, 2023, from https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL508A_3_S_20180424
- Underwriters Laboratories. (2023). *About: UL Solutions*. (Underwriters Laboratories) Retrieved Maaliskuu 6, 2023, from UL solutions- verkkosivusto: [UL.com/about](https://www.ul.com/about)