



Turvapiirimakrokirjasto EPLAN Electric P8 -suunnitteluohjelmalle ja koneturva- laskennat SISTEMA-ohjelmalla

Hermann Luosujärvi

Opinnäytetyö
Toukokuu 2023
Tekniikan ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka

Luosujärvi Hermann

Turvapiirimakrokirjasto EPLAN Electric P8 -suunnitteluohjelmalle ja koneturvalaskennat SISTEMA-ohjelmalla

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2023, 66 sivua.

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyö toteutettiin työn toimeksiantajalle Etteplanille. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan sähkösuunnittelua luomalla EPLAN Electric P8 -sähkösuunnitteluohjelmalle makrokirjasto erilaisista turvapiireistä. Makrokirjaston piireille haluttiin tehdä myös toiminnallisen turvallisuuden laskut SISTEMA-suunnitteluohjelmalla. Toimeksiantaja oli huomannut, että suunnittelutyötä pystyisi tekemään projekteissa tehokkaammin, jos heidän käytössään oleva suunnittelumateriaali olisi laajempi etenkin turvapiirien osalta.

Opinnäytetyö aloitettiin luomalla makrokirjasto makroprojektiin Electric P8 -ohjelmalla. Kirjastoon luotiin turvapiirejä eri valmistajien turvareleista, ohjelmoitavista turvareleista, turvalogiikoista, valoverhoista sekä turvapulssiantureista. Makrokirjaston turvapiireistä tehtiin myös toiminnallisen turvallisuuden laskut SISTEMA-ohjelmalla. SISTEMA-laskut on toteutettu standardin EN ISO 13849-1 mukaisesti. Kirjaston ja lasujen luomisen jälkeen luotiin vielä ylläpito-ohjeet turvapiirimakrokirjaston ylläpitämiseksi.

Turvapiirimakrokirjasto saatiin valmiiksi tavoitteiden mukaisesti ja kirjasto materiaaleineen otetaan toimeksiantajalla käyttöön toimeksiantajan määrittämällä aikataululla. Opinnäytetyö jatkoi toimeksiantajalla jo olemassa olevaa makrokirjastoa lisäämällä kirjastoon turvapiirejä. Opinnäytetyön jatkokehityskohteita ovat esimerkiksi makrokirjaston laajentaminen turvapiirien tai muiden piirikaavioiden osalta sekä makrokirjaston sisällön yhdenmukaistaminen.

Avainsanat (asiasanat)

Sähkösuunnittelu, koneturvallisuus, toiminnallinen turvallisuus, EPLAN, SISTEMA

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteet 1–4 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohdat 17 ja 20, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 26.5.2028. Liitteinä ovat turvapiirimakrokirjasto, osaluettelo, SISTEMA-projektin raportti ja ylläpito-ohjeet, yhteensä 29 sivua.

Luosujärvi Hermanni

Control system macro library for EPLAN Electric P8 design software and machine safety calculations for SISTEMA software

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 66 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Electrical and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The bachelor's thesis was done for Etteplan. The goal of the thesis was to develop the client's electrical engineering process by creating a safety circuit macro library of different safety circuits for EPLAN Electric P8 engineering software. Calculations of functional safety were also to be done for the safety circuits in macro library with SISTEMA software. The client had noticed that their engineering work during projects could be more efficient if their designing material was more complete particularly regarding safety circuits.

The thesis begun with the creation of the macro library in EPLAN Electric P8 macro project. Different kinds of safety circuits of safety relays, programmable safety relays, safety logics, light curtains and safety encoders from different manufacturers were included in the library. Functional safety calculations were also done of the safety circuits in the library with SISTEMA software. The calculations were made according to standard EN ISO 13849-1. Instructions for upkeeping of the library was also made after creating the library and the calculations.

The safety circuit macro library was made according to the goals set for the thesis and the library will be taken in use by the client in their own schedule. The thesis continued already existing macro library of the client by adding various safety circuits in the library. Further development can be done by expanding the library with more safety circuits or other circuits. The contents of the macro library could also be made more unified across the board.

Keywords/tags (subjects)

Electrical engineering, machine safety, functional safety, EPLAN, SISTEMA

Miscellaneous (Confidential information)

Appendixes 1–4 are confidential and have been removed from public work. The grounds for secrecy, Section 24 of Act No 621/1999, sections 17 and 20, private business secret. The holding period lasts five (5) years, the secrecy expires on 26.5.2028. The appendixes consist of safety circuit macro library, part list, report of SISTEMA project and instructions for upkeeping, total of 29 pages.

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Opinnäytetyön aihe.....	3
1.2	Etteplan	4
2	Tutkimusasetelma	6
3	Sähkösuunnittelu.....	8
3.1	EPLAN	8
3.2	Electric P8 -suunnitteluohjelma	9
3.3	Makrot Electric P8 -ohjelmassa.....	11
4	Koneturvallisuus	14
4.1	Toiminnallinen turvallisuus	14
4.2	Suoritustaso PL.....	15
4.3	SISTEMA-laskentaohjelmisto.....	24
5	Työn toteutus	27
6	Tulokset.....	31
7	Pohdinta.....	32
	Lähteet	33
	Liitteet	35
	Liite 1. Electric P8 turvapiirimakrokirjasto (salassa pidettävä)	35
	Liite 2. Makrokirjaston osaluettelo (salassa pidettävä)	36
	Liite 3. SISTEMA-projektin raportti (salassa pidettävä)	37
	Liite 4. Makrokirjaston ylläpito-ohjeet (salassa pidettävä).....	38

Kuviot

Kuvio 1.	Etteplanin logo	4
Kuvio 2.	EPLANin logo	8
Kuvio 3.	Friedhelm Loh Group logo ja siihen kuuluvat yritykset	8
Kuvio 4.	Piirikaavio EPLAN:in esimerkkiprojektista.....	10
Kuvio 5.	Makro- ja schematic-projektien eroavaisuuksia.	12
Kuvio 6.	Macro box ominaisuudet	13
Kuvio 7.	Kuvaaja vaadittavan suoritustason PLr määrittämiseksi turvatoiminnolle	15
Kuvio 8.	Suoritustasot PL	16
Kuvio 9.	Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika $MTTF_D$	17
Kuvio 10.	Diagnostiikan kattavuus DC	18

Kuvio 11. Luokkien B ja 1 mukainen nimetty rakenne.....	19
Kuvio 12. Luokan 2 mukainen nimetty rakenne	20
Kuvio 13. Luokan 3 mukainen nimetty rakenne	21
Kuvio 14. Luokan 4 mukainen nimetty rakenne	22
Kuvio 15. Luokkien, $MTTF_D$ - ja DC_{avg} -arvojen keskinäinen suhde ja suoritustaso PL	23
Kuvio 16. Yksinkertainen menettelytapa turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien saavuttaman suoritustason PL määrittämiseksi	23
Kuvio 17. SISTEMA-ohjelman käyttöliittymä	25
Kuvio 18. SISTEMA kirjastojen käyttöliittymä	26
Kuvio 19. PNOZ X2.8P 24VACDC turvareleen makro	28
Kuvio 20. SISTEMA-projekti makrokirjastoa varten	29

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön aihe

Turvallisuus on tärkeä asia meille kaikille. Teollisuudessa turvallisuus pitää ottaa huomioon kaikissa työn vaiheissa esisuunnittelusta koneen ajamiseen asti, sähkösuunnittelu mukaan lukien. Koneen käytön turvallisuutta voidaan varmistaa suunnittelemalla käytössä olevat koneet ja laitteet kansainvälisten turvallisuusstandardien ja -direktiivien mukaisesti, ja varmistamalla, että suunnittelijat osaavat soveltaa näitä standardeja oikeaoppisesti. Sähkösuunnittelussa turvallisuus esiintyy monissa muodoissa, joista yksi on turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmät ja niiden osat. Näihin luokituvat olennaisesti opinnäytetyössä käsiteltävät turvapiirit ja turvalaitteet.

Opinnäytetyön toimeksiantaja Etteplan oli huomannut, että heillä sähkösuunnittelua voitaisiin kehittää turvapiirien osalta. Kaikessa suunnittelussa, kuten myös sähkösuunnittelussa, suunnittelun työteho paranee huomattavasti mitä enemmän suunnittelussa tarvittavaa materiaalia on jo valmiiksi olemassa. Toimeksiantajalla oli jo valmiita materiaalia sähkösuunnittelua varten, mutta turvallisuuteen liittyvää suunnittelumateriaalia pystyi vielä kehittämään eteenpäin.

Työn tavoitteena oli luoda opinnäytetyön toimeksiantajalle sähkösuunnitteluohjelma EPLAN Electric P8:lle valmiita turvapiirimakroja tulevia projekteja varten. Turvapiireille oli tarkoitus luoda myös valmiit koneturvalaskennat SISTEMA-ohjelmalla. Makrokirjastolle ja siihen sisältyvälle materiaalille tuli myös luoda ylläpitosuunnitelma tulevaisuutta varten.

Opinnäytetyö toteutettiin luomalla makrokirjasto EPLAN Electric P8 -ohjelmaa varten yleisimmistä koneturvapiireistä. Makrokirjastoon sisällytettiin turvareleitä, ohjelmoitavia turvareleitä, turvalogiikkaa sekä muutamia turvalaitteita esimerkiksi valoverhoja. Turvapiirien osiksi ja komponenteiksi valittiin pääsääntöisesti yleisimpiä käytettyjä turvalaitteita tunnetuilta valmistajilta. Näille piireille tehtiin myös valmis SISTEMA-projekti ja siihen toiminnallisen turvallisuuden suoritusastan laskut jokaiselle turvapiirille, jotta ne olisivat valmiita käyttöön, kun niitä tulevaisuuden projekteissa tarvitaan. Näiden lisäksi makrokirjastolle tehtiin myös suunnitelma kirjaston ylläpitämiseksi.

1.2 Etteplan

Etteplan on teknologiapalveluyhtiö, joka tarjoaa ohjelmisto- ja sulautettujen järjestelmien ratkaisuja, laite- ja laitossuunnitteluratkaisuja sekä teknisen dokumentoinnin ratkaisuja. Etteplanilla on tällä hetkellä yli 4000 työntekijää ympäri maailmaa. Etteplanin toimistoja löytyy 8 eri maasta, muun muassa Suomesta, Ruotsista, Saksasta ja Kiinasta. (Tietoa meistä, n.d.) Suomessa Etteplanin toimistoja löytyy paikkakunnilta Espoo, Hyvinkää, Hämeenlinna, Iisalmi, Imatra, Joensuu, Jyväskylä, Kajaani, Kemi, Kokkola, Kotka, Kouvola, Kuopio, Lahti, Lappeenranta, Oulu, Pori, Raahe, Seinäjoki, Tampere, Turku, Vaasa ja Vantaa (Etteplanin toimistot maailmalla n.d.). Etteplanin logo on nähtävissä kuviossa 1.



Kuvio 1. Etteplanin logo (Tietoa meistä n.d.)

Etteplanin logo kuviossa 1 sisältää Etteplanin nimen kirjoitettuna Etteplanin brändin mukaisesti vaaleansinisellä värillä. Logossa oleva symboli koostuu yrityksen nimen alkuosasta Ette, joka tulee yrityksen perustajien etunimistä Ensio Juotasniemi, Tero Elomaa, Tapani Mönkkönen ja Esko Poltto (Etteplanin historia n.d.).

Etteplan on perustettu vuonna 1983 Hollolassa ja se täyttää tänä vuonna 40 vuotta. Vuonna 1998 Etteplanin työntekijämäärä kasvoi 500 henkilöön ja vuonna 2000 Etteplan listautui Helsingin Pörsssiin. Etteplan on kasvanut vuosien aikana myös useiden yrityskauppojen myötä, mm. LCA Consulting Oy, Cognitas GbmH sekä Syncore Technologies Ab. Etteplania on jo kymmenen vuoden ajan johtanut toimitusjohtaja Juha Näkki. (Etteplanin historia n.d.)

Etteplanilla monia itsenäisiä toimistoja ympäri maailmaa, joissa työskennellään useissa osastoissa. Esimerkiksi Vaajakosken toimistolla on sähkö- ja mekaniikkasuunnittelua sekä teknistä dokumen-

tointia. Suunnittelutehtävissä toimivat työntekijät ovat pääsääntöisesti insinöörejä. Työn tekeminen tapahtuu projektiluontoisesti. Projektilla on aina projektin johtaja, joka ohjaa ja huolehtii projektin etenemisestä sekä jakaa työtehtävät suunnittelijoille.

Etteplanin liikevaihto vuonna 2022 oli 350,2 miljoonaa euroa, josta voittoa oli 18,2 miljoonaa euroa. Liikevaihdon kasvu edelliseen vuoteen verrattuna oli 16,7 %. Vaikka liikevaihto kasvoi, voitto laski 9,4 %. (Talouskatsaus 2022 n.d.).

2 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ja parantaa toimeksiantajan suunnitteluprosessia. Toimeksiantaja oli huomannut, että suunnittelutyötä pystyisi tekemään projekteissa tehokkaammin, jos heidän käytössään oleva suunnittelumateriaali olisi laajempi etenkin turvapiirien osalta. Opinnäytetyön tutkimustavoitteista johdettiin tutkimuskysymys.

- Miten sähkösuunnitteluprosessia voidaan kehittää tehokkaammaksi koneturvallisuuden näkökulmasta?

Työ toteutettiin tutkimuksellisena kehittämistyönä. Pernaan mukaan (2013) kehittämistutkimus alkaa ongelma-analyysillä, jonka tavoitteena on saada selville kehittämisen tarpeet. Tämän jälkeen luodaan kehittämissuunnitelma, jota päivitetään jatkuvasti kehitystyön mennessä eteenpäin. Tutkimuksen eteneminen on iteratiivinen prosessi, joka koostuu kehittämissykleistä. Kehittämissykli puolestaan koostuu kehittämis-, arviointi- ja raportointivaiheista, joiden mukaan kehittämissuunnitelmaa päivitetään ja tutkimusta viedään eteenpäin. Syklit toistuvat, kunnes päästään haluttuun lopputulokseen. (Perna 2013, 7–8.)

Tutkimusta voidaan pitää luotettavana, sillä sen tekeminen perustuu ympäri maailmaa käytössä oleviin hyväksytyihin standardeihin. Opinnäytetyö on toteutettu teollisuudessa laajasti käytössä olevilla ohjelmistoilla, joita voidaan pitää myös luotettavina. Työssä käytettävien turvakomponenttien tietoja tutkiessa on suotavaa olettaa, että komponenttivalmistajat vastaavat tietojensa paikkaansa pitävyydestä. Ohjelmistojen sivuilta tietoa etsiessä on hyvä noudattaa lähdekritiikkiä, sillä usein ohjelmistojen valmistajat ymmärrettävästi ylistävät omia tuotteitaan ylitse kilpailijoiden tuotteiden. Toimeksiantajan on myös tarkistanut opinnäytetyön sisällön ja se todettu käyttökelpoiseksi ja luotettavaksi.

Opinnäytetyössä jatkettiin Elias Lehtolan (2022) aloittamaa makrokirjastoa hänen omassa opinnäytetyössään ”EPLAN-ohjelmiston käytön kehittäminen ja sen kytkös Teollisuus 4.0”. Lehtolan keskittyi työssään moottoriohjauksien, ohjelmoitavien logiikoiden sekä jännitteenjaon tekemiseen makrokirjastoon. Lehtola tutki myös Teollisuus 4.0 -konseptin hyödyntämistä EPLAN-ohjelmistoissa makrokirjaston lisäksi.

EPLAN Electric P8 -suunnitteluohjelmasta ja makrokirjastojen luomisesta on tehty opinnäytetöitä aikaisemminkin. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi jo edellä mainittu Elias Lehtolan (2022) opinnäytetyö, sekä Aleksi Kopsen (2022) tekemä opinnäytetyö, jossa käsiteltiin EPLAN Electric P8 -ohjelman osatietokannan päivittämistä, sekä macro-, form- ja plot frame -kirjastojen luomista. Myös Anton Niittyaron (2021) tekemä opinnäytetyö liittyy samaan aiheeseen. Niittyaron opinnäytetyössä tutkittiin osatietokannan ja makrojen luomista, projektien modulaarisuutta sekä tiedon siirtoa Exceliin. Edellä mainituissa opinnäytetöissä ei ole käsitelty aiheita turvallisuuden näkökulmasta. Opinnäytetyöt ovat luettavissa Theseus-palvelussa.

3 Sähkösuunnittelu

3.1 EPLAN

EPLAN on vuonna 1984 perustettu saksalainen yhtiö, joka tarjoaa ohjelmistoja sekä palveluita sähkö- ja automaatio suunnitteluun. EPLANilla on yli 1200 työntekijää 50 eri sijainnissa ympäri maailmaa ja EPLANilla on yhteensä yli 65000 asiakasta ympäri maailmaa. Kuviossa 2 on EPLAN yhtiön logo.



Kuvio 2. EPLANin logo (About Us n.d.)

EPLANin logossa kuviossa 2 näkyy alhaalla kokoelma värejä, mikä viittaa EPLAN yhteistyöhön muihin EPLANin emoyhtiön yrityksiin, jotka mainitaan seuraavassa kappaleessa. Muiden tytäryhtiöiden logot ovat myös näkyvillä kuviossa 3.



Kuvio 3. Friedhelm Loh Group logo ja siihen kuuluvat yritykset (The Company n.d.)

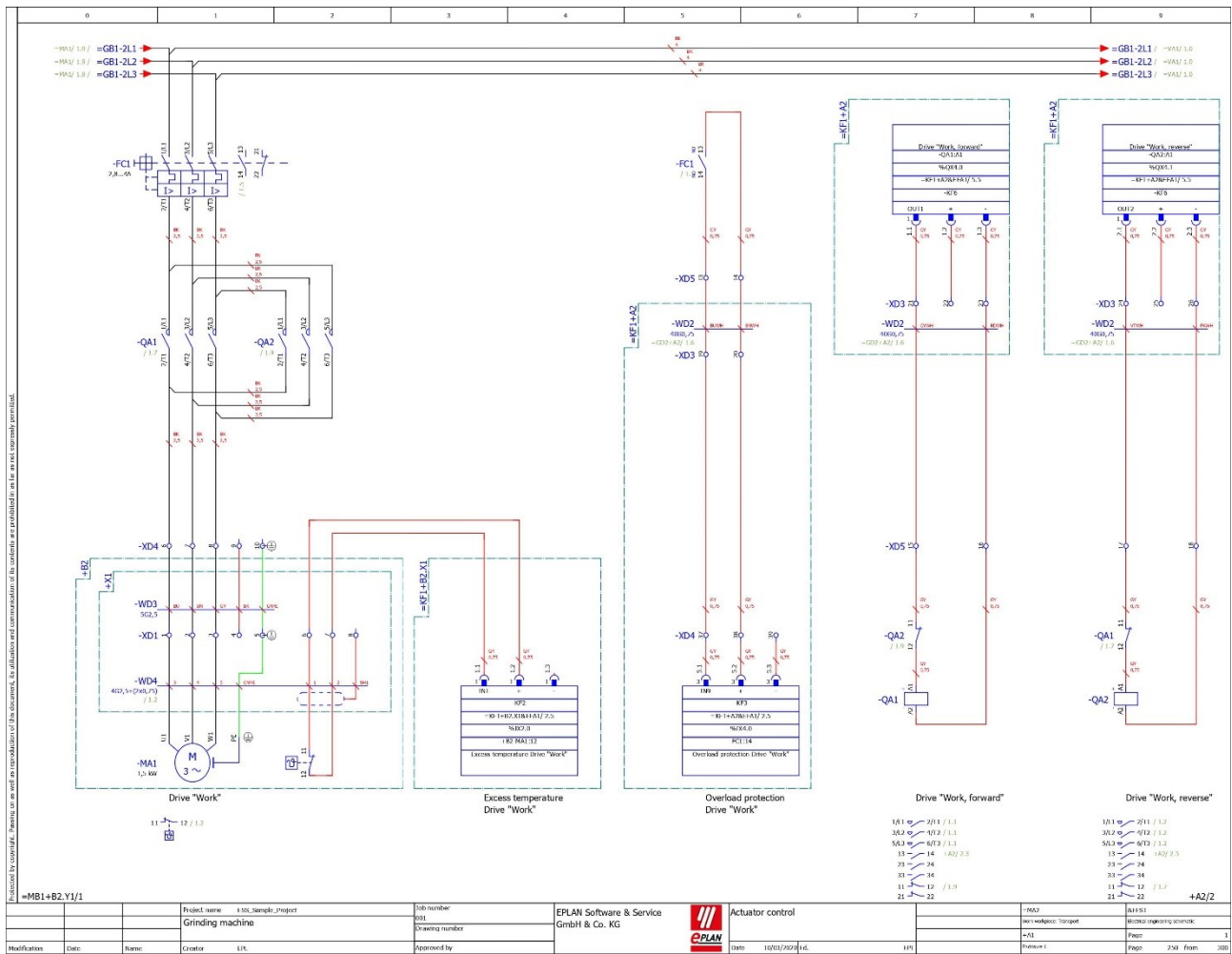
EPLAN kuuluu Friedhelm Loh Groupiin (myöhemmin viitattu FLG), jolla on yhteensä yli 12000 työntekijää maailmanlaajuisesti. FLG liiketulot olivat 3 miljardia euro vuonna 2022. FLG voitti vuonna 2022 Top Employers Institute -organisaation myöntämän Top German Employer palkinnon 14. kerran peräkkäin. (About Us n.d.) FLG:iin kuuluu myös Rittal, Stahlo, German Edge Cloud (GED), LKH ja CIDEON yritykset. FLG-logo löytyy kuvioista 3 tytäryhtiöineen.

EPLANin tarjoamiin ohjelmistoihin ja palveluihin kuuluu ohjelmistoalusta EPLAN Platform. EPLAN Platform ohjelmistoalusta sisältää seuraavat ohjelmat ja ominaisuudet:

- Electric P8
 - Pro Panel
 - Smart Mounting
 - Smart Wiring
 - Preplanning
 - Fluid
 - Engineering Configuration
 - Cogineer
 - Harness proD
 - PDM/PLM Integration
 - eMANAGE
 - eVIEW
 - eBUILD
 - eSTOCK
 - Data Portal.
- (Solutions n.d.)

3.2 Electric P8 -suunnitteluohjelma

EPLAN Electric P8 on koneiden ja laitteistojärjestelmien sähkösuunnitteluun tarkoitettu CAE-ohjelma (Computer Aided Engineering), jota käytetään piirikaavioiden piirtämiseen. Kuviossa 4 nähdään esimerkki piirikaaviosta. Piirikaavioiden symbolit kytkeytyvät loogisesti toisiinsa automaattisesti, mikä parantaa suunnittelun laatua ja nopeuttaa työn tekemistä. Electric P8 voi luoda myös raportit automaattisesti, toisin kuin tavallisissa CAD-ohjelmissa (Computer Aided Designing). Luotavia raportteja ovat esimerkiksi riviliitin-, johdin- ja osaluettelot. (EPLAN Electric P8 n.d.)



Kuvio 4. Piirikaavio EPLAN:in esimerkkiprojektista

Kuviossa 4 on EPLANin esimerkkiprojektin sivu, jossa on piirikaavio moottorin ohjauksesta hyödyntäen ohjelmoitavaa logiikkaa. Piirikaaviossa kuvataan suunnanvaihtokontaktoreilla toteutettu moottorilähtö ja sen kytkennät.

Makroteknologian avulla valmiita piirikaavioita voi tallentaa erillisiin makroiin ja niitä voi hyödyntää projekteissa helposti Drag-&Drop -tekniikalla. Makroiin voidaan tallentaa Placeholder-tekniikan avulla valmiita datasettejä, esimerkiksi useita variaatioita samasta komponentista. Makroteknologialla helpotetaan, nopeutetaan ja standardisoidaan suunnitteluprosessia. (EPLAN Electric P8 n.d.) Opinnäytetyö pohjautuu edellä mainittuun makroteknologiaan ja sen hyödyntämiseen sähkösuunnittelussa, josta kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

Electric P8 ohjelmassa on käytössä myös massamuokkaustoimintoja, kuten ”etsi ja korvaa” sekä ”muokkaa Excelissä”, jotka myös auttavat suunnittelun nopeuttamisessa sekä suunnittelun laadun parantamisessa. Electric P8 tukee eri standardeja, kuten IEC-, NFPA-, GOST- sekä GB-standardeja. Projekteja pystyy kääntämään eri kielille ohjelmassa mukautettuihin käännöstietokantoihin perustuvan Unicode-ominaisuuden avulla. Ohjelmaversioita löytyy 2.4–2.9 sekä 2022 ja uusin 2023. (EPLAN Electric P8 n.d.) Opinnäytetyössä käytetään versiota 2.9.

3.3 Makrot Electric P8 -ohjelmassa

EPLAN Electric P8 -ohjelmassa makrot ovat valmiiksi luotuja piirikaavioita tai komponenttisympoleja, joita voi tuoda omiin Electric P8 -projekteihinsa. Komponenttivalmistajat voivat luoda omat makronsa omista komponenteistaan ja käyttäjä voi ladata makrot valmistajien nettisivuilta tai helpommin suoraan Electric P8 -ohjelmaan integroidusta EPLAN Data Portal -palvelusta, jos valmistaja on komponentin tiedot makroineen sinne ladannut (Gischel 2016, 541). Makroja on olemassa kolmea erilaista:

- Window
- Symbol
- Page.

Window-makrot voivat sisältää yhden tai useamman komponentin sekä niiden kytkennät. Window-makro asetetaan jo valmiina olemassa olevalle sivulle ja näiden tiedostopäätte on .ema. Symbol-makrot ovat käytännössä identtisiä window-makrojen kanssa, mutta niissä on suositeltavaa säilyttää nimensä mukaisesti vain yhden komponentin tiedot. Symbol-makrojen tiedostopäätte on .ems. (Gischel 2016, 268–270.) Opinnäytetyössä käytetään ja luodaan makrokirjastoon pelkästään window-makroja.

Page-makrot ovat window- ja symbol-makroja suurempia kokonaisuuksia. Page-makrot sisältävät edellä mainittujen komponenttien sekä kytkentöjen lisäksi kokonaisia sivuja sekä sivujen asetukset. Page-makroja tuotaessa projektiin ohjelma luo makroon sisältyvät sivut projektiin eikä niitä tuoda olemassa oleville sivuille, toisin kuin window- ja symbol-makrot. Page-makrojen tiedostopäätte on .emp. (Gischel 2016, 270–272.)

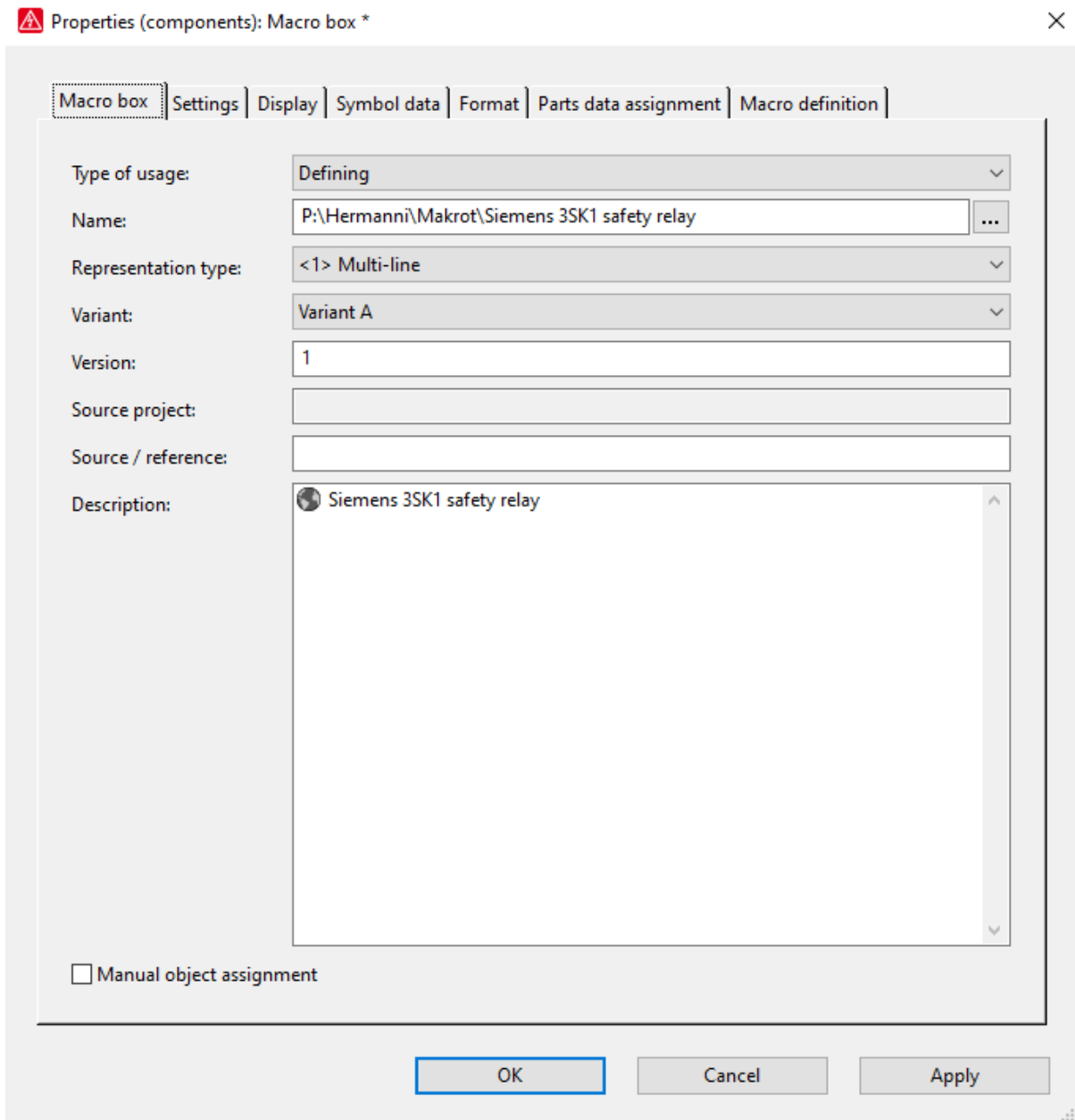
Vaikka makroja voi luoda myös ilman makroprojektia, makrojen ylläpitämiseen on suositeltavaa luoda makroprojekti. Makroprojekti eroaa hieman tavallisesta schematic-projektista (ks. kuvio 5).

Functionality	Schematic project	Macro project
Group device	-	X
Inserting Drilling Pattern Frames	-	X
Inserting a macro box	-	X
Generating macros from a macro project	-	X
Preparing macros for automatic generation	-	X
Creating drilling patterns / outlines from graphical pages	-	X
Assign all the objects of the macro to the placeholder object	-	X
Delete placement	X	-
Global Editing	X	-

Kuvio 5. Makro- ja schematic-projektien eroavaisuuksia. (Macro projects n.d.)

Kuviossa 5 on schematic-projektin ja makroprojektin eroja, joista tärkeimpänä voidaan pitää makrojen generoimista macro boxin avulla. Makroprojektissa makroja voi luoda monta kerrallaan massana, kun taas tavallisissa projekteissa makrojen luominen tapahtuu yksi kerrallaan ilman macro boxia.

Makroprojektissa window- ja symbol-makrojen luominen tapahtuu macro box -ominaisuuden avulla. Window- ja symbol-makrot luodaan piirtämällä haluttu piirikaavio komponentteineen ja kytkentöineen macro boxin sisälle. Kuvio 6 sisältää macro boxin ominaisuuksia.



Kuvio 6. Macro box ominaisuudet

Macro boxin ominaisuuksista voidaan määrittellä makron nimi, tallennussijainti, esitystyyppi, variantti, versio ja kuvaus, kuten kuviossa 6 näkyy. (Gischel 2016, 255–264.) Vaikka Gischel (2016, 270) väittää, että variantteja olisi 16 kappaletta, yhteen makrotiedostoon voidaan tallentaa jopa 26 eri varianttia samasta makrosta kirjaintunnuksilla A:sta Z:taan (EPLAN Electric P8 n.d.). Macro box ei tule näkyviin makroa tuotaessa schematic-projekteihin, ellei sitä erikseen macro boxin ominaisuuksista määrittellä tulemaan näkyviin (Gischel 2016, 264).

4 Koneturvallisuus

Konedirektiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY on koneturvallisuuteen liittyvä direktiivi, jossa määritellään koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Konedirektiivi koskee koneita, käsikäyttöisiä tunkkeja ja vinssejä, turvakomponentteja, nostoapuvälineitä, nostoketjuja, -köysiä ja -vöitä sekä nivelakseleita. Direktiivi ei koske kuitenkaan aseita, tieliikenteeseen tarkoitettuja ajoneuvoja, kodinkoneita, audio- ja videolaitteita, tietotekniikkaa tai toimistokoneita. Direktiivi on suunnattu koneiden valmistajille, joiden vastuulla on täyttää valmistettavan laitteen turvallisuusmääräykset. Suomessa konedirektiivi on otettu käyttöön koneasetuksella eli valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008. (Koneita koskevat vaatimukset n.d.)

Koneen valmistajan on suoritettava riskiarviointi, jotta voidaan määrittää koneeseen sovellettavat turvallisuus- ja terveysvaatimukset. Riskiarvioinnin jälkeen kone on suunniteltava ja rakennettava riskien arvioinnit sekä turvallisuus- ja terveysvaatimukset huomioiden. (Direktiivi 2006/42/EY, 35.)

Turvakomponentiksi luokitellaan komponentti, joka toimii turvatoiminnon toteuttamiseksi, joka on saatettu markkinoille itsenäisesti, jonka vikaantuminen ja/tai toimintahäiriö vaarantaa henkilöiden turvallisuuden ja joka ei ole välttämätön koneen toimimisen kannalta tai joka voidaan korvata tavanomaisilla komponenteilla koneen toimimiseksi. (Direktiivi 2006/42/EY, 28.) Turvakomponentteja ovat esimerkiksi logiikkayksiköt koneiden turvatoimintojen varmistamiseen, hätäpysäytyslaitteet, erilaiset suojuukset sekä henkilöiden nostamiseen ja/tai laskemiseen tarkoitettujen koneiden turvakatkaisimien tyyppiset sähköiset turvalaitteet, joissa on elektronisia komponentteja. (2006/42/EY, 69.)

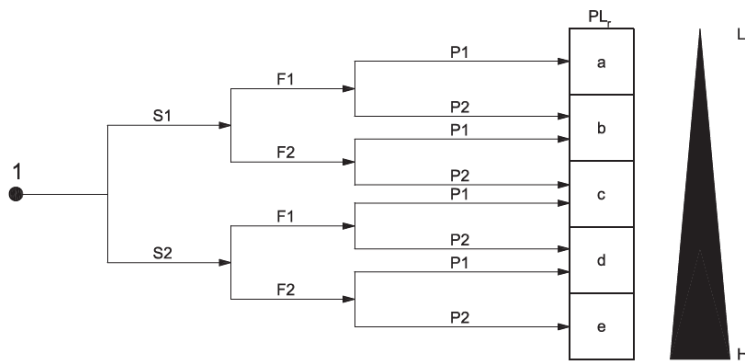
4.1 Toiminnallinen turvallisuus

Toiminnallinen turvallisuus kuvaa järjestelmän kokonaisuudesta sitä osaa, joka on riippuvainen turvallisuudesta vastaavan ohjausjärjestelmän oikeanlaisesta toiminnasta. Toiminnalliseen turvallisuuteen vaikuttavia komponentteja ovat muun muassa hätäpysäytykset, turvaportit, valoverhot ja pyörimisnopeusvahdit. Toiminnallisen turvallisuuden vaatimukset järjestelmälle laaditaan riskiarvioinnin avulla, mikä puolestaan tehdään standardien EN ISO 12100 ja EN ISO 13849 tai EN IEC 62061 avulla. (Toiminnallinen turvallisuus n.d.)

Toiminnalliselle turvallisuudelle on olemassa kaksi eri lähestymistapaa, jotka ovat turvallisuuden eheystaso SIL (Safety Integrity Level) sekä suoritustaso PL (Performance Level). SIL määritellään EN IEC 62061 standardin avulla ja PL määritellään EN ISO 13849 standardin avulla. EN IEC 62061 standardia voidaan käyttää vain sähköisiin, elektronisiin sekä ohjelmoitaviin elektronisiin järjestelmiin, kun taas EN ISO 13849 standardia voidaan käyttää edellä mainittujen lisäksi myös hydraulisiin, pneumaattisiin ja mekaanisiin järjestelmiin. (Toiminnallinen turvallisuus n.d.) Opinnäytetyössä keskitytään PL suoritustasoluokitukseen, sillä sitä käytetään huomattavasti enemmän toimeksiantajan projekteissa verrattuna SIL luokitukseen.

4.2 Suoritustaso PL

Kun toiminnallista turvallisuutta käsitellään standardin EN ISO 13849 avulla, riskiarvioinnin jälkeen turvatoiminnolle tulee määrittää vaadittu suoritustaso PL_r (Required Performance Level), joka on osa vaatimusmäärittelyä. PL_r asettaa riskinvähennykselle vaadittavan suoritustason eli tavoitearvon, johon suunnittelussa pitää päästä. Turvatoiminnon vaadittavan suoritustason määrittely tapahtuu muuttujien S, F ja P valinnalla, jotka näkyvät kuviossa 7. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 53–55.)



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

Kuvio 7. Kuvaaja vaadittavan suoritustason PL_r määrittämiseksi turvatoiminnolle (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 55)

S tarkoittaa vamman vakavuutta, jolla on kaksi arvoa. S1 on lievä, tavallisesti palautuva vamma ja S2 on vakava, tavallisesta palautumaton tai kuolemaan johtava vamma. F tarkoittaa vaaralle altistumisen taajuutta ja/tai kestoja, jonka arvot ovat F1 eli altistuminen harvoin ja/tai lyhyt altistumisaika sekä F2 eli altistuminen toistuvasti ja/tai pitkä altistumisaika. P on vaarallisen tapahtuman välttämisen mahdollisuus ja esiintymistodennäköisyys, jonka arvoina on P1 eli vaaran välttäminen on mahdollista tietyissä olosuhteissa sekä P2 eli vaaran välttäminen on tuskin mahdollista. PL_r valitaan riskimuuttujien sekä EN ISO 13849-1 standardin liitteestä A löytyvän kuvaajan avulla, joka on esillä kuviossa 7. Esimerkiksi turvatoiminto, jonka riskimuuttujat ovat S1, F2 ja P2, PL_r arvoksi saadaan c kuvaajasta katsomalla. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 53–55.)

Vaatimusmäärittelyn jälkeen voidaan aloittaa suunnittelu ja arviointi. Suoritusasoja PL (Performance Level) on viisi kappaletta, jotka ovat a, b, c, d, ja e, joista a on alin ja e ylin. PL määritellään vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan todennäköisyys tuntia kohden PFH_D arvon avulla kuvion 8 mukaisesti. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 19.)

PL	Vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan todennäköisyys tuntia kohden (PFH _D) 1/h
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ to $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$

Kuvio 8. Suoritusasot PL (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 19)

Kuviossa 8 on suoritusasojen arvot PFH_D arvon mukaisesti lueteltuna. Luokassa a keskimääräisen vikaantumisaajan todennäköisyys on suurin ja luokassa e se on pienin.

Suoritusaso PL saadaan määriteltyä arvioimalla näkökohdat:

- Vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika MTTF_D jokaiselle yksittäiselle komponentille
- Diagnostiikan kattavuus DC
- Yhteisvikaantuminen CCF
- Rakenne
- Turvatoiminnon käyttäytyminen vikatilanteessa

- Turvallisuuteen liittyvä ohjelmisto
- Systemaattinen vikaantuminen
- Kyky toteuttaa turvatoiminto ennakoitavissa olevissa ympäristöolosuhteissa.

Nämä näkökohdat voidaan jakaa määrällisiin ja ei-määrällisiin näkökohtiin. Määrällisiä näkökohtia näistä ovat $MTTF_D$, DC, CCF sekä rakenne. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 23–24.)

Vaaralliselle keskimääräiselle vikaantumisajalle $MTTF_D$ on määritettävissä kolme eri tasoa, jotka ovat pieni, keskitaso ja suuri. Kuviossa 9 on lueteltu kyseiset $MTTF_D$ tasot. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 25–26.)

$MTTF_D$	
Kunkin kanavan merkintä	Kunkin kanavan vaihteluväli
Pieni	$3 \text{ vuotta} \leq MTTF_D < 10 \text{ vuotta}$
Keskitaso	$10 \text{ vuotta} \leq MTTF_D < 30 \text{ vuotta}$
Suuri	$30 \text{ vuotta} \leq MTTF_D < 100 \text{ vuotta}$

Kuvio 9. Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika $MTTF_D$ (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 25)

$MTTF_D$ on määritettävä turvatoiminnon jokaiselle kanavalle. $MTTF_D$ enimmäisarvo on 100 vuotta, kuten kuviossa 9 näkyy, paitsi jos ohjausjärjestelmän luokka on 4. Luokan 4 ohjausjärjestelmälle enimmäisarvo on 2500 vuotta. $MTTF_D$ tiedot saadaan suoraan komponenttivalmistajalta, laske-
malla standardin ISO 13849-1 liitteiden C ja D ohjeiden mukaisesti tai valitsemalla 10 vuotta. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 25–26.) Opinnäytetyössä kaikki laskut on toteutettu SISTEMA-ohjelmalla komponenttivalmistajien tietojen mukaan.

Diagnostiikan kattavuus tarkoittaa montako prosenttia vikaantumisista järjestelmä havaitsee (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 13). Diagnostiikan kattavuudella DC on neljä eri tasoa, jotka ilmaistaan kuvion 10 osoittamalla tavalla. DC voidaan arvioida standardin ISO 13849-1 liitteen E taulukon mukaisesti, joka löytyy myös SISTEMA-ohjelmasta. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 26.) Jos järjestelmässä on käytetty useampia toimenpiteitä vikojen paljastamiseksi, sille pitää laskea keskimääräinen diag-

nostiikan kattavuus DC_{avg} . Tämä saadaan laskettua standardin ISO 13849-1 liitteen E kaavan mukaisesti. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 72.) Opinnäytetyössä DC_{avg} laskut tapahtuvat SISTEMA-ohjelmalla.

Diagnostiikan kattavuus (DC)	
Merkintä	Vaihtelualue
Ei lainkaan	$DC < 60 \%$
Matala	$60 \% \leq DC < 90 \%$
Keskitaso	$90 \% \leq DC < 99 \%$
Korkea	$99 \% \leq DC$

Kuvio 10. Diagnostiikan kattavuus DC (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 26)

Diagnostiikan kattavuuden neljä eri tasoa ovat ei lainkaan, matala, keskitaso sekä korkea. Kuten kuviossa 10 näkyy, DC määritellään prosentuaalisesti 0–100 %. Prosenttimäärä tarkoittaa järjestelmän kykyä havaita vikoja järjestelmässä eli kuinka kattava järjestelmän diagnostiikka on nimensä mukaisesti.

Yhteisvikaantuminen CCF vaikutuksen arviointi koko järjestelmästä voidaan tehdä standardin ISO 13849-1 liitteestä F löytyvän taulukon mukaisesti. Taulukossa otetaan huomioon yhteisvikaantumista estävät toimenpiteet

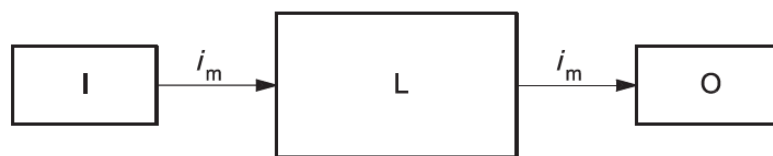
- Erottelu/erottaminen
- Erilaisuus (diversiteetti)
- Suunnittelu, soveltaminen ja kokemukset
- Arviointi ja analyysit
- Pätevyys ja koulutus
- Ympäristöolosuhteet.

Arvioinnissa jokainen kohta on pisteytetty eri arvoilla ja arvioinnin maksimipistemäärä on 100. Järjestelmän on saatava arvioinnista 65 pistettä tai enemmän, jotta se täyttäisi yhteisvikaantumisen välttämisen toimenpiteiden vaatimukset. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 73–74.) CCF-arviointi voidaan tehdä järjestelmälle suoraan SISTEMA-ohjelmalla.

Ohjausjärjestelmän rakenne jaetaan viiteen luokkaan. Luokka B on niistä pienin ja luokka 4 on suurin. Näitä luokkia voidaan kuvata turvallisuuteen liittyvillä lohkokaavioilla eli nimetyillä rakenteilla,

jotka ovat näkyvissä kuvioissa 11–14. Luokan B järjestelmillä DC_{avg} arvo voi olla nolla ja $MTTF_D$ voi olla pieni tai keskitasoa. Luokan B yksikanavaisissa järjestelmissä CCF-arviointia ei tarvita. Luokan B järjestelmän kuuluu kestää suunnitellut käyttökuormitukset, järjestelmässä käsiteltäviä aineita sekä muita merkittäviä ulkoisia vaikutuksia, kuten tärinää. Tässä luokassa suurin saavutettava suoritusaste PL on b. Luokan B järjestelmän nimetty rakenne näkyy kuviossa 11. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 41–42.)

Luokassa 1 sovelletaan samoja vaatimuksia kuin luokassa B ja ne on rakennettava hyvin koetelluista komponenteista ja noudattaen hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita. DC_{avg} arvo voi olla nolla ja CCF-arviointia ei tarvita kuten luokassa B, mutta kunkin kanavan $MTTF_D$ on oltava korkea. Luokan 1 suurin saavutettava PL taso on c. Kuviossa 11 näkyy luokan 1 rakenne, sekä luokan B rakenne. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 42–43.)

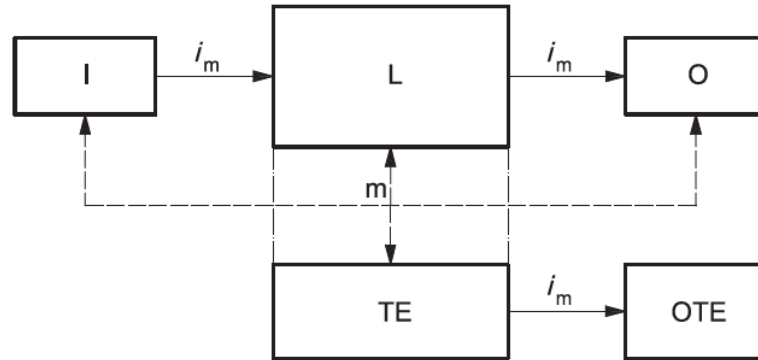


Selite

- i_m Liitännävälineet
- I Tuloyksikkö (esim. anturi)
- L Logiikka
- O Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

Kuvio 11. Luokkien B ja 1 mukainen nimetty rakenne (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 43)

Luokan 2 järjestelmissä sovelletaan samoja periaatteita kuin luokissa B ja 1. Näiden lisäksi ohjausjärjestelmän on suoritettava turvatoiminnon tarkistus sopivin väliajoin eli konetta käynnistäessä ja ennen vaaratilannetta, kuten ennen uuden toimintajakson alkamista. Luokan 2 järjestelmät noudattavat kuvion 12 mukaista rakennetta. Turvatoiminnon tarkastus voi tapahtua automaattisesti. Tarkastuksen on sallittava käyttötoiminta, jos järjestelmässä ei ole vikaa tai jos järjestelmässä on vikaa, sen on luotava lähtösignaali OTE, joka käynnistää tarvittavan turvatoiminnon. Luokan 2 järjestelmissä $MTTF_D$ pitää olla vähintään matalan, keskitaso tai korkea riippuen järjestelmän PL_r arvosta. DC_{avg} pitää olla vähintään matala. Järjestelmän pitää täyttää CCF-arvioinnin vaatimukset. Luokan 2 suurin saavutettava PL taso on d. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 43–44.)



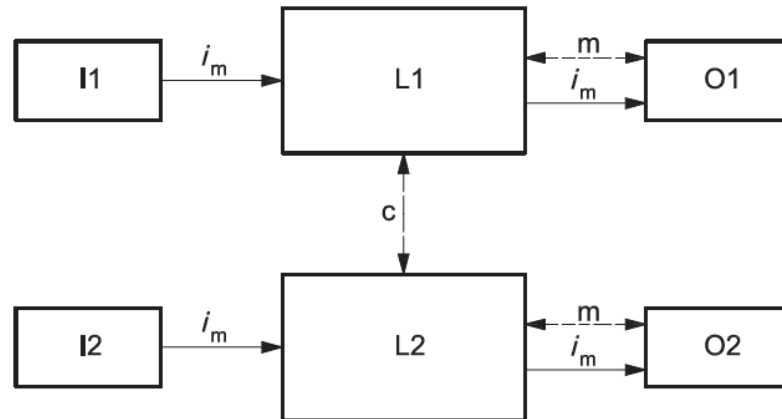
Selite

i_m	Liitännävalvonnat
I	Tuloyksikkö (esim. anturi)
L	Logiikka
m	Valvonta
O	Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)
TE	Testauslaitteisto
OTE	Testauslaitteiston lähdöt

Katkoviivat esittävät kohtuudella mahdollista vikojen paljastamista

Kuvio 12. Luokan 2 mukainen nimetty rakenne (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 45)

Luokan 3 järjestelmissä on noudatettava samoja vaatimuksia kuin aikaisemmissa luokissa. Näiden lisäksi järjestelmässä on varmistettava, ettei yksittäinen vika johda turvatoiminnon menettämiseen eli järjestelmän on oltava redundanttinen. Yksittäisen vian on paljastuttava turvatoiminnon yhteydessä, jos se on mahdollista. DC_{avg} on oltava vähintään matala. Jokaisen järjestelmän kanavan $MTTF_D$ on matala, keskitaso tai korkea ja se määräytyy järjestelmän PL_r arvon mukaan. Luokan 3 järjestelmän pitää täyttää CCF-arviointin vaatimukset. Luokan 3 nimetty rakenne näkyy kuviossa 13. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 45.)



Selite

i_m Liitännävalvonta

c Ristiinvalvonta

I1, I2 Tuloyksikkö (esim. anturi)

L1, L2 Logiikka

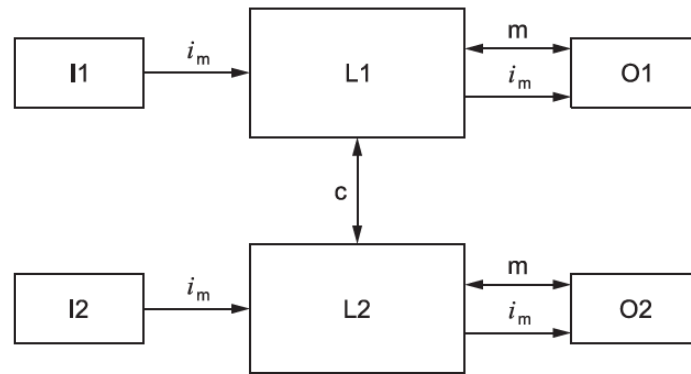
m Valvonta

O1, O2 Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

Katkoviivat esittävät kohtuudella mahdollista vikojen paljastamista

Kuvio 13. Luokan 3 mukainen nimetty rakenne (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 46)

Luokan 4 järjestelmässä sovelletaan samoja vaatimuksia kuin aiemmissa luokissa. Yksittäinen vika ei saa johtaa turvatoiminnon menettämiseen, kuten luokassa 3. Tässä luokassa yksittäisen vian on paljastuttava turvatoiminnon yhteydessä tai ennen sitä toisin kuin luokassa 3, jossa vian on paljastuttava, jos se on kohtuudella mahdollista. Jos vikoja ei pystytä paljastamaan, vikojen keräytyminen ei saa vaikuttaa turvatoiminnon toteuttamiseen. Lisäksi luokan 4 järjestelmän DC_{avg} tason on oltava korkea, jokaisen järjestelmän kanavan $MTTF_D$ on oltava korkea ja järjestelmän pitää täyttää CCF-arvioinnin vaatimukset. Luokat 3 ja 4 ovat rakenteeltaan hyvin samankaltaisia kuten kuvioista 13 ja 14 nähdään. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 46–47.)



Selite

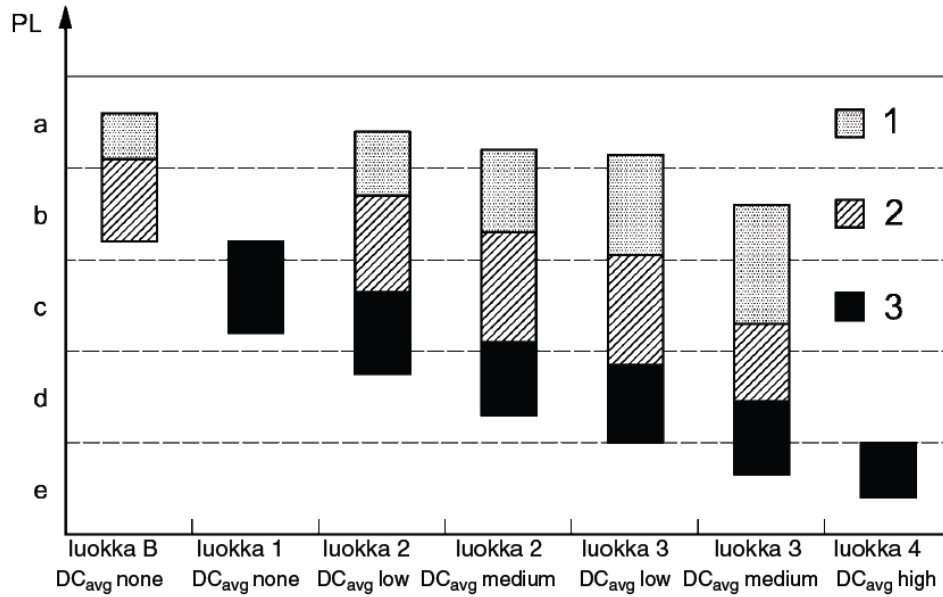
i_m	Liitännävalvontat
c	Ristiinvalvonta
I1, I2	Tuloyksikkö (esim. anturi)
L1, L2	Logiikka
m	Valvonta
O1, O2	Lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

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

Kuvio 14. Luokan 4 mukainen nimetty rakenne (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 47)

Kuvioissa 11–14 olevien nimettyjen rakenteiden lohkokaavioissa kaikissa yhteisinä ja oleellisimpina osina ovat tuloyksiköt I, logiikat L sekä lähtöyksiköt O. Esimerkiksi tuloyksikkönä voisi olla hätäseis-painike, logiikkana turvarele ja lähtöyksikkönä kuvioissakin mainittu pääkontaktori.

Suoritustaso PL voidaan arvioida käyttämällä yksinkertaistettua menetelmää, joka perustuu nimettyihin rakenteisiin. Yksinkertaistettua menetelmää käytettäessä voidaan olettaa, että nimettyjen rakenteiden toiminta-aika on 20 vuotta ja vikaantumistaajuus toiminta-aikana on vakio. Kun ohjausjärjestelmälle on määritetty $MTTF_D$, DC_{avg} sekä luokka, voidaan järjestelmälle saavutettava PL lukea kuvioiden 15 ja 16 avulla. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 26–28.)



Selite

PL Suoritustaso

- 1 Kunkin kanavan MTTF_D = matala (low)
- 2 Kunkin kanavan MTTF_D = keskitaso (medium)
- 3 Kunkin kanavan MTTF_D = korkea (high)

Kuvio 15. Luokkien, MTTF_D- ja DC_{avg}-arvojen keskinäinen suhde ja suoritustaso PL (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 28)

PL luetaan kuvion 15 pylväiden avulla. Esimerkiksi järjestelmä, jonka luokka on 3, DC_{avg} matala ja MTTF_D korkea PL arvoksi saadaan d. Jos järjestelmän pylvään alue kattaa useamman PL arvon, sen PL täytyy määrittellä kuvion 16 mukaan. Otetaan esimerkiksi edellä mainittu järjestelmä, jonka MTTF_D olisi keskitaso. Järjestelmän pylväs kattaisi PL arvot b, c ja d, jolloin PL arvoa ei pysty määrittämään kuvion 15 avulla.

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

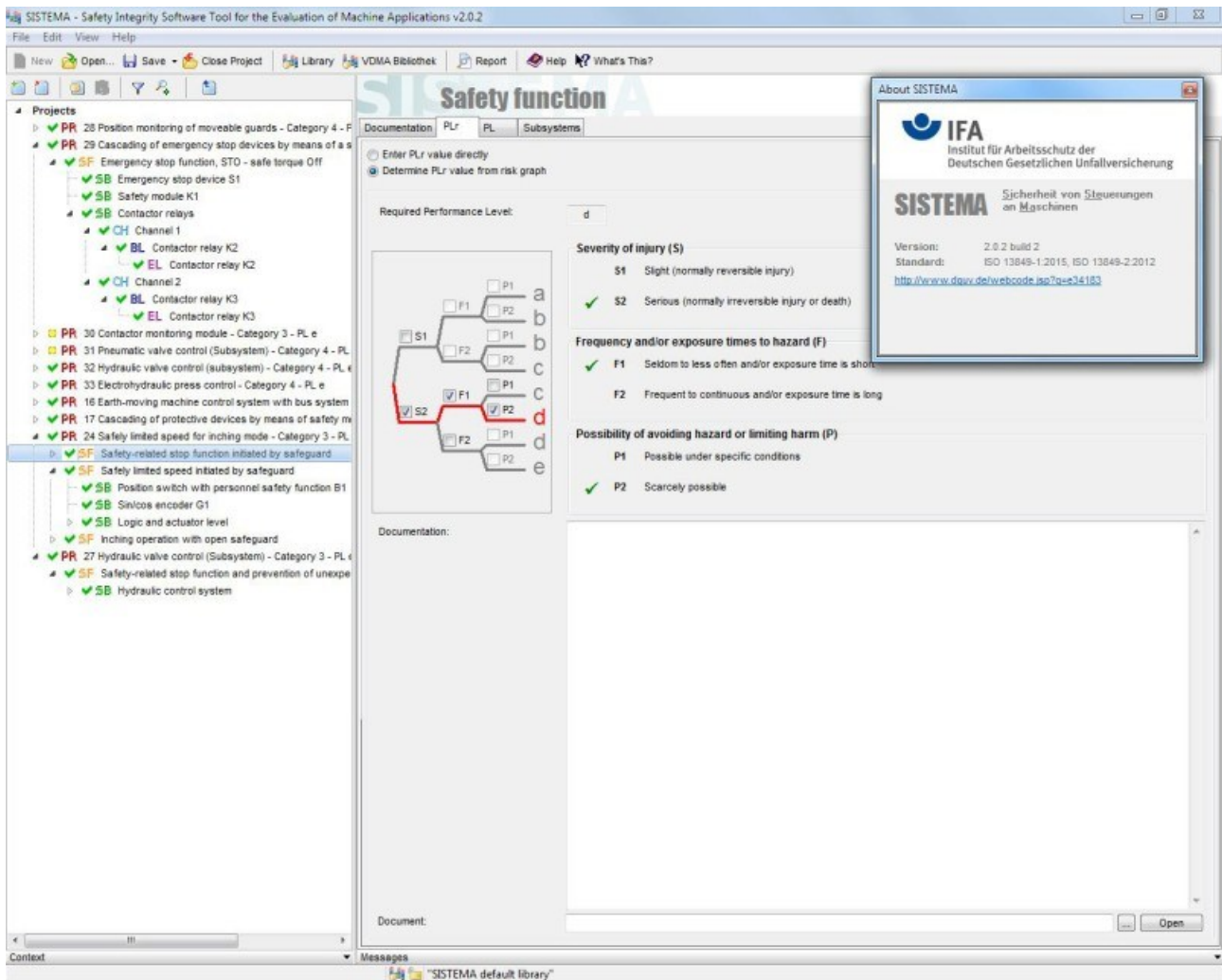
Kuvio 16. Yksinkertainen menettelytapa turvallisuuden liittyvien ohjausjärjestelmän osien saavutettaman suoritustason PL määrittämiseksi (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 28)

Edellisen kappaleen järjestelmä, jota ei kuvion 15 mukaan pystytty määrittämään, olisi kuvion 16 mukaan PL c. Standardissa ISO 13849-1 liitteessä K on kuvioista 15 ja 16 tarkempi numeerinen taulukko, jossa on näkyvissä tarkemmin vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan todennäköisyys tuntia kohden PFH_D , jonka mukaan PL määritellään (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 28). Järjestelmän PL on oltava vähintään yhtä suuri kuin vaatimusmäärittelyssä saatu PL_r . Jos tämä ei toteudu, on järjestelmä suunniteltava uudelleen. (SFS-EN ISO 13849-1:2015, 35.)

4.3 SISTEMA-laskentaohjelmisto

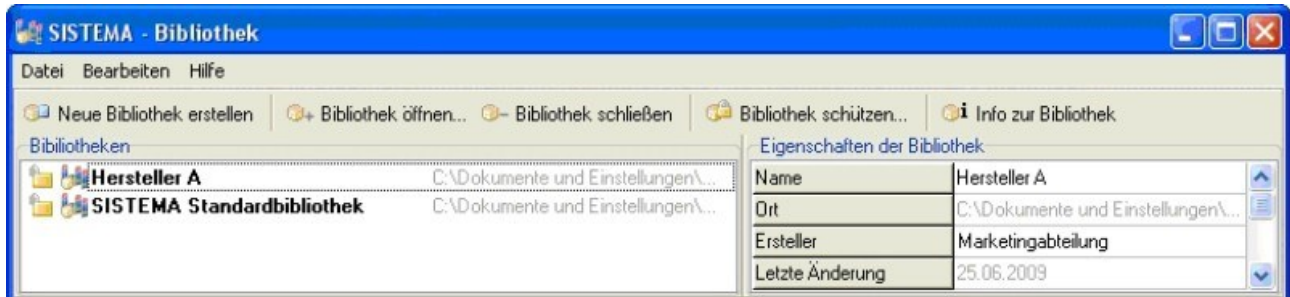
SISTEMA on koneturvallisuuden suunnitteluun käytetty ohjelma, jolla voidaan laskea PL suoritustasoja turvallisuudesta vastaavista ohjausjärjestelmistä standardin ISO 13849-1 mukaan. Ohjelman nimi tulee sanojen ”Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications” alkukirjaimista. Ohjelman on kehittänyt ja sitä ylläpitää saksalainen Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) eli suomeksi Saksan tapaturmavakuutuksen työturvallisuus- ja työterveyslaitos. Ohjelman uusin versio on versio 2.0.8 Build 4, joka on julkaistu vuoden 2020 tammikuussa (SISTEMA version history 2020). Ohjelma on ladattavissa ilmaiseksi IFA:n sivuilta.

SISTEMA pystyy mallintamaan ohjausjärjestelmän rakenteen ja automaattisesti laskemaan luotettavuusarvoja eri tasoilla, mukaan lukien koko järjestelmän PL suoritustason. Ohjelma laskee PL luokan automaattisesti ja esittää sen välittömästi käyttöliittymässä, kun tarvittavat parametrit on syötetty ohjelmaan järjestelmällisen käyttöliittymän kautta. Näihin parametreihin kuuluu vaadittava suoritustaso PL_r (ks. kuvio 17), ohjausjärjestelmän luokka, yhteisvikaantumisen arviointi monikanavaisissa järjestelmissä CCF, komponenttien luotettavuus eli vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika $MTTF_d$ ja keskimääräinen diagnostiikan kattavuus DC_{avg} . Laskelman tulokset voidaan tulostaa erilliseen dokumenttiin, jonka ohjelma luo automaattisesti. (Software-Assistent SISTEMA: Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications n.d.)



Kuvio 17. SISTEMA-ohjelman käyttöliittymä (Software-Assistent SISTEMA: Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications n.d.)

SISTEMA-ohjelmassa ohjausjärjestelmät koostuvat alijärjestelmistä, blokeista sekä elementeistä, jotka määräytyvät ohjausjärjestelmän rakenteen mukaan. Tämä rakenne on näkyvässä kuviossa 17. Edellä mainitut järjestelmän osat ovat yleensä teollisuudessa yleisesti käytettyjä komponentteja, jotka on tehnyt jokin komponenttien valmistaja. Komponenttien valmistajat voivat halutessaan tehdä omista komponenteistaan SISTEMA-kirjastoja, jotka ovat kuvion 18 näköisiä. (SISTEMA libraries n.d.)



Kuvio 18. SISTEMA kirjastojen käyttöliittymä (SISTEMA libraries n.d.)

Kirjastoista suunnittelija voi ottaa komponenttien tiedot ja aikaisemmin luvussa mainitut parametrit suoraan SISTEMA-projekteihin. Tämä nopeuttaa suunnittelua huomattavasti sekä vähentää inhimillisen virheen riskiä verrattuna komponenttitietojen ja parametrien käsin syöttämiseen. Ohjelmassa voidaan myös hyödyntää yleisempää VDMA 66413 formaattia SISTEMA:n omien kirjastojen lisäksi. SISTEMA-kirjasto löytyy muun muassa komponenttivalmistajilta ABB, EUCHNER, Pilz, Schmersal sekä SICK. (SISTEMA libraries n.d.)

5 Työn toteutus

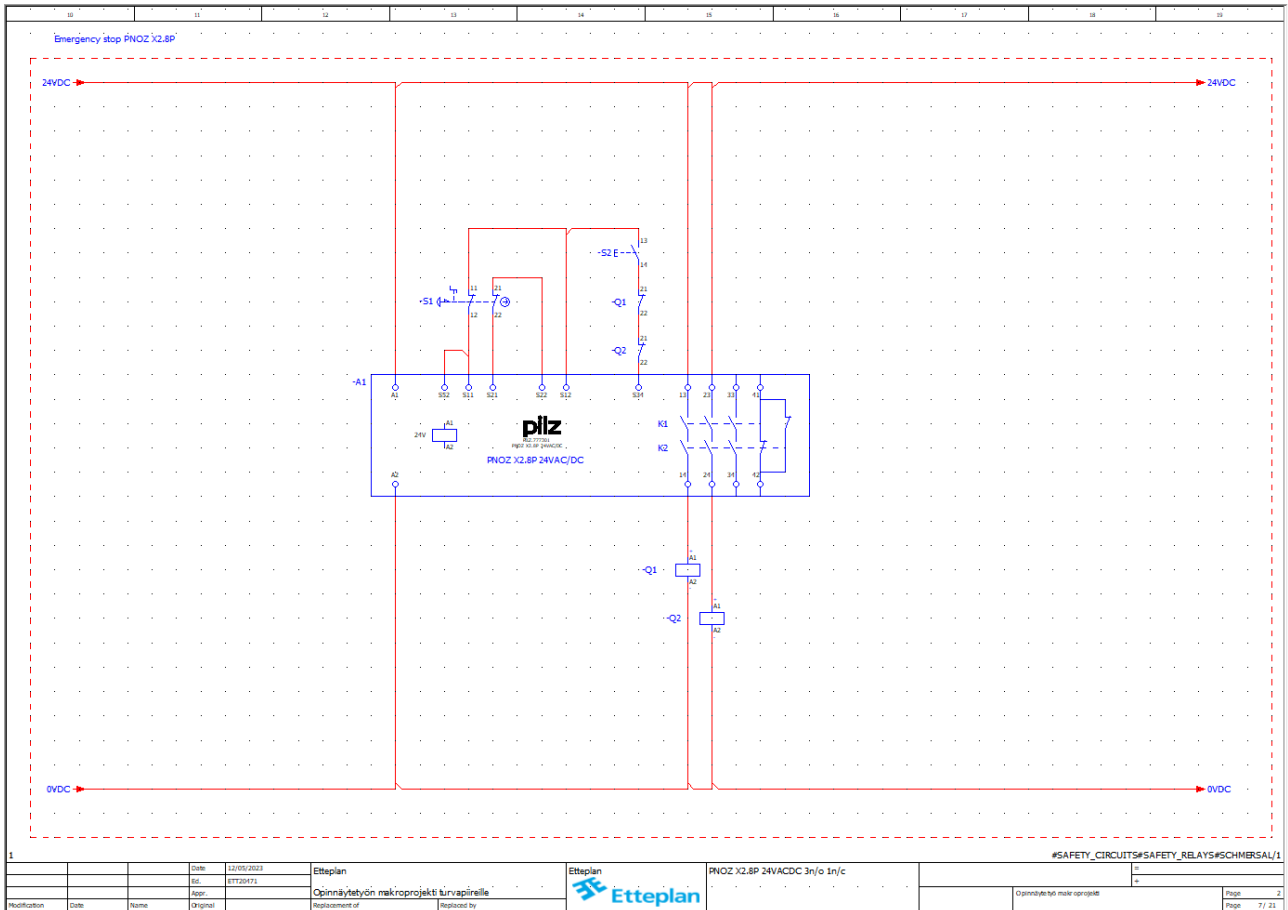
Ennen työn aloittamista oli selvitettävä mitä makrokirjaston täytyy sisältää. Toimeksiantajan edustajien kanssa pidettiin palaveri, jossa pohdittiin kirjaston sisältöä. Palaverissa päädyttiin valitsemaan seuraavien valmistajien turvalaitteita:

- ABB
- Allen Bradley
- Euchner
- PILZ
- Schmersal
- Schneider Electric
- SICK
- Siemens.

Näiltä valmistajilta makrokirjastoon sovittiin otettavaksi turvareleitä, ohjelmoitavia turvareleitä, turvalogiikoita, valoverhoja ja turvapulssiantureita. Laitteiden tarkempia mallitietoja ei tässä vaiheessa vielä päätetty, vaan jokaisen laitteen malli valittiin työn edetessä kysymällä toimeksiantajan edustajilta mitä laitteita he ovat työssään useimmiten käyttäneet. Makrokirjaston sisältö rajattiin sisältämään ne laitteet, mitä opinnäytetyö tekemisen aikana sinne ehdittiin tekemään.

Turvalaitteita löytyy tuhansia, jolloin niitä kaikkia on äärimmäisen hankala saada sisällytettyä makrokirjastoon. Makrokirjaston laajuus tarkistettiin työn loppupuolella ja todettiin riittävän laajaksi toimeksiantajan puolesta.

Makrokirjaston tekeminen aloitettiin turvareleistä, joihin myös kirjaston sisältö painottui. Turvareleistä päätettiin tehdä samanlaiset piirit, joihin kaikkiin sisältyy Schneider Electric merkkiset hätäseispainikkeet sekä kontaktorit. Näihin päädyttiin, sillä Schneider Electricin tuotteet ovat teollisuudessa hyvin yleisesti käytössä toimeksiantajan edustajien mukaan. Tekemällä turvarelepiireistä keskenään samanlaisia, piireistä saatiin samalla keskenään vertailukelpoisia SISTEMA-ohjelman toiminnallisen turvallisuuden laskuissa. Esimerkkinä kuvioista 19 löytyy PNOZ X2.8P turvarele.



Kuvio 19. PNOZ X2.8P 24VACDC turvareleen makro

Laitevalmistajat ovat tehneet turvareleistään keskenään samankaltaisia, jolloin kuvion 19 mukaiset kytkennät toistuvat kaikissa turvarelepiireissä pienillä muutoksilla. Kaikista turvarelepiireistä löytyy hätäseispainike kahdella normaalisti kiinni olevalla kontaktilla, vaihtuva turvarele piirin mukaan sekä kaksi kontaktoria esimerkiksi moottorilähdöille. Tällä rakenteen valinnalla turvarelepiirit saivat PL e luokituksen SISTEMA-laskuissa, kuten kuviossa 20 nähdään PNOZ X2.8P turvarelepiirin osalta. Turvapiiirin suunnittelussa pyrittiin siihen, että turvapiirejä voidaan käyttää mahdollisimman monessa ohjausjärjestelmässä ja että turvapiirit eivät ota kantaa käyttökohteeseen, jossa makroja käytetään. Turvapiirien makrokirjasto löytyy liitteestä 1.

SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden arviointiin v2.0.8

Tiedosto Muokkaa Näyttötila Ohje

Uusi Avaa... Talleta Sulje projekti Kirjasto VDMA Kirjasto Raportti Ohje Mikä tämä on?

Projektit

- PR Opinnäytetyöprojekti
 - SF ABB RT6 24DC Safety relay
 - SF ABB Sentry SSR10 Safety relay
 - SF Allen Bradley 440R-S13R2 Safety relay
 - SF EUCHNER ESM-BA301 Safety relay
 - SF PILZ PNOZ X2.8P 24VACDC 3n/o 1n/c Safety relay
 - SB Emergency Stop push button
 - SB PNOZ X2.8P
 - SB Contactors
 - CH Kanava 1
 - BL TeSys contactor
 - CH Kanava 2
 - BL TeSys contactor
 - SF PILZ PNOZ X8P C 24 VDC 3n/o 2n/c 2so Safety relay
 - SF PILZ PNOZ mm0p 24VDC Programmable Safety relay
 - SF Schmersal SRB-E-301MC Safety relay
 - SF SICK RLY3-OSSD300 Safety relay
 - SF SICK M4000 Advanced Curtain Safety light curtain
 - SF SICK AFS/AFM60S Pro Two safety encoders
 - SF SICK AFS/AFM60S Pro Safety encoder
 - SF Siemens 3SK1121-2AB40 Safety relay
 - SF Siemens CPU 1518F-3 PN/DP fail-safe CPU
 - SF Siemens CPU 1512SP F-1 PN fail-safe CPU

Asiayhteyks

SF PILZ PNOZ X2.8P 24VACDC 3n/o 1n/c Safety relay

PLr e

PL e

PFHD [1/h] 2,8E-8

SB -

PL -

PFHD [1/h] -

Luokka (...) -

MTTFD [v] -

DCavg [%] -

CCF -

BL -

MTTFD [v] -

DC [%] -

EL -

MTTFD [v] -

DC [%] -

Turvatoiminto

Dokumentaatio PLr PL Alajärjestelmät

Turvatoiminnon nimi: PILZ PNOZ X2.8P 24VACDC 3n/o 1n/c Safety relay

Identifier of the Safety function:

Turvatoiminnon tyyppi:

Laukaiseva tekijä: The emergency-stop pushbutton is pressed.

Reaktio ja käyttäytyminen tehonsy: The dangerous movement of the actuator will be stopped and unexpected start-up is prevented as long as the ES-button is not reset.

Turvallinen tila: The dangerous movement is stopped (by de-energizing the power of the actuator).

Toimintatapa:

Turvatoiminnon vaateen taajuus:

Jälkikäyntiaika:

Ensisijaisuus:

Dokumentaatio:

Dokumentti: Avaa

Viestit

- CH Kanava 1 Kanavien MTTFD-arvot on pienennetty alkuperäisestä arvosta 37 530,5 arvoon 2 500 vuotta. Kanavalle 2 500 vuotta on suurin hyväksyttävä keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika.
- CH Kanava 2 Kanavien MTTFD-arvot on pienennetty alkuperäisestä arvosta 37 530,5 arvoon 2 500 vuotta. Kanavalle 2 500 vuotta on suurin hyväksyttävä keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika.

"SISTEMA oletuskirjasto"

Kuvio 20. SISTEMA-projekti makrokirjastoa varten

Makrokirjastoa tehdessä toimittiin järjestelmällisesti siten, että ensin luotiin turvapiirille makro ja sen jälkeen samalle piirille tehtiin SISTEMA-laskut. Näin toimittiin jokaisen piirin kohdalla. Turvapiirissä käytettävien laitteiden valmistajien sivuilta ladattiin kyseisen valmistajan VDMA-kirjastot, joiden avulla SISTEMA-laskujen tekeminen onnistui helposti. Kuviossa 20 olevaan PNOZ X2.8P turvarelepiiriin täytyi ladata valmistajien PILZ sekä Schneider Electricin VDMA-kirjastot PILZin turvarelettä sekä Schneider Electricin hätäseispainiketta ja kontaktoreita varten. SISTEMA-projektin raportti on liitteessä 3.

Turvarelepiirien jälkeen makrokirjastoon lisättiin ohjelmoitavat turvareleet, ohjelmoitavat logiikat sekä valoverho ja turvapulssianturit. Nämä lisättiin kirjastoon edellä mainittujen käytäntöjen mukaisesti. Työtä tehdessä myös laitteiden ohjekirjat sekä valmistajien tekemät EPLAN-makrot tallennettiin toimeksiantajan verkkolevylle.

Edellä mainittujen turvalaitteiden lisäksi kirjastoon luotiin myös hätäseispainike kahdella normaalisti kiinni olevalla kontaktilla. Painikkeelle ei määritelty valmistajaa tai mallia, vaan siitä tehtiin generinen painike, jolle suunnittelija voi määrittää valmistajan ja mallin itse. Makrolle määritettiin myös kahdeksan eri varianttia, jotta sitä voi piirustuksiin liittäessä kääntää haluamaansa suuntaan vaivatta. Tällaista symbolia ei EPLANin symbolikirjastossa vielä ollut, joten sellainen päätettiin luoda makrokirjastoon.

Kun makrokirjasto oli saatu valmiiksi, luotiin makrokirjaston sisältämistä laitteista osaluettelo. Osaluettelon saa EPLAN Electric P8 -ohjelmasta tulostettua suoraan Exceeliin, mikä teki osalistan tekemisestä melko vaivatonta. Osaluettelo varten luotiin osaluettelomalli Exceeliin EPLANia varten, johon ohjelma pystyy tulostamaan summaosaluettelon. Tehty osaluettelo on liitteessä 2.

Makrokirjaston materiaalin valmistumisen jälkeen makrokirjastolle laadittiin vielä ylläpito-ohjeet, jotka löytyvät liitteestä 4. Ylläpito-ohjeeseen sisällytettiin ohjeita muun muassa makrokirjaston ylläpitämisen aikataulusta, makrokirjaston rakenteesta sekä miten osaluettelo päivitetään. Ylläpito-ohjeisiin ei kirjattu kenen vastuulla makrokirjaston ylläpitäminen on, vaan se sisältää vain yleiset ohjeet.

6 Tulokset

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaiseksi työn tavoitteina olleet makrokirjasto EPLAN Electric P8 -ohjelmaa varten sekä toiminnallisen turvallisuuden laskut SISTEMA-ohjelmalla. Makrokirjastoon sisällytettiin turvareleitä, ohjelmoitavia turvareleitä, turvalogiikoita, valoverhoja sekä turvapulssi-antureita toimeksiantajan ohjeiden mukaisesti. Makrokirjaston sisältö saatiin tehtyä sellaiseksi, että sitä voidaan hyödyntää mahdollisimman monissa erilaisissa projekteissa tulevaisuudessa. Makrokirjaston sisällön nopeaa tarkastamista varten tehtiin Electric P8 -ohjelman Export-ominaisuuden avulla osaluettelo Excel-taulukkoon kirjastoon kuuluvista laitteista.

SISTEMA-laskut saatiin tehtyä kaikkien makrokirjaston turvapiirien osalta onnistuneesti. Makrokirjastoon kuuluvista laitteista löytyi kaikkien laitteiden valmistajien tekemät VDMA-kirjastot, mikä helpotti SISTEMA-laskujen tekemistä. Laskut olisi voitu tehdä myös ilman VDMA-kirjastoja valmistajien ilmoittamien tietojen avulla, jos kirjastoja ei olisi ollut olemassa. Tämä olisi aiheuttanut huomattavasti lisää työtä.

Makrokirjaston sisältöä rajoitti aikataulu. Kirjastoon olisi voinut lisätä turvalaitteita, mikäli aikataulu olisi tämän sallinut. Kirjaston sisältöä olisi voinut lisätä esimerkiksi turvalukoilla tai lisäämällä kirjastossa jo olevien turvalaitteiden määrää, kuten valoverhoja. Tästä huolimatta kirjaston sisältö saavutti riittävän laajuuden toimeksiantajan käyttöä varten.

Kirjaston ylläpitoa varten kirjoitettiin ohjeet, mutta tarkempia yksityiskohtia kirjaston ylläpitämisestä ei keskusteltu, vaan ylläpito jää toimeksiantajan vastuulle. Myöskään makrokirjaston sijoituspaikasta toimeksiantajan järjestelmässä ei sovittu, vaan työ sijaitsee toistaiseksi materiaaleineen toimeksiantajan verkkolevyllä. Edellä mainitut asiat ovat toimeksiantajan tiedossa ja toimeksiantaja toimii asioiden suhteen omalla aikataulullaan.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda turvapiirimakrokirjasto EPLAN Electric P8 -suunnitteluohjelmaa varten ja luoda näille turvapiireille SISTEMA-ohjelmalla toiminnallisen turvallisuuden laskennat. Opinnäytetyön tuloksena saatiin tehtyä tavoitteina olleet makrokirjasto sekä SISTEMA-laskut. Näiden lisäksi saatiin tehtyä vielä ylläpito-ohjeet makrokirjastolle. Opinnäytetyön tulokset löytyvät liitteistä 1–4.

Makrokirjaston sisältö todettiin toimeksiantaja edustajien puolesta hyväksi ja käyttökelpoiseksi. Kirjastoon olisi työn aikana voinut tehdä huomattavasti enemmän lisää sisältöä, mutta aikataulun vuoksi kirjastoon saatiin sisällytettyä vain muutamia erilaisia turvalaitteita. Tämä ei kuitenkaan toimeksiantajaa haitannut, vaan kirjaston sisältö koettiin riittäväksi. Kirjasto on valmis käyttöönotettavaksi ja toimeksiantaja ottaa sen käyttöön haluamallaan tavalla.

Työtä tehdessä raskain työvaihe oli turvalaitteiden kytkentöjen selvittäminen. Sähkösuunnittelu oli itsessään työn tekijälle vielä tuore aihealue ja tiedon etsintään meni eniten aikaa. EPLAN Electric P8 ja SISTEMA-ohjelmat olivat tulleet tekijälle tutuksi jo aikaisemmin, joten niiden omaksumiseen ei tarvinnut aikaa käyttää. Näistä ohjelmista saatiin työn aikana lisää kokemusta. Toiminnallista turvallisuutta tutkiessa aiheesta opittiin paljon uutta ja tekijä hyötyy opinnäytetyön aikana opituista asioista varmasti myös jatkossa.

Toimeksiantaja on osoittanut selkeää halua jatkaa makrokirjaston kehittämistä eteenpäin. Opinnäytetyö jatkoi toimeksiantajalla jo olevaa makrokirjastoa turvapiirien osalta ja aikoo kehittää makrokirjastoa myös jatkossa. Makrokirjastoa voitaisiin edelleen kehittää lisäämällä turvapiirien ja laitteiden määrää. Makrokirjasto kokonaisuudessaan koostuu työssä tehdyistä turvapiirimakroista sekä aikaisemmin luoduista moottorinohjauspiireistä, I/O-makroista sekä sähkönsyötöstä ja -jake-
lusta. Makrokirjastolla on ollut useampia tekijöitä, jolloin kirjaston sisäinen tyyli voi vaihdella paljonkin. Yksi kehityskohde voisi olla myös kirjaston sisällön yhdenmukaistaminen toimeksiantajan haluamaan tyyliin. Kirjastoon voidaan myös yhtenä jatkokehityskohteena lisätä muita toimeksiantaja haluamia piirejä, joita ei ole edellä mainittu.

Lähteet

About Us. N.d. EPLANin kotisivut. Viitattu 23.3.2023. <https://www.eplan-software.com/company/portrait/about-us/>.

Direktiivi 2006/42/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi koneturvallisuudesta. Euroopan unionin virallinen lehti 9.6.2006. Viitattu 1.4.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=FI>.

EPLAN Electric P8. N.d. Electric P8 -ohjelmiston sivusto. Viitattu 11.4.2023. <https://www.eplan-software.com/solutions/eplan-electric-p8/>.

Etteplanin historia. N.d. Etteplanin historiasta kertova sivusto. Viitattu 21.3.2023. <https://www.etteplan.com/fi/tietoa-meista/etteplanin-historia>.

Etteplanin toimistot maailmalla. N.d. Etteplanin toimistojen yhteystiedot. Viitattu 21.3.2023. <https://www.etteplan.com/fi/ota-yhteytta/etteplanin-toimistot-maailmalla>.

Gischel, B. 2016. EPLAN Electric P8 Reference Handbook 4th edition. München: Hanser.

Koneita koskevat vaatimukset. N.d. Tukesin sivu konedirektiivistä. Viitattu 1.4.2023. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>.

Koponen, A. 2022. EPLAN Electric P8 -suunnitteluohjelman optimointi yrityksen tarpeisiin. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikka. Viitattu 7.5.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/748742/Koponen_Aleksi.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Lehtola, E. 2022. EPLAN-ohjelmiston käytön kehittäminen ja sen kytkös Teollisuus 4.0. Opinnäytetyö, AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, sähkö- ja automaatiotekniikka. Viitattu 13.4.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/744977/Lehtola_Elias.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Macro projects. N.d. Electric P8 makroprojektien ohjesivut. Viitattu 16.4.2023. https://www.eplan.help/en-us/Infoportal/Content/Plattform/2023/Content/htm/macrosgui_k_makroprojekte.htm?toc-path=EPLAN%20Plattform%7CWorking%20with%20Macros%7CMacros%7CBasics%7C_____2.

Niittyaro, A. 2021. EPLAN-Suunnitteluohjelmiston käytön kehittäminen. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikka. Viitattu 7.5.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/494601/Niittyaro_Anton.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Pernaa, J. 2013. Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Artikkelit kehittämisselityksestä. Jyväskylä: PS-kustannus. Viitattu 16.4.2023. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/317958/2013_Pernaa_KT_tutkimusmenetelmana_KT_kirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

SFS-EN ISO 13849-1:2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 31.12.2015. Viitattu 6.5.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SISTEMA libraries. N.d. SISTEMA-ohjelman sivut liittyen ohjelmassa käytettyihin kirjastoihin. Viitattu 13.4.2023. <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/practical-solutions-machine-safety/software-sistema/sistema-bibliothek/index.jsp>.

SISTEMA version history. 2020. SISTEMA-ohjelman versiohistoria. Viitattu 13.4.2023. https://www.dguv.de/medien/ifa/en/prasoftwa/sistema/sistema_version_history.pdf.

Software-Assistent SISTEMA: Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications. N.d. SISTEMA-ohjelman kotisivut. Viitattu 13.4.2023. <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/practical-solutions-machine-safety/software-sistema/index.jsp>.

Solutions. N.d. EPLAN-ohjelmistoalustan kaikki ohjelmat. Viitattu 26.3.2023. <https://www.eplan-software.com/solutions/>.

Talouskatsaus 2022. N.d. Etteplanin tilinpäätös sekä hallituksen toimintakertomus vuodelle 2022. Viitattu 21.3.2023. <https://www.etteplan.com/sites/default/files/2023-03/ad6499679cdba532.pdf>.

The Company. N.d. Tietoa EPLANista yrityksenä. Viitattu 23.3.2023. <https://www.eplan-software.com/company/>.

Tietoa meistä. N.d. Etteplanin tietosivut yrityksestä. Viitattu 21.3.2023. <https://www.etteplan.com/fi/tietoa-meista>.

Toiminnallinen turvallisuus. N.d. PILZ komponenttivalmistajan sivut toiminnalliseen turvallisuuteen liittyen. Viitattu 2.4.2023. <https://www.pilz.com/fi-FI/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety>.

Liitteet

Liite 1. Electric P8 turvapiirimakrokirjasto (salassa pidettävä)

Liite 2. Makrokirjaston osaluettelo (salassa pidettävä)

Liite 3. SISTEMA-projektin raportti (salassa pidettävä)

Liite 4. Makrokirjaston ylläpito-ohjeet (salassa pidettävä)