Timi Lounasranta

Varastohissin valoverho asennus ja turvallisuuden eheyden taso (TET)

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

27.4.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Timi Lounasranta
Otsikko:	Varastohissin valoverhon asennus ja turvallisuuden eheyden taso (TET)
Sivumäärä:	41 sivua + 3 liitettä
Aika:	27.4.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Kristian Junno

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoululle kevään 2025 aikana. Työssä tehtiin turvallisuutta edistävä lisäys Metropolian automaatiolaboratoriossa olevaan varastohissin kuljettimeen. Valoverho asennettiin parantamaan käyttökokemusta ja suojaamaan väärinkäytöltä. Laitteiston ohjaus toteutettiin REER Mosaic M1 logiikalla.

Työn on tarkoitus toimia oppimateriaalina tulevia automaatio-opiskelijoita varten, työssä pääsee ohjelmoimaan valoverhon käyttöä MSD ohjelman avulla.

Työtä varten koottiin asennuslaatikko, joka sijoitettiin varastohissin verkkoaitaan. Asennuslaatikko pitää sisällään turvalogiikan, sekä pysäytys- ja käynnistyspainonapit.

Työtä ei saatu kokonaisuudessaan toimintaan, johtuen turvalogiikan salasanasuojauksesta ja todennäköisesti liian vanhasta järjestelmäversiosta Mosaic M1 moduulissa.

Avainsanat: PLC, SFS-EN ISO 13849-1, valoverho

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author:	Timi Lounasranta
Title:	Warehouse Elevator Light Curtain Installation and Safety Integrity Level (SIL)
Number of Pages:	41 pages + 3 appendices
Date:	27 April 2025
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Electrical and Automation engineering
Professional Major:	Automation Engineering
Supervisors:	Kristian Junno, Senior Lecturer

This thesis was carried out for Metropolia University of Applied Sciences during spring 2024. The work involved a safety-enhancing addition to the warehouse elevator conveyor in Metropolia's automation laboratory. A light curtain was installed to improve the user experience and protect against misuse. The equipment control was implemented with REER Mosaic M1 logic.

The work is intended to serve as learning material for future automation students, and the work allows you to program the use of the light curtain using the MSD program.

An installation box was assembled for the work, which was placed in the mesh fence of the warehouse elevator. The installation box contains the safety logic, as well as the stop and start push buttons.

The work was not fully operational due to the password protection of the safety logic and probably too old system version on the Mosaic M1 unit.

Keywords: PLC, SFS-EN ISO 13849-1, ligh curtain

Sisällys

Lyhenteet

PLC: Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka prosessien ohjaamiseen.

SIL: Safety Integrity Level. Turvallisuuden eheyden taso.

PFH: Probability of Dangerous Failure per Hour. Vaarallisten vikojen todennäköisyys per tunti.

MTTFd: Mean Time to Dangerous Failure. Komponenttien vikatiheys.

DC: Diagnostic coverage. Diagnostiikan kattavuus.

CCF: Common Cause Failure. Yhteisvikaantuminen.

PL: Performance Level. Turvallisuustaso

NO: Normally Open. Normaali tilassa avoin.

NC: Normally Closed. Normaali tilassa suljettu.

MSD: Mosaic Safety Designer. Ohjelmointiympäristö

1 Johdanto

Opinnäytetyö toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoululle keväällä 2025. Työssä hyödynnettiin koulun automaatiolaboratoriossa olevaa varastohissiä, ja tähän kuuluvaa kuljetinta, johon lisättiin valoverho, passivointianturit ja ohituskytkin.

Työssä käydään läpi turvalaiteasennukset varastohissin kuljettimelle, sisältäen myös PLC (Programmable Logic Controller) konfiguroinnin, ja SIL-tasojen (Safety Integrity Level) tutkimisen. Työssä sovelletaan SFS-EN ISO 12100, SFS-EN ISO 13849-1 ja SFS-EN 62061 standardeja. Työtä varten kasattiin myös asennuslaatikko, johon oppilaat pääsevät jatkossa harjoituksena kytkemään turvalaitteita ja konfiguroimaan PLC:tä.

Työssä perehdytään aluksi yleisesti käsitteeseen koneturvallisuus ja siihen liittyviin määräyksiin. Alussa on myös laitteiston riskinarviointi ennen turvalaitelisäyksiä, ja teemme uuden riskinarvioinnin turvalaitelisäyksien jälkeen. Tämän jälkeen käsittelemme suunnittelu- ja toteutusvaihetta, jonka jälkeen käymme läpi laitteiston testauksen ja käyttöönoton.

2 Koneturvallisuus

Koneturvallisuus on keskeinen osa koneiden ja laitteiden turvallista käyttöä ja toimintaa [1]. Sen tavoitteena on minimoida henkilöstölle aiheutuvat riskit koneiden käytön aikana sekä varmistaa, että koneet ja laitteet täyttävät voimassa olevat turvallisuusvaatimukset [1,2]. Koneturvallisuuden periaatteet pohjautuvat riskien arviointiin, riskin vähentämiseen ja asianmukaisten turvatoimintojen käyttöön. Koneiden suunnittelussa, asennuksessa ja käytössä on tärkeää noudattaa kansainvälisiä standardeja ja ohjeita, jotta turvallisuustasot voidaan taata.

2.1 Konedirektiivi

Yksi keskeinen koneturvallisuutta ohjaava säädös on konedirektiivi 2006/42/EY, joka on Euroopan unionin asettama lainsäädäntö koneiden turvallisuudesta [3]. Konedirektiivin tavoitteena on varmistaa, että markkinoille saatettavat koneet ovat turvallisia käyttää ja täyttävät tietyt olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Direktiivi koskee sekä uusia koneita että merkittävästi muutettuja tai uudelleenrakennettuja koneita.

Konedirektiivi määrittelee valmistajan tai maahantuojan vastuun koneen turvallisuudesta ja edellyttää, että koneeseen liitetään vaatimustenmukaisuusvakuutus sekä CE-merkintä, joka osoittaa direktiivin vaatimusten täyttymisen. Lisäksi koneen mukana on toimitettava käyttöohjeet, joissa kerrotaan laitteen turvallisesta käytöstä, huollosta ja mahdollisista rajoituksista.

Konedirektiivin soveltaminen perustuu myös riskinarviointiin, joka valmistajan tulee tehdä koneen koko elinkaaren ajalta[1,3]. Tämän arvioinnin perusteella päätetään tarvittavat tekniset ja hallinnolliset toimenpiteet vaarojen ehkäisemiseksi. Direktiivi kannustaa ensisijaisesti sisäänrakennettuun turvallisuuteen, jonka jälkeen tulevat tekniset suojaustoimenpiteet ja lopuksi käyttäjien ohjeistus.

2.2 Koneturvallisuuden merkitys

Koneiden turvallinen käyttö edellyttää erilaisten riskien tunnistamista ja hallintaa. Työturvallisuuslain ja -asetusten mukaan koneiden valmistajien, asentajien ja käyttäjien vastuulla on varmistaa, että käytetyt koneet ja laitteet ovat turvallisia kaikissa tilanteissa. Turvallisuustoimenpiteiden laiminlyönti voi johtaa vakaviin onnettomuuksiin tai jopa kuolemantapauksiin, minkä vuoksi koneturvallisuus on olennainen osa työympäristöjen kehittämistä [4].

2.3 Koneturvallisuus standardit

Koneturvallisuudessa sovelletaan useita standardeja, jotka ohjaavat koneiden suunnittelua, asennusta ja käyttöä. Keskeisimpiä koneturvallisuuden standardeja ovat.

- SFS-EN ISO 12100: Tämä standardi tarjoaa yleiset periaatteet koneiden turvallisuuden suunnitteluun, riskien arviointiin ja riskin vähentämiseen. Se toimii lähtökohtana turvallisuustoimintojen suunnittelulle ja toteutukselle [1].

- SFS-EN ISO 13849-1: Tämä standardi käsittelee koneiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien osien suunnittelua ja määrittää suorituskykytasot (Performance Level, PLr), joita käytetään turvatoimintojen luotettavuuden arvioinnissa [2].

- SFS-EN 62061: Standardi keskittyy koneiden sähköisten ohjausjärjestelmien turvallisuuteen ja määrittelee turvallisuuden eheyden tason (Safety Integrity Level, SIL), joka kuvaa järjestelmän kykyä suorittaa turvatoimintoja määritellyllä luotettavuudella [5].

Näiden standardien avulla voidaan varmistaa, että koneet täyttävät niiden turvallisuusvaatimukset ja että turvalaitteet toimivat suunnitellulla tavalla kaikissa olosuhteissa.

2.4 Riskien arviointi ja vähentäminen

Koneiden turvallisuuden varmistamisessa riskien arviointi on ensimmäinen askel. Riskien arvioinnin tarkoituksena on tunnistaa kaikki mahdolliset vaaratekijät, arvioida niiden vakavuus ja todennäköisyys sekä määrittää tarvittavat toimenpiteet riskin vähentämiseksi [1]. Riskejä voidaan vähentää useilla eri menetelmillä:

- Suunnittelemalla koneet siten, että vaaratilanteet estetään jo rakenteellisesti [1].

- Käyttämällä turvalaitteita, kuten valoverhoja, hätäpysäytyspainikkeita ja suojakoteloita [2].

- Käyttämällä ohjelmoitavia turvalogiikoita, jotka varmistavat koneen turvallisen pysäyttämisen ja toiminnan vaaratilanteessa [5].

2.4.1 Järjestelmän kuvaus

Kuljetin siirtää palettia n. 2 metrin matkan kohti nostavaa varastovaunua. Varastovaunu nostaa paletin varastopaikalle. Käyttäjät voivat olla lähellä kuljetinta lastatessaan tai huoltaessaan järjestelmää.

2.4.2 Vaarojen tunnistaminen

Mahdolliset vaaratilanteet arvioidaan käyttäen SFS-EN ISO 12100 -standardin mukaisia riskilähteitä. Taulukosta 1 näemme laitteiston mahdolliset riskit ja niiden seuraukset.

Taulukko 1: Laitteiston mahdolliset riskit ja seuraukset

Vaaran tyyppi	**Mahdollinen riski**	**Mahdolliset seuraukset**
Mekaaninen	Henkilö voi jäädä puristuksiin kuljettimen ja varastovaunun väliin	Vakava puristumisvamma
Mekaaninen	Käsi voi jäädä vetäytymään kuljettimen rullien väliin	Sormien tai käden vamma

Törmäys	Paletti voi osua käyttäjään	Ruhjeet tai vakava vamma
Loukkaantuminen	Käyttäjä voi liukastua ja kaatua kuljettimelle	Putoaminen, isku päähän
Huoltoriskit	Moottori tai hissi voi käynnistyä odottamatta	Vakava vamma tai kuolema

2.4.3 Riskin arviointi ennen turvalaitteita

SFS-EN ISO 13849-1 -standardin [2] mukaisesti määritellään riskitaso seuraavasti:

1. Vaikutuksen vakavuus (S)
    - S1: Lievä vamma
    - S2: Vakava vamma tai kuolema
        - Tässä tapauksessa S2, koska kuljetin voi aiheuttaa vakavan puristumisvamman.
2. Altistumistiheys ja kesto (F)
    - F1: Harvoin tai lyhytaikaisesti
    - F2: Usein tai pitkäkestoisesti
        - Tässä tapauksessa F1, koska kyseistä laitteistoa käytetään harvoin, suhteessa sen käytön kokonaisaikaan.
3. Välttämismahdollisuus (P)

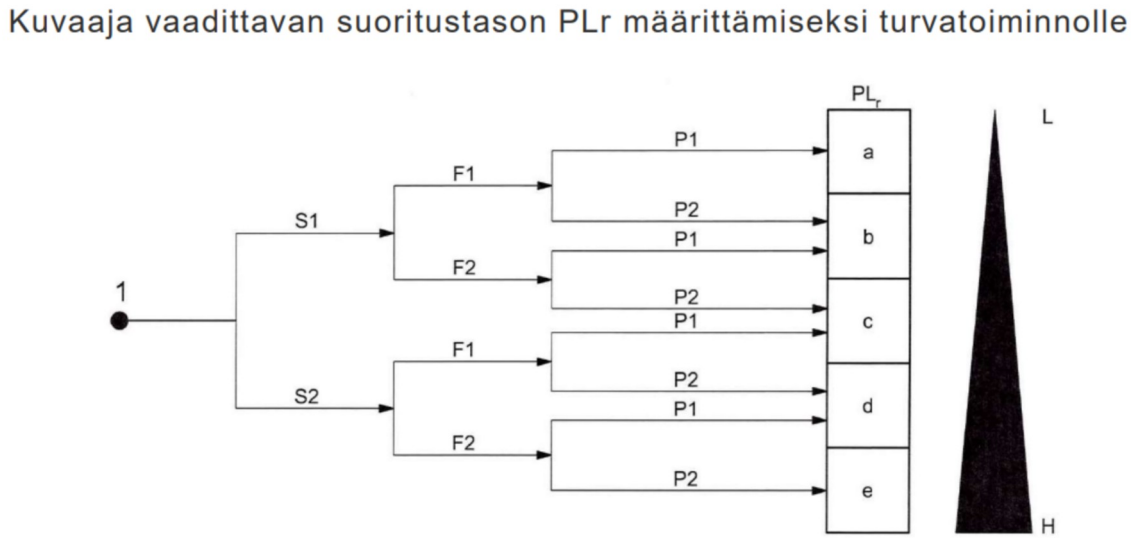
- P1: Mahdollista välttää
- P2: Vaikea tai mahdoton välttää
  - Tässä tapauksessa P2, koska puristumis- tai vetäytymistilanteessa henkilö ei ehdi poistua ajoissa.

Taulukossa 2 on nähtävissä saavutettu Performance Level (PLr).

Taulukko 2: Saavutetut riskitasot ja PLr

S	**F**	**P**	**PLr**
S2	F1	P2	PLd

Kuva 1 esittää, kuinka Plr taso määritetään nykyisten riskitasoarvojen mukaan.



Kuva 1: PLr tason määräytyminen eri riskitasoilla

2.4.4 Riskin vähentäminen suojatoimenpiteillä

Laitteeseen lisätään valoverho, jolla suojataan varastohissille syöttävän kuljettimen alue. Tämä ratkaisu suojaa mahdolliselta väärinkäytöltä ja parantaa laitteiston turvallisuutta.

- Valoverho muting-toiminnolla
    - Estää henkilön pääsyn vaaravyöhykkeelle kuljetuksen aikana.
    - Muting mahdollistaa palettien normaalin kuljetuksen ilman häiriötä.
- Turvalogiikka
    - Käsittelee valoverhon, hätä seis ja moottorinohjauksen.
    - Takaa turvallisen seisauksen, jos turvalaitteiden signaalit katkeavat.
- Hätä seis
    - Käyttäjä voi manuaalisesti pysäyttää kuljettimen

2.5 Turvallisuuden eheystaso (Safety Integrity Level, SIL)

Turvallisuuden eheystaso jaetaan kolmeen eri luokkaan, jotka määrittelevät järjestelmän tai laitteen sallitun vioittumistodennäköisyyden [5]. Tätä luokitusta sovelletaan sekä sähköisiin että ohjelmoitaviin elektronisiin järjestelmiin. Tyypillisessä turvateknisessä sovelluksessa eheystaso määräytyy yksittäisten komponenttien vioittumistodennäköisyyksien perusteella [5].

Eheystasot määritellään kansainvälisten IEC- ja EN-standardien mukaisesti. Luokitusasteikko ulottuu tasosta 1 tasoon 3, joista alin taso (SIL 1) koskee

yleensä perusautomaatiojärjestelmiä, kun taas korkein taso (SIL 3) edustaa vaativinta turvallisuustasoa.

2.5.1 Tarvittavan SIL-tason (SILr) määrittäminen

Turvallisuuden eheystaso (SIL) määritetään riskin arvioinnin perusteella käyttäen SFS-EN 62061 -standardia. SIL-vaatimus (SILr) määräytyy kolmella tekijällä S, F ja P arvoilla, jotka ovat kappaleessa 2.4.3 selitetty. Näiden perusteella saadaan riskin määritysarvo (CL, Contribution to Risk Reduction), jonka perusteella tarvittava SILr-taso valitaan [5].

Arvot olivat:

S = 2, F = 1, P = 2, joten taulukon 3 mukaan CL arvo olisi 4.

Taulukko 3: CL-arvon määräytyminen

Vakavuus (S)	**Altistuminen (F)**	**Välttäminen (P)**	**Riskiluokka (CL)**
S1	F1	P1	1
S1	F1	P2	2
S1	F2	P1	3
S1	F2	P2	4
S2	F1	P1	3
S2	F1	P2	4
S2	F2	P1	5
S2	F2	P2	6

2.5.2 SILr-tason valinta CL-arvon perusteella

Kun CL-arvo on määritetty, voidaan sen perusteella valita vaadittu SIL-taso, joka menee taulukon 4 mukaisesti:

Taulukko 4: SIL-arvon määräytyminen CL-arvon perusteella

Riskiluokka (CL)	**Tarvittava SILr**
1-3	SIL1
4-6	SIL2
7-8	SIL3

Kyseinen järjestelmä vaatisi vähintään SIL2-tason turvallisuusratkaisun.

2.6 SIL vaatimukset ja PFH raja-arvot

SFS-EN 62061-standardi määrittelee PFH-arvot (Probability of Dangerous Failure per Hour), jotka määräävät turvallisuuden eheystason (SIL, Safety Integrity Level). PFH-arvo kuvaa järjestelmän vaarallisten vikojen todennäköisyyttä tunnissa [5].

Taulukosta 5 voidaan tarkastella, miten eri SIL-tasot määräytyvät PFH-arvojen perusteella.

Taulukko 5: SIL-arvojen rajat PFH-arvoille

SIL	**PFH (1/h) Vaarallisten vikojen todennäköisyys per tunti**
SIL1	$10^{-6} \leq PFH < 10^{-5}$
SIL2	$10^{-7} \leq PFH < 10^{-6}$

SIL3	$10^{-8} \leq PFH < 10^{-7}$

2.6.1 Turvajärjestelmän komponenttien määrittely

Turvajärjestelmän komponenttien turvallisuustaso määräytyy niiden luotettavuuden ja vikakäyttäytymisen perusteella. MTTFd-arvo kuvaa kuinka kauan komponentti toimii ennen vaarallista vikaa. DC-arvo määrittää kuinka suuri osa vaarallisista vioista havaitaan diagnostiikan avulla. λ_d-arvo kuvaa vaarallisten vikojen esiintymistiheyttä ja se saadaan käänteisarvona MTTFd-arvosta [5].

Taulukosta 6 näemme käytössä olevien komponenttien ja niiden MTTFd (Mean Time to Dangerous Failure), DC (Diagnostic Coverage) ja λ_d (Dangerous Failure Rate) arvot.

Taulukko 6: Laitteiston MTTFd-, DC- ja λ_d-arvot

Komponentti	**MTTFd (vuotta)**	**DC (%)**	**λ_d (1/h)**
Valoverho	>100 vuotta	99 %	1.00×10^{-7}
Turvalogiikka	>200 vuotta	99 %	1.00×10^{-8}
Turvarele (MOR4)	>100 vuotta	90 %	1.20×10^{-7}
Kontaktori	20 vuotta	90 %	1.50×10^{-7}

2.6.2 PFH-laskenta

PFH lasketaan summana kaikista yksittäisten komponenttien vaarallisista vikaantumistodennäköisyyksistä:

$$PFH_{järjestelmä} = \lambda_d^{valoverho} + \lambda_d^{turvalogiikka} + \lambda_d^{turvarele} + \lambda_d^{kontaktori}$$

Sijoitetaan arvot:

$$PFH_{järjestelmä} = (1.00 \times 10^{-7}) + (1.00 \times 10^{-8}) + (1.20 \times 10^{-7}) + (1.50 \times 10^{-7})$$

$$PFH_{järjestelmä} = 3.8 \times 10^{-7} (1/h)$$

2.6.3 SIL-tason määritys

Tarkistetaan PFH-arvo SFS-EN 62061 taulukon mukaisesti:

- $3.8 \times 10^{-7} (1/h)$ sijoittuu välille $10^{-7} \leq PFH < 10^{-6}$
- Tämä vastaa taulukon mukaan SIL2-vaatimuksia.

3 Lopullinen riskinarviointi

Turvalaitelisäyksien jälkeen voimme uudelleen arvioida järjestelmän turvallisuutta eri menetelmillä. Tässä kappaleessa käymme läpi MTTFd-, DC-, CCF- ja PL-laskentaa ja kuinka tuloksiin päädyttiin.

3.1 Komponenttien vikatiheys (Mean Time to Dangerous Failure, MTTFd)

Käsiteltävässä järjestelmässä valoverho on tyypin 4 suojalaite, jonka MTTFd-arvoksi valmistaja ilmoittaa yli 100 vuotta. Tämä asettaa sen korkeaan luotettavuusluokkaan. Vastaavasti myös Mosaic M1 turvalogiikka ja turvarele (MOR4) edustavat korkeaa luotettavuustasoa. Moottoria ohjaava kontaktori arvioitiin olevan käyttöolosuhteet huomioiden keskitason luokkaan.

Näin ollen koko turvallisuustoiminnon MTTFd-luokka voidaan arvioida olevan keskitasoa, joka tukee PLd -tason saavuttamista yhdessä muiden arviointikriteerien kanssa.

Standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaan MTTFd-arvo lasketaan jokaiselle komponentille ja lopuksi koko järjestelmälle. Taulukosta 7 voidaan tarkastella näitä arvoja [2].

Taulukko 7: Järjestelmän komponenttien vikakestoisuus, arvioitu käyttösykli ja MTTFd-arvo

Komponentti	**B10d (vikakestoisuus, sykliä)**	**Käyttösyklit per vuosi (C)**	**MTTFd (vuotta)**
Valoverho	Ei koske	4000	>100 vuotta
Turvalogiikka	Ei koske	-	>200 vuotta

Turvarele (MOR4)	8,000,000	4000	>100 vuotta
Kontaktori	3,000,000	4000	20 vuotta

Seuraavaksi taulukon 7 saaduilla arvoilla teemme järjestelmällä laskennan, millä saamme tietää kokonaisuuden MTTFd-arvon.

Koska järjestelmä on redundantti, käytetään sarjamuotoista laskentaa:

$$\frac{1}{MTTFd_{järjestelmä}} = \frac{1}{MTTFd_{valoverho}} + \frac{1}{MTTFd_{turvalogiikka}} + \frac{1}{MTTFd_{turvarele}} + \frac{1}{MTTFd_{kontaktorit}}$$

$$\frac{1}{MTTFd_{järjestelmä}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{100} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{MTTFd_{järjestelmä}} = 0.01 + 0.005 + 0.01 + 0.05 = 0.075$$

$$MTTFd_{järjestelmä} = \frac{1}{0.075} = 13.33\,vuotta$$

Standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesti määritelty MTTFd-luokitus järjestelmälle on keskitason luokkaa, kuten taulukko 8 sen ilmaisee [2].

Taulukko 8: MTTFd-arvon luokitus

MTTFd (vuotta)	**Luokitus**
3-10	Matala
10-30	Keskitaso
>30	Korkea

3.2 Turvapiirin diagnostiikan kattavuus (Diagnostic Coverage, DC)

Järjestelmässä käytettävä valoverho on tyyppiä 4 ja sisältää sisäänrakennetun itsediagnostiikan. Turvalogiikkana toimiva Mosaic M1 valvoo turvapiirin tuloja ja lähtöjä. Näiden perusteella järjestelmän diagnostiikan kattavuudeksi arvioitiin korkea taso, joka tukee tavoiteltua Performance Level -tasoa. Taulukosta 9 näemme määritelmät eri DC-luokille [2].

Taulukko 9: Eri diagnostiikka menetelmät ja niiden DC-luokka

Diagnostiikkamenetelmä	**Vastaava DC-luokka**
Ei diagnostiikka	DC Ei lainkaan (<60%)
Tulo- ja lähtöpiirien valvonta	DC Matala (60-90%)
Yksinkertainen ulkoinen testaus	DC Keskitaso (90-99%)
Täydellinen jatkuva itsediagnostiikka	DC Korkea (≥99%)

3.3 Yhteisvikaantuminen (Common Cause Failure, CCF)

Yhteisvikaantumisen arvioinnissa tarkastellaan mahdollisuutta, että useampi järjestelmän komponentti pettää samanaikaisesti yhteisestä syystä, kuten esimerkiksi ylijännitteestä, ympäristön lämpötilamuutoksista tai sähkömagneettisesta häiriöstä. CCF-arviointi on osa standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaista Performance Level -laskentaa ja se suoritetaan perustuen järjestelmän rakenteeseen ja komponenttien sijoitteluun [2].

Järjestelmässä käytettävä valoverho sisältää kaksikanavaisen redundanttisen rakenteen ja jatkuvan itsediagnostiikan. Tämän vuoksi valoverhon osalta yhteisvikojen mahdollisuus on erittäin pieni, ja sen CCF-luokka arvioitiin alhaiseksi.

Mosaic M1 turvalogiikka valvoo sekä tulo- että lähtökanavia ja sisältää vikadiagnostiikkaa. Vaikka järjestelmässä on sisäistä redundanssia, toimii logiikka keskeisenä osana turvatoimintoa, sen mahdollinen vikaantuminen voi vaikuttaa koko järjestelmään, joten sen CCF-luokka on kohtalainen.

Turvareleenä käytettiin MOR4-relekorttia, joka tarjoaa sisäisen rakenteensa ansiosta redundanssia ja jatkuvaa toimintojen valvontaa. Vaikka turvareleessä on sisäisiä turvamekanismeja, se ei täysin poista riskiä yhteisvikojen syntymisestä, joka heikentää sen yksittäistä luotettavuutta yhteisvikoja vastaan. Tämän vuoksi turvareleen CCF-luokka arvioitiin kohtalaiselle tasolle.

Kuljettimen moottoria ohjaava kontaktori on yksikanavainen, mutta sen tila valvotaan palautekoskettimilla turvalogiikalle. Tämä vähentää kontaktorin vikavaikutusta muihin järjestelmän osiin. Tästä huolimatta kontaktorin ja sen ohjauspiirin vikaantuminen voi vaikuttaa järjestelmän turvallisuustoimintoon, joten myös sen CCF-luokka arvioitiin kohtalaiseksi

3.4 Turvallisuustason arviointi (Performance Level, PL)

Performance Level (PL) tarkoittaa koneen turvallisuustoiminnon kykyä saavuttaa tietty riskin pienennystaso. Standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaan turvallisuustoiminnon PL-taso määritellään kolmen päätekijän perusteella: komponenttien vikatiheys (MTTFd), diagnostiikkasuure (DC) sekä yhteisvikojen riski (CCF). Näiden lisäksi huomioidaan myös mahdolliset ohjelmalliset toiminnot sekä toiminnallinen testaus [2].

Arvioitava turvatoiminto järjestelmässä on henkilön kulun estäminen paletin liikkuessa kuljettimen ja varastohissin välillä. Turvallisuustoiminto toteutetaan valoverholla, Mosaic -turvalogiikalla, turvareleellä ja moottorin ohjaukseen liitetyllä kontaktorilla.

Koko turvallisuustoiminnon arvioinnin perusteella järjestelmä saavuttaa PL d-tason kts. Taulukko 10, joka on yleisesti vaadittu taso kuljetinjärjestelmien ja automaattivarastojen henkilöturvallisuutta koskevissa sovelluksissa.

Taulukko 10: Turvatoiminnon PL-tason arviointi komponenttikohtaisesti

Komponentti	**MTTFd**	**DC**	**CCF**	**PL-arvio**
Valoverho	Korkea	Korkea	Korkea	PL d
Turvalogiikka	Korkea	Korkea	Korkea	PL d
Turvarele	Korkea	Korkea	Korkea	PL d
Kontaktori	Keskitaso-Korkea	Keskitaso	Keskitaso-Korkea	PL d

4 Suunnittelu ja työn toteutus

Työn alkuvaiheessa hahmoteltiin kokonaisuutta sitä, mitä kaikkea se tulee vaatimaan mekaanisesti ja ohjelmallisesti. Tässä vaiheessa työ piti sisällään valoverhoparin, eli lähettimen ja vastaanottimen, valoverhojen passivointianturit, REER:in PLC:n, I/O-kortin, relekortin, muting override käyttöpisteen, merkkivalon, riviliittimiä ja kaapelia. Työtä varten saatiin Sähkölehto Oy:l:tä myös yksi puuttuva liitin komponentti REER:in PLC:tä varten.

4.1 Turvalogiikka

Turvalogiikaksi valikoitui REER:in Mosaic tuoteperhettä oleva kokonaisuus. Tähän päädyttiin koska kyseinen kokonaisuus oli koululla käyttämättömänä.

Turvalogiikka koostui seuraavista eri komponenteista, jotka esitellään seuraavissa alaluvuissa.

4.1.1 Mosaic M1 pääyksikkö

REER Mosaic M1 on modulaarinen ja ohjelmoitava turvalogiikka, joka hallitsee koneiden ja laitteiden turvatoimintoja. Se korvaa perinteiset turvareleet, vähentää johdotustarvetta ja mahdollistaa eri turvakomponenttien, kuten valoverhojen ja hätäpysäytysten liittämisen. M1-yksikössä on 8 turvatuloa, 2 konfiguroitavaa tuloa/lähtöä ja 2 OSSD-turvalähtöä. Järjestelmää voidaan laajentaa lisämoduuleilla. Mosaic M1 täyttää korkeat turvallisuusstandardit (SIL 3, PLe) ja soveltuu joustaviin teollisuuden turvallisuusratkaisuihin [6]. M1-yksikkö on esitetty kuvassa 2.

Kuva 2: Mosaic M1 pääyksikkö

4.1.2 Mosaic MI8O2

Mosaic MI8O2 on laajennusmoduuli, joka lisää Mosaic M1 -turvalogiikkaan 8 turvatuloa ja 2 OSSD-turvalähtöä. Se mahdollistaa useampien turvakomponenttien, kuten valoverhojen, turvaporttien ja hätäpysäytysten, liittämisen järjestelmään. Moduuli säilyttää korkeat turvallisuusstandardit (SIL 3, PLe) ja parantaa järjestelmän joustavuutta ja laajennettavuutta [7]. MI8O2-laajennusmoduuli on esitetty kuvassa 3.

Kuva 3: Mosaic MI8O2 laajennusmoduuli

4.1.3 Mosaic MOR4

Mosaic MOR4 on lähtömoduuli, joka laajentaa Mosaic M1 -turvalogiikkaa tarjoamalla 4 relepohjaista turvalähtöä. Se mahdollistaa korkeatasoisen turvallisuuden (SIL 3, PLe) ja soveltuu esimerkiksi moottorien, venttiilien ja muiden laitteiden ohjaukseen. MOR4 lisää järjestelmän joustavuutta ja mahdollistaa useiden turvallisuuspiirien hallinnan yhdellä turvalogiikalla [8]. MOR4-relekortti on esitetty kuvassa 4.

Kuva 4: Mosaic MOR4 relekortti

4.2 Muut komponentit

4.2.1 Turvavaloverho SMPO 603

SMPO 603 on tyypin 4 turvavaloverho, jossa on integroitu muting-toiminto. Se tukee automaattista ja manuaalista käynnistystä sekä EDM-toimintoa. Turvallisuustaso on SIL 3 / PL e / Cat. 4, ja siinä on 30 mm resoluutio, 12 metrin kantama sekä sisäänrakennettu muting-lamppu. Valoverhossa on esikonfiguroidut muting-logiikat ja ohjelmoitavat toiminnot [9]. SMPO 603 turvavaloverho on esitetty kuvassa 5.

Kuva 5: SMPO 603 Valoverho

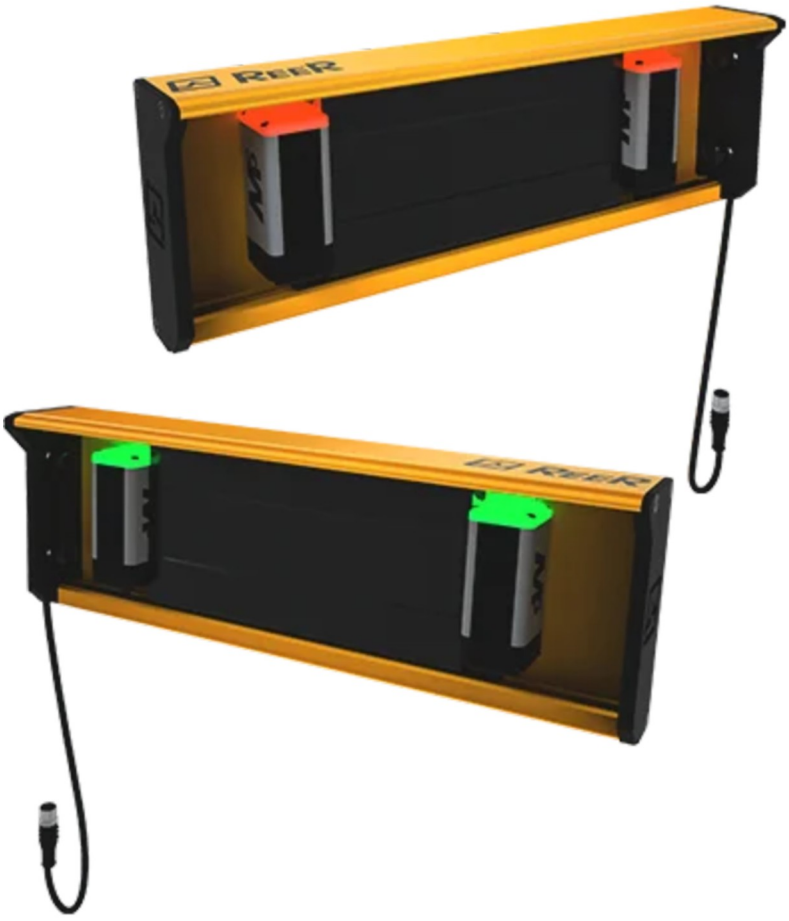
4.2.2 Turvavaloverhon kuittaus ja mykistyksen ohjauslaatikko

SAFEGATE M SGO BOX on lisälaite, joka mahdollistaa nopean ja luotettavan Safegate-turvavaloverhojen liitännän. Se sisältää sisäänrakennetun muting-lampun, merkkivalot, override-valitsimet, uudelleenkäynnistyspainikkeen ja turvarelelähtöjä (2 NO + 1 NC). Liitännät tehdään M12-liittimillä, ja laite on yhteensopiva kaikkien Safegate-mallien kanssa, lukuun ottamatta S-malleja [10]. Safegate-ohjauslaatikko on esitetty kuvassa 6.

Kuva 6: Safegate M SGO BOX

4.2.3 Mykistysanturit kiinnitysrungolla

SAFEGATE MZ L2P V on muting-kiinnikesarja, joka sisältää kaksi M5-monisäteistä valokennosensoria. Se tukee rinnakkaisia säteitä ja yksisuuntaista L-mutingia, joka sopii erityisesti kuljettimiin. Tunnistusjärjestelmä perustuu lähettimeen ja vastaanottimeen, ja siinä on säädettävä korkeus sekä kallistus. Toiminta-alue on enintään 3,5 metriä [11]. MZ L2P V-mykistysanturit kiinnitysrungolla on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7: MZ L2P V kiinnikesarja ja anturit

4.3 Valoverhon asennus

Valoverhon asennuksessa tulee huomioida tarvittava etäisyys vaara-alueeseen. SFS-EN ISO 13855 -standardista [12] löytyy tähän tarkoitettu laskentakaava.

$$S = (K \times T) + C$$

Missä:

- S = valoverhon minimietäisyys vaara-alueesta (mm)
- K = kehon tai käden liikkumisnopeus (mm/ms)
- T = järjestelmän kokonaisvasteaika (ms)
- C = lisäetäisyys sormien/käden läpiviennin estämiseksi (mm)

Käytetään seuraavia arvoja:

- K = 2000 mm/s
- T = turvajärjestelmän vasteaika
    - Valoverhon vasteaika = 11 ms
    - Turvalogiikan vasteaika = 22 ms
    - Kontaktorien vasteaika = 31 ms
    - Kokonaisvasteaika T = 64 ms
- C = 8 x (d-14 mm), missä d = valoverhonsädekoko 30 mm

- Lasketaan C:

$$C = 8 \times (30 - 14)$$

$$C = 8 \times 16 = 128\,mm$$

- Lasketaan minimietäisyys S:
  - $S = (2000 \times 0.064) + 128$
  - $S = 128 + 128$
  - $S = 256\,mm$

Laskennan perusteella valoverho tulisi sijoittaa vähintään 256 mm päähän vaara-alueesta.

Valoverhon lopullinen asennusetäisyys vaara-alueesta oli 558 mm.

5 Testaus ja käyttöönotto

Työn turvalogiikkaa lähettiin toteuttamaan REER:in omalla MSD-ohjelmalla. Ohjelma on hyvin pelkistetty ja selkeä, joka oli omasta mielestä hyvä asia varsinkin, jos tekijä ei ole entuudestaan vastaavia ohjelmia käyttänyt. Ohjelman rakentaminen alkoi hahmottomalla paperille ensin tarvittavat tulot ja lähdöt. Ohjelma on ilmainen mutta vaatii lisenssin toimiakseen, lisenssin saa tekemällä käyttäjätunnukset REER:in verkkosivuille. Ohjelma sisältää kaikki valmistajan turvalaitteet, ja muut peruselementit logiikka ohjelmointia varten. Ohjelmasta löytyy valmiina toimintolohkoja, joilla pystyy toteuttamaan muting-toiminnon.

5.1 Turvalogiikka projekti

Projekti alkoi uuden projektin luonnilla. Seuraavaksi aloitettiin kokoamaan kokonaisuutta, joka sisälsi seuraavat lohkot ja portit:

5.1.1 ESPE-toimintolohko

ESPE (optoelectronic safety light curtain) -toimintolohko valvoo turvavaloverhon tilaa. Jos suojattu alue on estynyt (valoverhon lähtö FALSE), lohkon lähtö on 0 (FALSE). Kun alue on vapaa (valoverhon lähtö TRUE), lohkon lähtö on 1 (TRUE) [13]. Kuvassa 8 näemme, miltä toimilohko näyttää MSD-ohjelmassa.

Parametrit

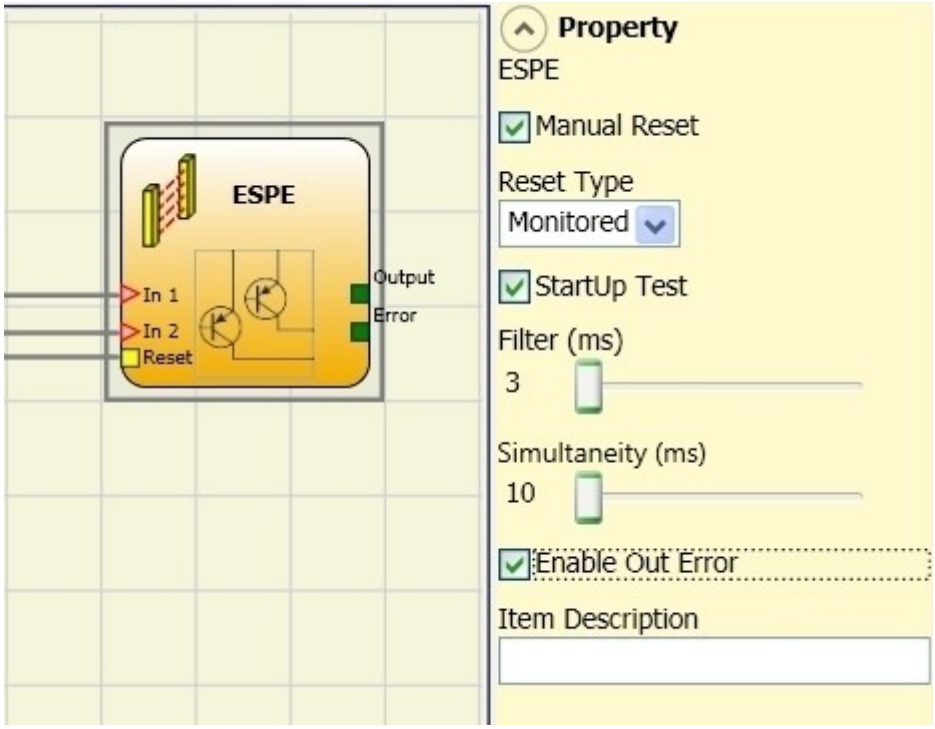
- Manuaalinen nollaus: Vaatii käyttäjän suorittaman kuittauksen, jos suojattu alue on ollut estynyt, vaihtoehtoina manuaalinen ja valvottu nollaus.

- Käynnistystesti: Tarkistaa valoverhon toiminnan laitteen käynnistyessä.

- Suodatin (ms): Poistaa häiriöpulsseja (3–250 ms), vaikuttaa järjestelmän vasteaikaan.

- Samanaikaisuus (ms): Määrittää kahden signaalin vaihtumisen maksimiajan.

- Virheilmoitus: Ilmaisee havaitun vikatilan, jos käytössä.



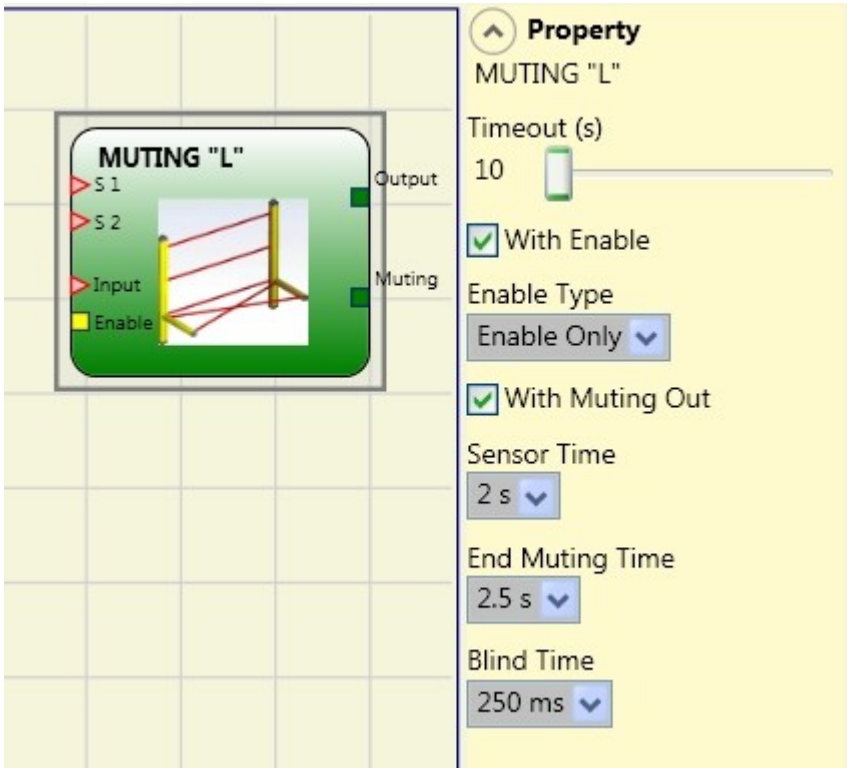
Kuva 8: ESPE toimintolohko

5.1.2 Muting ”L” -toimintolohko

Muting "L" aktivoituu, kun sensorien S1 ja S2 säde katkeaa (järjestyksellä ei ole merkitystä) 2–5 sekunnin sisällä. Muting päättyy, kun suojattu aukko vapautuu. Toiminto voidaan käyttää enintään 4 anturilla (FW Master < 5.0) tai 8 anturilla (FW Master ≥ 5.0) [13]. Kuvassa 9 näemme miltä toimilohko näyttää MSD-ohjelmassa.

Parametrit

- Aikakatkaisu (Timeout): Määrittää muting-syklin maksimikeston (10 sekuntia – rajoittamaton).
- Enable-toiminto: Voidaan asettaa käyttöön tai pois päältä käyttäjän valinnan mukaan.
    - Enable-tyypit:
        - Enable/Disable: Aktivoituu vain nousevalla reunalla, poistuu käytöstä laskevalla reunalla.
        - Enable Only: Vain aktivointi on sallittu, mutta nollaus vaatii Enable-signaalin asettamisen 0:aan.
- Sensoriaika: Määrittää sensorisignaalien vaihtumisen maksimiajan (2–5 sekuntia).
- Muting-päättymisaika: Määrittää ajan (2,5–6 sekuntia) ensimmäisen sensorin vapautuksesta aukon vapautumiseen.
- Blind Time: Sallii valoverhon tilan pysymisen 1:ssä (TRUE) 250 ms – 1 sekunnin ajan, jos esineitä jää aukon jälkeen hetkellisesti valoverhon alueelle.



Kuva 9: Muting L toimintolohko

5.1.3 Muting override -toimilohko

Muting Override -toimintoa käytetään, kun kone pysähtyy virheellisen muting-sekvenssin vuoksi ja suojattu aukko on estynyt materiaalin takia. Toiminto aktivoi OSSD-lähdöt mahdollistaen esteen poistamisen. Override voidaan liittää suoraan Muting-lähtöön.

Override voidaan aktivoida vain, jos muting ei ole aktiivinen (INPUT=0) ja vähintään yksi muting-anturi tai valoverho on estynyt. Override päättyy, kun valoverho ja sensorit vapautuvat, ja lähtö kytkeytyy tilaan 0 (FALSE) [13]. Kuvassa 10 näemme miltä toimilohko näyttää MSD-ohjemassa.

Override-tilat

- Ylläpidetty toiminta: Override pysyy aktiivisena koko prosessin ajan, mutta voidaan aktivoida uudelleen sammuttamalla ja käynnistämällä se.

- Pulssiohjattu toiminta: Override aktivoituu lyhyellä komennolla ja päättyy, kun valoverho ja sensorit vapautuvat tai aikakatkaisu umpeutuu.

Parametrit

- Manuaalinen nollaus: Mahdollistaa lohkon lähdön aktivoitumisen, kun syöte on aktiivinen. Nollaus voi olla manuaalinen tai valvottu.

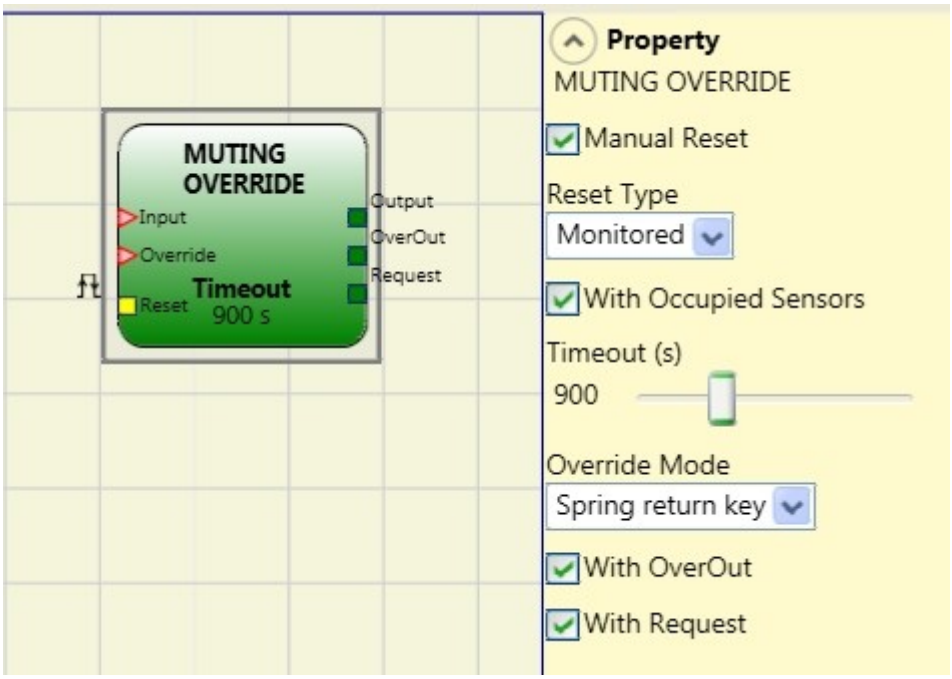
- Sensoreiden tila: T-logiikan sekventiaalisessa tai samanaikaisessa mutingissa sensoreiden tulee olla valittuna, mutta L-logiikassa niitä ei tule valita.

- Aikakatkaisu (Time out): Määrittää override-toiminnon maksimikeston (10 sekuntia – ääretön).

- Override-tila: Valitsee käytettävän ohjaustilan (pulssiohjattu tai ylläpidetty toiminta).

- Over Out: Aktivoi override-tilan ilmaisulähdön.

- With Request: Aktivoi signaalilähdön, joka ilmoittaa override-toiminnon aktivoitavuudesta.



Kuva 10: Muting override toimintolohko

5.1.4 PHOTOCELL (turvavalokenno)

PHOTOCELL-toimintolohko valvoo optoelektronisen turvavalokennon tilaa. Jos valosäde on estynyt (photocell-lähtö FALSE), lohkon lähtö on 0 (FALSE). Kun säde on vapaa (lähtö TRUE), lohkon lähtö on 1 (TRUE). Valokennon vasteajan tulee olla 2–20 ms. Tämä lohko varmistaa turvavalokennon oikean toiminnan ja häiriöiden hallinnan [13]. Kuvassa 11 näemme miltä toimilohko näyttää MSD-ohjemassa.

Parametrit

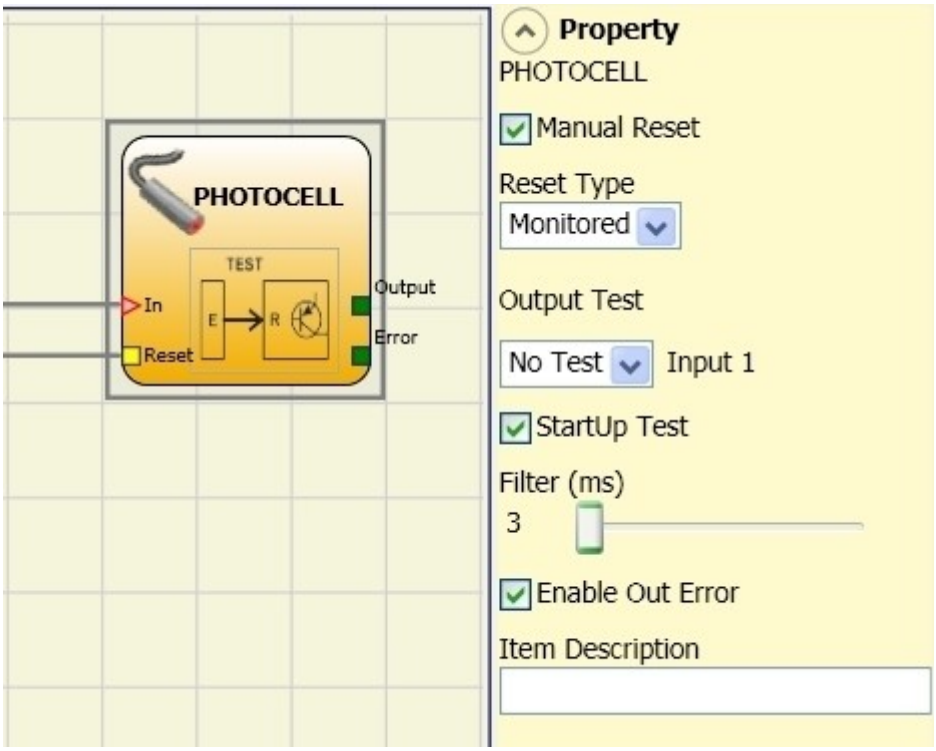
- Manuaalinen nollaus: Vaatii kuittauksen aina, kun turvavalokenno aktivoituu. Nollaus voi olla manuaalinen tai valvottu.

- Lähtötesti: Mahdollistaa testisignaalien lähettämisen valokennon koskettimille oikosulkujen havaitsemiseksi. Yksi testisignaali on pakollinen (valittavissa neljästä vaihtoehdosta).

- Käynnistystesti: Tarkistaa valokennon toiminnan laitteen käynnistyessä.

- Suodatin (ms): Poistaa häiriöpulsseja (3–250 ms), vaikuttaen kokonaisvasteaikaan.

- Virheilmoitus: Ilmaisee havaitun vikatilan, jos käytössä.



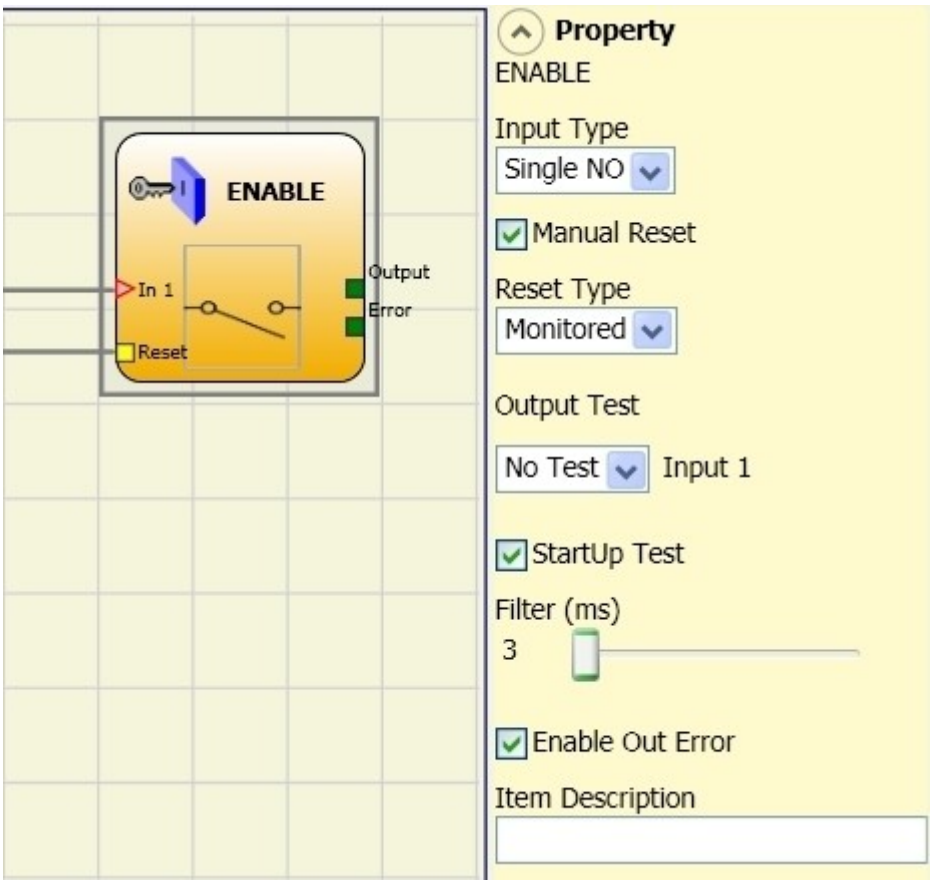
Kuva 11: Photocell toimintolohko

5.1.5 Enable (avainkytkin)

ENABLE-toimintolohko tarkistaa avainkytkimen tilan. Jos avainta ei ole käännetty, lähtö on 0 (FALSE). Kun avain on käännetty, lähtö on 1 (TRUE) [13]. Kuvassa 12 näemme miltä toimilohko näyttää MSD-ohjemassa.

Parametrit

- Tulotyyppi:
    - Yksittäinen NO: Yksi normaalisti avoin (NO) kosketin.
    - Kaksois NO: Kaksi normaalisti avointa (NO) kosketinta.
- Manuaalinen nollaus: Vaatii kuittauksen jokaisen aktivoinnin jälkeen, ellei lähtö seuraa suoraan tulotilaa. Nollaus voi olla manuaalinen tai valvottu.
- Lähtötesti: Mahdollistaa testisignaalien lähettämisen oikosulkujen havaitsemiseksi. Yksi neljästä testisignaalista on valittava.
- Käynnistystesti: Tarkistaa avainkytkimen toiminnan laitteen käynnistyessä.
- Suodatin (ms): Poistaa häiriöpulsseja (3–250 ms), vaikuttaen kokonaisvasteaikaan.
- Samanaikaisuus: Varmistaa, että kahden tulosignaalin vaihtuminen tapahtuu tietyssä aikarajassa (ms).
- Virheilmoitus: Ilmaisee havaitun vikatilan, jos käytössä.



Kuva 12: Enable toimintolohko

5.1.6 Switch (kytkin)

SWITCH-toimintolohko tarkistaa painikkeen tai kytkimen tilan (EI turvakytkimille). Kun painike on painettu, lähtö on 1 (TRUE). Muutoin lähtö on 0 (FALSE) [13]. Kuvassa 13 näemme miltä toimilohko näyttää MSD-ohjemassa.

Parametrit

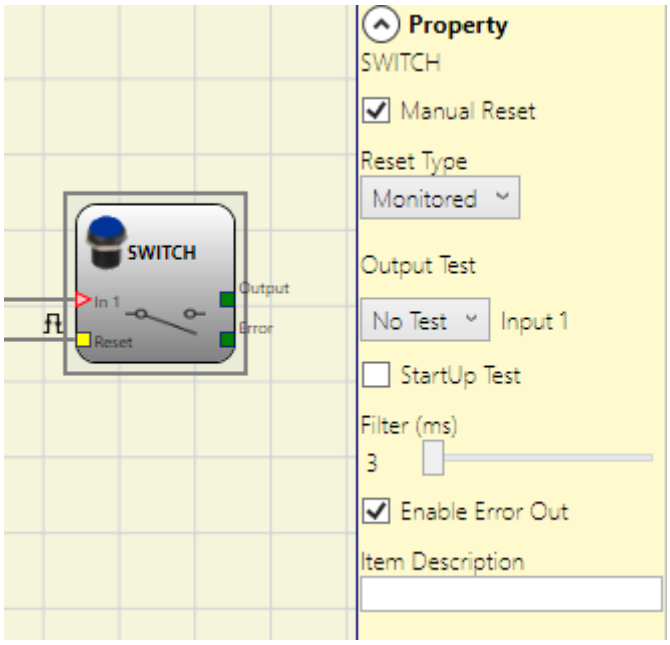
- Manuaalinen nollaus: Vaatii kuittauksen jokaisen aktivoinnin jälkeen, ellei lähtö seuraa suoraan tulotilaa. Nollaus voi olla manuaalinen tai valvottu.

- Lähtötesti: Valittavissa neljä testisignaalia, jotka mahdollistavat oikosulkujen havaitsemisen.

- Käynnistystesti: Tarkistaa kytkimen toiminnan laitteen käynnistyessä.

- Suodatin (ms): Poistaa häiriöpulsseja (3–250 ms), vaikuttaen kokonaisvasteaikaan.

- Virheilmoitus: Ilmaisee havaitun vikatilan, jos käytössä.



Kuva 13: Switch toimintolohko

5.1.7 SR Flip-Flop

SR FLIP-FLOP-operaattori asettaa lähdön Q arvoksi 1 (TRUE) Set-komennolla ja 0 (FALSE) Reset-komennolla [13]. Toiminta määräytyy taulukon 11 mukaan:

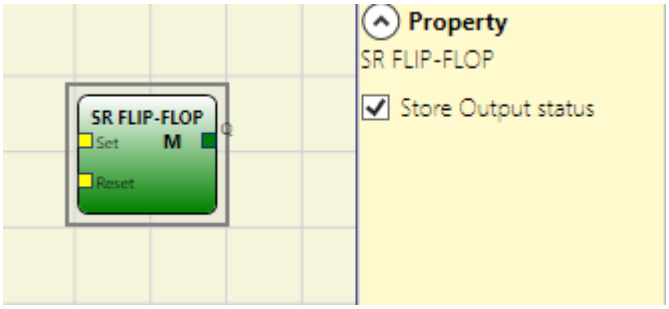
Taulukko 11: SR operaattorin totuustaulukko

SET	**RESET**	**Q (lähtö)**
0	0	Säilyttää muistissa olevan tilan
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Parametrit

- Lähdön tilan tallennus (vain MOSAIC M1S): Jos valittu, Flip-Flop tallentaa lähtötilan ei-haihtuvaan muistiin aina, kun tila muuttuu. Käynnistyksen yhteydessä palautetaan viimeksi tallennettu arvo.

- Tallennettavat yksiköt: Järjestelmään voi lisätä enintään kahdeksan Flip-Flop-yksikköä, joilla on tallennettu lähtötila, ja ne merkitään 'M'-kirjaimella. Kuvassa 14 SR FLIP-FLOP operaattori.



Kuva 14: SR FLIP-FLOP operaattori

5.1.8 Relay (rele)

Relay-toimintolohko tarjoaa NO (normally open) relekontakteja, releen kärki menee kiinni, jos syöte on 1 (TRUE), ja aukeaa jos tulo on 0 (FALSE) [13]. Kuvassa 15 näemme miltä toimilohko näyttää MSD-ohjemassa.

Parametrit

- Kategoria: Tämä valinta määrittää, minkä tyyppinen releтoiminto valitaan ja se voi olla yksi kolmesta kategoriasta:
    - Kategoria 1: Yksittäinen rele
        - Sisäiset releet ovat valvottuja.
        - EDM-palaute (FBK 1-4) ei ole käytössä (ei vaadita Kategoria 1:ssä).
        - Kunkin ulostulon voi asettaa joko automaattiseksi tai manuaaliseksi käynnistyksessä.
    - Kategoria 2: Yksittäinen rele OTE (Output Test Equipment) -ulostuloilla.
        - Sisäiset releet ovat aina valvottuja.
        - Valvottu EDM-palaute.
        - Ulostulo voidaan määrittää joko manuaaliseksi tai automaattiseksi käynnistykseksi. EDM-palautevalvontaa ei voi aktivoida manuaalisessa käynnistyksessä.

        - OTE (Output Test Equipment)-ulostulo on pakollinen, koska se on tarpeen vaarallisten vikojen raportointiin SFS-EN ISO 13849-1: 2015-standardin mukaisesti.

    - Kategoria 4: Kaksinkertainen rele.

        - Kaksi kanavaa, joissa molemmat sisäiset releet ovat valvottuja.

        - Kunkin ulostulon voi asettaa joko automaattiseksi tai manuaaliseksi käynnistyksessä.

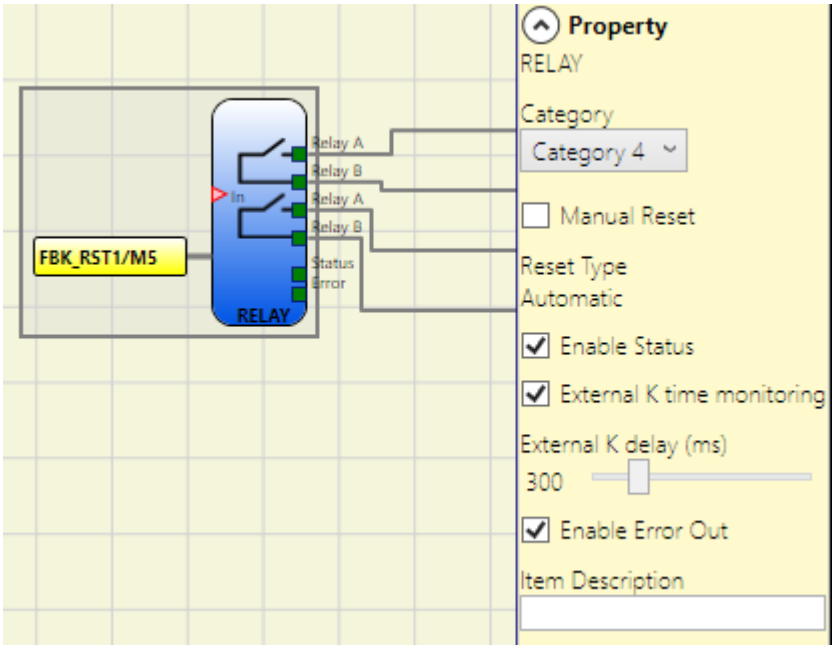
- Manuaalinen nollaus ja nollaustyyppi: Mahdollistaa käynnistyspyynnön jos tulosignaali laskee. Muutoin ulostulo aktivoituu suoraan tuloehtojen mukaisesti.

- Enable Status: Jos valittu, tämä aktivoi releen tilan liittämisen STATUS-ulostuloon.

- Enable external K reading: Jos valittu, aktivoi ulkoisten palautteen lukemisen:

- Ulkoisen K-viiveen asettaminen (ms): Valitse suurin sallittu viive, jonka ulkoiset kontaktorit voivat aiheuttaa. Tämä arvo auttaa tarkistamaan sisäisten releiden ja ulkoisten kontaktorien kytkentöjen välisen viiveen.

- Enable Error Out: Jos valittu, aktivoi ERROR OUT -ulostulon. Tämä ulostulo asetetaan 1 (TRUE), kun ulkoinen palautteen virhe havaitaan.



Kuva 15: Rele toimintolohko

5.2 Käyttöönotto

Käyttöönottovaiheessa alkoi ilmetä ongelmia turvalogiikan kanssa. Ensimmäinen käynnistys yritys pysähtyi ”Error in communication with slave” vikaan. Asiaa selviteltiin yhdessä REER:in Suomen myynnistä vastaavan yrityksen kanssa. Lisäongelmia aiheutti myös M1 moduulille kirjautumista vaativa toimenpide, salasanasta ei ollut tietoa ja konfigurointi muutoksia ei päässyt tekemään ilman kirjautumista moduulille.

Käyttöönotto jäi siis käytännössä tekemättä, mutta projektin pohja on olemassa, joten uskon, että käyttöönotto saadaan vielä jonkun muun toimesta suoritettua loppuun.

6 Yhteenveto

Turvajärjestelmän suunnittelu eteni määritetyssä laajuudessa komponenttien valinnasta riskien arviointiin sekä järjestelmän turvallisuustason (SIL/PFH) määrittelyyn standardien SFS-EN 62061 ja SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesti [2,5]. Suunniteltu järjestelmä koostui valoverhosta muting-toiminnolla, Mosaic M1 -turvalogiikasta, turvareleestä ja moottoriohjauksen kontaktorista. Komponenttien MTTFd-, DC-, ja λ_d-arvot määritettiin valmistajien teknisen dokumentaation ja laskennallisten menetelmien avulla.

Turvalogiikan käyttöönotto ei kuitenkaan onnistunut suunnitellusti. Käytössä ollut Mosaic M1 -moduuli oli suojattu salasanalla, eikä alkuperäistä salasanaa ollut saatavilla. Vaikka valmistajalta saatiin salasanan nollausavain, toimenpide ei palauttanut salasanaa oletusarvoonsa. Lisäksi Mosaic Safety Designer -ohjelmisto ei kyennyt muodostamaan yhteyttä logiikkaan, vaan ilmoitti jatkuvasti virhetilan “Mosaic is not communicating” [13]. Vian arvioidaan johtuvan siitä, että käytössä ollut M1-moduuli oli huomattavan vanha eikä enää täysin yhteensopiva modernien Windows-käyttöjärjestelmien ja ohjelmistoversioiden kanssa. Tämä esti logiikkaohjelmoinnin ja järjestelmän täysimittaisen käyttöönoton.

Lopputuloksen jatkokehitysmahdollisuudet ovat kuitenkin selkeät. Mikäli käytössä olisi ollut uudempi REER Mosaic -sarjan turvalogiikka, yhteys tietokoneeseen olisi todennäköisesti muodostunut ilman ongelmia. Vaihtoehtoisesti järjestelmä voitaisiin toteuttaa muulla, vastaavan suorituskykytason logiikalla, esimerkiksi SICK FlexiSoft- tai Pilz PNOZmulti -ratkaisulla. Tehty suunnitelma, dokumentaatio ja laskelmat muodostavat valmiin perustan järjestelmän käyttöönotolle uudella laitteistolla. Turvajärjestelmän mitoitus ja riskianalyysi ovat valmiiksi tehtyinä siirrettävissä suoraan uuteen toteutusympäristöön, joka nopeuttaa jatkokehitystä merkittävästi.

Lähteet

1 SFS-EN ISO 12100. Koneiden turvallisuus. Yleiset periaatteet riskin arviointiin ja riskin pienentämiseen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS; 2010.

2 SFS-EN ISO 13849-1. Koneiden turvallisuus. Ohjausjärjestelmien turvallisuuteen liittyvät osat. Osa 1: Yleiset periaatteet suunnittelulle. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS; 2015.

3 Euroopan parlamentti ja neuvosto. Direktiivi 2006/42/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY kumoamisesta (konedirektiivi). EUVL L 157, 9.6.2006, s. 24–86.

4 Työturvallisuuskeskus. Koneet, laitteet ja työvälineet . Helsinki: Työturvallisuuskeskus; viitattu 15.4.2025. Saatavilla: <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/tyoympariston-turvallisuus/koneet-laitteet-ja-tyovalineet/>

5 SFS-EN 62061. Koneiden turvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät sähkökäyttöiset ohjausjärjestelmät. Toiminnallinen turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS; 2005.

6 REER. Mosaic Safety Controller – Technical Catalogue. Viitattu 15.4.2025. Saatavilla: <https://www.reersafety.com/en/product/m1-1100000/>

7 REER. Mosaic Safety Controller – Technical Catalogue. Viitattu 15.4.2025. Saatavilla: <https://www.reersafety.com/en/product/mi8o2-1100010/>

8 REER. Mosaic Safety Controller – Technical Catalogue. Viitattu 15.4.2025. Saatavilla: <https://www.reersafety.com/en/product/mor4-1100042>

9 REER. SAFEGATE SMPO 603 – Technical Catalogue. Viitattu 15.4.2025. Saatavilla: <https://www.reersafety.com/en/product/smpo-603-1390283/>

10 REER. SAFEGATE M SGO BOX – Technical Catalogue. Viitattu 15.4.2025. Saatavilla: <https://www.reersafety.com/en/product/m-sgo-box-1390952/>

11 REER. SAFEGATE MZ L2P V – Technical Catalogue. Viitattu 15.4.2025. Saatavilla: <https://www.reersafety.com/en/product/mz-l2p-v-1390811/>

12 SFS-EN ISO 13855. Koneiden turvallisuus. Turvallisuustarvikkeiden ja -järjestelmien asennus – Turvallisuuslaitteiden asennusetäisyyksien laskenta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS; 2010.

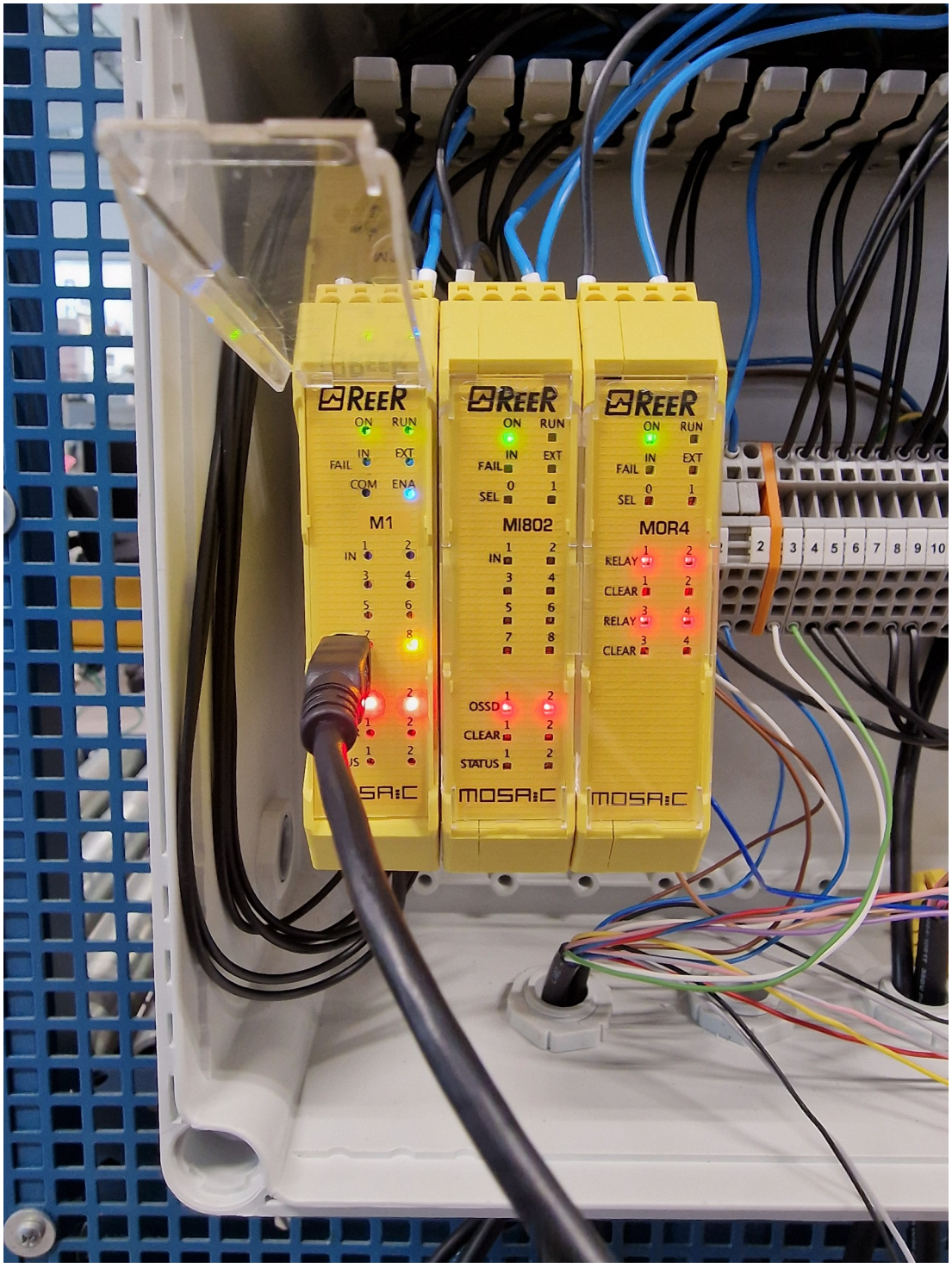
13 REER. Mosaic Safety Designer (MSD), versio 1.9.2.1. Turvalogiikan konfigurointiohjelmisto. Viitattu 15.4.2025.

Kuvia laitteistosta

Kuva 1.1. Asennettu valoverholähetin ja muting.

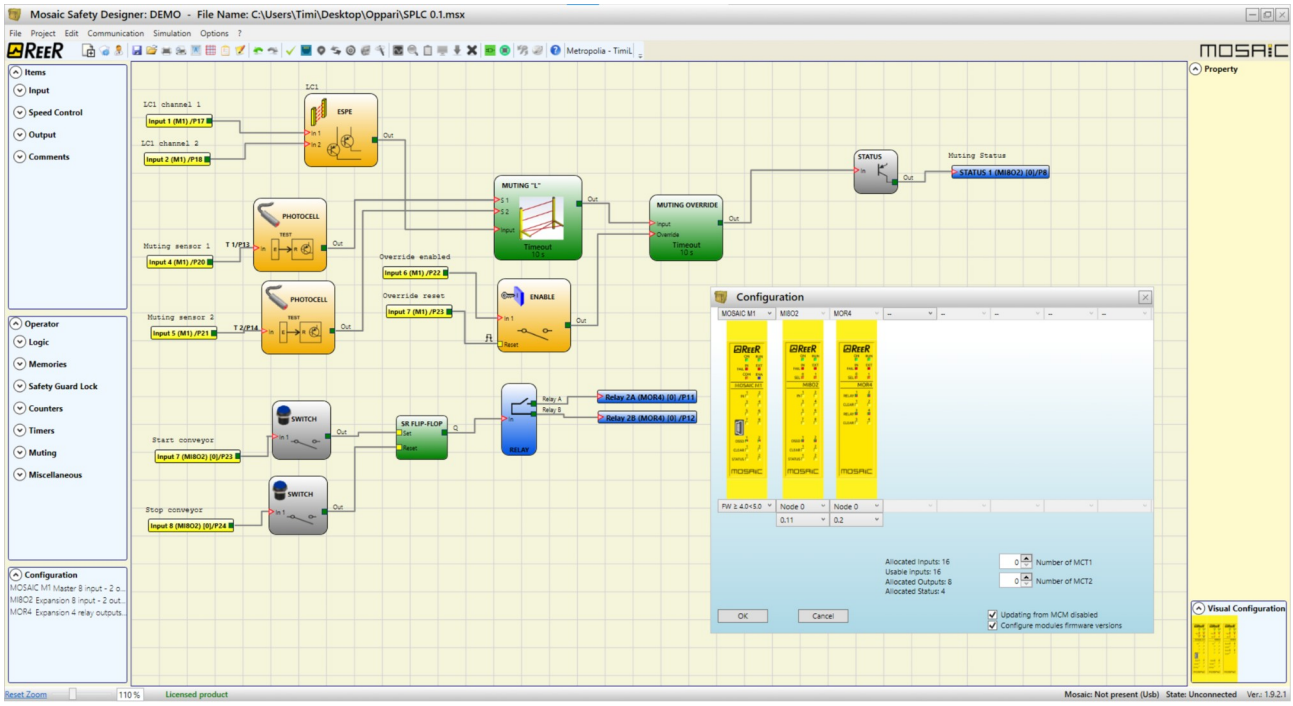
Kuva 1.2. Asennettu valoverhovastaanotin ja muting.

Kuva 1.3. Valoverhon suojaama alue.

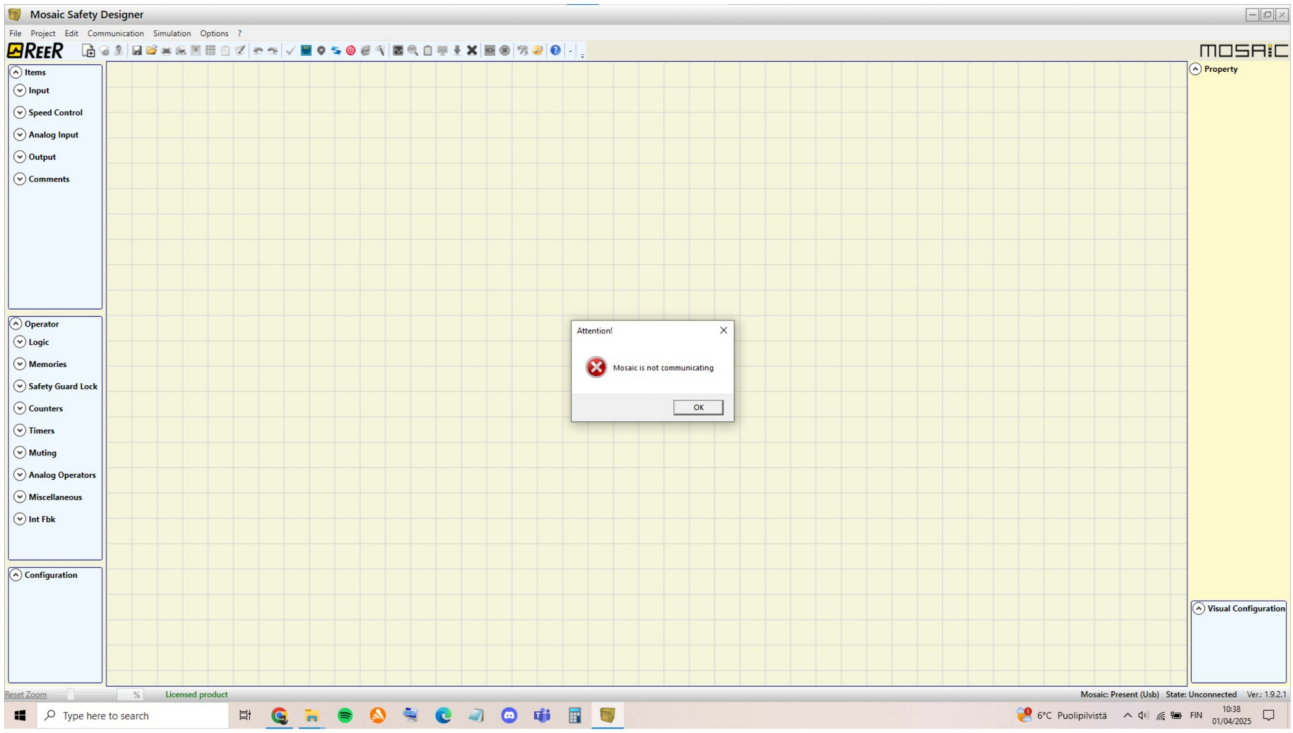


Kuva 1.4. Päällä oleva PLC

Logiikka ohjelma ja vikakoodi



Kuva 2.1. Logiikka ohjelma esitettynä MSD-ohjelmassa



Kuva 2.2. Usein esiintynyt vika MSD-ohjelmassa.