

# Suorituskykylaskenta paperiko- neen käytönohjausten turvatoi- minnoille

Reija Jokela

OPINNÄYTETYÖ  
Lokakuu 2020

Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Koneautomaatio

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Koneautomaatio

JOKELA, REIJA:

Suorituskykylaskenta paperikoneen käytönohjausten turvatoiminnoille

Opinnäytetyö 81 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Lokakuu 2019

---

Opinnäytetyössä tutustuttiin koneturvallisuuden vaatimuksiin Valmet Automation Oy:n näkökulmasta ja eurooppalaisen lainsäädännön kautta. Lisäksi opinnäytetyössä suoritettiin onnistuneesti standardin SFS-ISO 13849-1 yksinkertaistetun mallin mukainen suorituskykylaskenta piireille, joita käytetään tyypillisesti paperikoneen turvallistamiseksi.

Opinnäytetyössä tehdyille materiaalille koneturvallisuudesta ja suorituskykylaskennalle Valmet Automation Oy:llä oli tarve, sillä Valmetin projekteissa tehdään turvalogiikkapiireillä toteutettuja turvatoimintoja. Opinnäytetyössä luotua materiaalia tullaan hyödyntämään samantyyppisten piirien suorituskykylaskennan toistamiseen. Opinnäytetyön materiaali helpottaa asiakkaan eri projekteissa tehtäviä riskien arviointeja, riskin pienentämisprosessia ja suorituskykylaskentaa.

Opinnäytetyössä nojaututtiin standardiin SFS-ISO 13849-1, joka käsittelee turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien osien turvallisuutta ja niiden suunnittelua. Työssä käytettiin myös C-tyypin standardeja SFS-EN 1034-1 + A1 ja SFS-EN 1034-16, jotka määrittelevät paperikoneiden ja paperin jälkikäsitteilykoneiden turvallisuusvaatimukset, ja joista jälkimmäinen keskittyy paperi- ja kartonkikoneiden turvallisuusvaatimuksiin. Näitä käsiteltiin opinnäytetyössä niiltä osin kuin suorituskykylaskennan toteuttamiseksi oli välttämätöntä.

Suorituskykylaskenta on toteutettu SISTEMA-ohjelmistolla, joka on suunniteltu ohjausjärjestelmien turvaratkaisujen vaatimustenmukaisuuden varmentamiseen. SISTEMA-ohjelmistolla tehtyjä laskelmia ei salassapitovelvollisuuksien vuoksi ole sisällytetty opinnäytetyöhön.

Työn onnistumisen kannalta haastavinta oli eri komponenttivalmistajien tuotetietojen etsiminen sekä SISTEMA-ohjelmiston käytön ymmärtäminen ja opettelu. Opinnäytetyössä luodun materiaalin jatkokäytön kannalta on suositeltavaa rohkaista henkilöstöä kehittämään turvallisessa koneen suunnittelussa sekä kouluttaa heitä suorituskykylaskennan perusteisiin ja SISTEMA-ohjelmiston käyttöön.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Machine Automation

JOKELA, REIJA:  
Performance Level for Safety Features of a Paper Machine Control System

Bachelor's thesis 81 pages, appendices 5 pages  
November 2020

---

The purpose of this thesis was to examine the requirements of machine safety from the perspective of Valmet Automation Oy and European legislation. In addition, calculations for determining performance level of circuits typically used to secure a paper machine were successfully performed according to the simplified model of standard SFS-ISO 13849-1.

Valmet Automation Oy had a need for material on machine safety and performance level calculations, because they work often on safety logic circuits in their projects. The material created in the thesis will be used to reproduce the performance calculation for the same type of circuits. The thesis material simplifies risk assessments, risk reduction process and performance level calculation for the client's various projects.

The thesis relied on standard SFS-ISO 13849-1, which deals with the safety and design of parts of safety-related control systems. Also type C standards SFS-EN 1034-1 + A1 and SFS-EN 1034-16 were used in the work. These standards define safety requirements for paper making and finishing machines, the latter of which focuses on safety requirements for paper and board making machines. These were addressed in the thesis as far as necessary for implementing the performance calculus.

Performance calculation was actualized by using SISTEMA software that is designed for evaluating integrity of safety-related machine controls. Calculations made using the SISTEMA software were not included in the thesis due to confidentiality obligations.

The greatest challenge in reaching the goals of this work was searching for product information from different component manufacturers and understanding and learning how to use the SISTEMA software. For further use of the material created in the thesis, it is advisable to encourage personnel to develop their work towards safer machine designing and to educate them on the basics of performance level calculation and the use of SISTEMA software.

---

Key words: 13849-1, sistema, performance level calculation, pl-calculation, machine safety

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	KONETURVALLISUUDEN VAATIMUKSET .....	8
	2.1. Valmetin suhde työ- ja koneturvallisuuteen .....	8
	2.2. Koneturvallisuuden lait ja standardit.....	10
	2.2.1 Konedirektiivi .....	10
	2.2.2 Koneturvallisuusstandardit .....	11
	2.3. Riskien arviointi ja turvatoiminnot.....	15
3	OHJAUSJÄRJESTELMÄN TURVALLISUUS .....	19
	3.1. Koneen käynnistäminen .....	19
	3.1. Koneen pysähtyminen.....	21
	3.2. Odottamattoman käynnistykseen estäminen .....	24
	3.3. Koneen turvalliset nopeudet.....	27
	3.4. Paperikoneen käytön turvallisuus.....	28
4	STANDARDIN SFS-ISO 13849-1 MUKAINEN SUORITUSKYKYLASKENTA .....	33
	4.1. Turvatoimintojen suunnittelu .....	33
	4.2. Vaadittavan suoritustason PL <sub>r</sub> määrittäminen .....	39
	4.3. Turvallisuuteen liittyvä lohkokaavio .....	41
	4.4. Suorituslaskentaan tarvittavat muuttujat .....	47
	4.4.1 Vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika MTTF <sub>D</sub> .....	47
	4.4.2 Diagnostiikan kattavuus DC .....	49
	4.4.3 Yhteisvikaantuminen CCF .....	50
5	SUORITUSKYKYLASKENNAN TOTEUTTAMINEN .....	52
	5.1. Turvalogiikka .....	52
	5.2. Hätäpysäytys.....	53
	5.3. Käynnistysvaroitukset .....	57
	5.4. Odottamattoman käynnistymisen eston linjakäyttö .....	59
	5.5. Nykäyskäyttö.....	61
6	SUORITUSKYKYLASKENNAN TULOKSET JA YHTEENVETO .....	64
	6.1. Hätäpysäytyspiiri .....	64
	6.2. Käynnistysvaroitukset .....	65
	6.3. Odottamattoman käynnistykseen esto .....	66
	6.4. Nykäyskäyttö.....	67
	POHDINTA .....	69
	LÄHTEET .....	72

LIITTEET .....	77
Liite 1. Häätäpysäytys- ja kuittauspiirin sähkökuvat kytkimeltä turvalogiikalle. (Valmet Automation Oy 2019.) .....	77
Liite 2. Käynnistysvaroituspierin sähkökuva kytkimeltä turvalogiikalle. (Valmet Automation Oy 2019.).....	79
Liite 3. Odottamattoman käynnistyksen estopiirin sähkökuva kytkimeltä turvalogiikalle. (Valmet Automation Oy 2019.) .....	80
Liite 4. Nykäskäyttöäpiirin sähkökuva kytkimeltä turvalogiikalle. (Valmet Automation Oy 2019.).....	81

**ERITYISSANASTO**

B <sub>10</sub>	Toimintajaksojen määrä kunnes 10% komponenteista vikaantuu
B <sub>10D</sub>	Toimintajaksojen määrä kunnes 10% komponenteista vikaantuu vaarallisesti
SB	Alajärjestelmä
Cat.	Luokka
CCF	Common Cause Failure, yhteisvikaantuminen
DC	Diagnostic Coverage, diagnostiikan kattavuus, yksikkö: %
DC <sub>avg</sub>	Average Diagnostic Coverage, keskimääräinen diagnostiikan kattavuus, yksikkö: %
MTTF <sub>d</sub>	Mean Time to Dangerous Failure, vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika, yksikkö: vuosi
n <sub>op</sub>	Toimintataajuus, yksikkö: kierroksia/vuosi
PFH <sub>D</sub>	Probability of a Dangerous Failure per Hour, vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaikan todennäköisyys tuntia kohden, yksikkö: 1/H
PL	Performance Level, suoritustaso
PL <sub>r</sub>	Required Performance Level, vaadittava suoritustaso
SISTEMA	Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications, suorituskylaskentaohjelma
TE	Testikanava
OTE	Testauslaitteiston lähdöt

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää koneen turvallistamisen perusteet, määrittää tietyt koneen turvatoiminnot ja suorittaa turvatoimintojen todentaminen suorituskylaskelmien. Turvatoiminnot tulee olla konedirektiivin alaisten yhdenmukaistettujen standardien mukaisia. Tarkoituksena on luoda pohjaa turvatoimintojen suunnittelulle, riskin arvioinnille ja turvatoimintojen vaatimustenmukaisuuden varmistamiselle suorituskylaskennalla. Opinnäytetyön aihe on rajattu keskittymään paperikoneen hätäpysäytys-, odottamattoman käynnistyksen esto-, käynnistyshälytys-, nopeusvalvonta- ja nykäyskäyttöpiirien turvatoimintoihin ja niiden suorituskyvyn todentamiseen.

Konedirektiivi 2006/42/EY velvoittaa, että koneet suunnitellaan vastaamaan konetta koskevia terveys- ja turvallisuusvaatimuksia. Koneen turvallisuus perustuu ensisijaisesti siihen, että mahdolliset vaaratilanteet estetään turvallisen koneen suunnittelun periaatteiden kautta. Näillä periaatteilla suunnitellussa koneessa koneen ohjausjärjestelmällä toteutetut turvatoiminnot ovat koneen turvallistamisen viimeinen vaihe silloin, kun koneen jäännösriskejä ei olla voitu poistaa tai pienentää tarpeeksi turvallisen suunnittelun ja kiinteiden suojiensa sekä turvaetäisyyksien avulla. (Euroopan komissio 2019, 166)

Koneen ohjausjärjestelmällä toteutettujen turvatoimintojen suunnitellussa on tärkeää käyttää voimassa olevia yhdenmukaistettuja standardeja, jotka liittyvät koneen ohjausjärjestelmään ja kyseiseen konealaan. Standardien noudattaminen yleensä myös takaa, että kone on rakennettu konedirektiivin mukaisesti. Koneen turvallisuuteen liittyvä ohjausjärjestelmä suunnitellaan yhdenmukaistetun standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesti ja paperikonestandardien SFS-EN 1034-1 + A1 ja SFS-EN 1034-16 mukaisesti.

Opinnäytetyössä käydään läpi standardin SFS-EN ISO 13849-1 soveltamiseen liittyviä asioita paperikoneen turvatoimintojen suunnittelun näkökulmasta. Opinnäytetyössä todennetaan myös ohjausjärjestelmän vaatimustenmukaisuuden täytyminen ja turvallisuuden tarvittava taso siihen tarkoitettulla suorituskylaskennalla, joka toteutetaan SISTEMA-ohjelmistolla.

## 2 KONETURVALLISUUDEN VAATIMUKSET

### 2.1. Valmetin suhde työ- ja koneturvallisuuteen

Valmetin yhtenä keskeisenä tavoitteena nolla tapaturmaa. Valmetilla pyritään pitämään työ- ja koneturvallisuus sellaisella tasolla, että vaaratilanteita ei syntyisi missään olosuhteissa. Tason ylläpitämiseksi hyödynnetään kaikkia käytössä olevia keinoja. Valmetilla työ- ja koneturvallisuutta käsitellään niin, että valituilla turvatoimilla pyritään aina ensisijaisesti turvaamaan ihmistä eikä tuotantokoneita tai -prosessia. (Valmet Technologies Oy 2016)

Valmet toimittaa asiakkailleen vain korkean teknologian tuotteita ja prosesseja, joiden turvallisuuden taso on jo suunnittelun kautta pyritty saamaan mahdollisimman korkeaksi. Valmet tuotteiden turvallisuustaso täyttää kansainvälisten ja kansallisten lakien ja standardien olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Työ- ja koneturvallisuutta koskevien lakien sekä standardien noudattaminen on Valmetilla turvallisuuden perusehto. (Valmet Technologies Oy 2016)

Tuotteiden ja työtapojen turvallistaminen on Valmet työympäristössä osa normaalia jokapäiväistä toimintaa ja työtehtäviä. Koneiden ja työn turvallistaminen pyritään aina pitämään mukana osana toimintaprosessia, joka jatkuu aina asiakkaan tuotteen asennukseen ja käyttöönottoon asti. Tuotteiden turvallisuus huomioidaan lisäksi myös ohjeissa ja toimintatavoissa, jotta Valmetin tuotteita voidaan käyttää ja niille tehdä tarvittavia toimenpiteitä asianmukaisesti ilman, että toiminnot aiheuttavat terveydellistä riskiä. (Valmet Technologies Oy 2016)

Valmetille on tärkeää asiakasyritysten suhtautuminen työ- ja koneturvallisuuteen. Valmet edellyttää asiakkailtaan, että he myös pyrkivät saavuttamaan työssään ja tuotteissaan korkean työ- ja koneturvallisuuden tason. Siksi Valmet tukee asiakkaitaan korkean turvallisuuden tason ylläpitämisessä tuotteidensa koko elinkaaren ajan. (Valmet Technologies Oy 2016)



Valmet edellyttää osana tuotteidensa toimitusta, että asiakkaat kunnioittavat turvalaitteiden ja -ohjeiden koskemattomuutta. Valmet edellyttää tuotteiden valmistajana, että asiakas ei tee muutoksia Valmetin toimittamaan koneeseen tai ohjeistukseen ilman Valmetin hyväksyntää. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki konetta koskevat huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet ovat asiakkaan vastuulla. Valmet kuitenkin edellyttää, että Valmetin asentamia turvalaitteita ei saa koskaan poistaa käytöstä, tehdä toimimattomaksi tai jättää asentamatta asiakkaan toimesta. Turvalaitteiden huoltotoimenpiteissä varaosiksi kelpaavat vain alkuperäisiä komponentteja vastaavat komponentit, joilla on alkuperäistä vastaava tai korkeampi turvallisuuden taso. (Valmet Technologies Oy 2016)

Koneiden toimintoihin liittyy aina vähintään osittain ihminen ja ihmisen tekemä työ. Koneisiin sekä niiden toimintoihin liittyy aina vaaroja, jotka pitää tunnistaa ja osata ottaa huomioon onnettomuuksien välttämiseksi. Turvallisuus onkin viime kädessä jokaisen henkilön itsensä luoma ja jokaisen omalla vastuulla. Oikeanlaiset työtavat, turvavarusteet sekä ohjeiden noudattaminen ja huolellisuus edesauttavat jokaisen omaa sekä muiden ihmisten turvallisuuden varmistamista. Siksi Valmetille onkin tärkeää, että myös asiakasyrityksessä konetta käyttävällä ja huoltavalla henkilöstöllä on tarvittava koulutus ja ymmärrys koneen toiminnasta ja siitä mahdollisesti aiheutuvista vaaroista. Valmet edellyttää myös, että koneen riskien pienentämiseksi tehtyjä turvatoimia noudatetaan ja ylläpidetään myös asiakkaan puolesta. (Valmet Technologies Oy 2016)

Valmet tukee asiakastaan saavuttamaan nolla tapaturmaa -periaatteen muun muassa laatimalla asiakkailleen työturvallisuusohjeet, jotka auttavat asiakasta ymmärtämään turvallisuuden kokonaisuuden merkityksen. Valmet suosittelee, että asiakkaan henkilöstöstä kaikki konetta käyttävät tai huoltavat henkilöt perehtyvät ennen työtään Valmetin laatimiin turvallisuusohjeisiin ja suosittelee, että turvallisuusohjeet ovat aina kaikkien työntekijöiden saatavilla työpisteillä. (Valmet Technologies Oy 2016)

## 2.2. Koneturvallisuuden lait ja standardit

Koneen suunnittelua ja valmistusta koskee Suomessa keskeisesti konelaki 12.6.2008/400 (Valtion asetus koneiden turvallisuudesta) ja eurooppalainen konedirektiivi 2006/42/EY, joka on Suomessa voimassa valtioneuvoston asetusena koneiden turvallisuudesta. (Siirilä & Tytykoski 2016, 108)

Koneen suunnittelua ja valmistusta koskevien lakien noudattamiseksi on luotu erilaisia standardeja, joiden ohjeita ja määräyksiä noudattamalla koneen valmistajalla on mahdollista valmistaa kone konedirektiivin vaatimusten mukaiseksi. Suomessa standardeista vastaa Suomen Standardoimisliitto SFS ry, jonka tehtävän on standardien laadinta, vahvistaminen, julkaiseminen, myynti ja tiedottaminen. Pääosa SFS ry laatimista standardeista perustuu kansainvälisiin tai eurooppalaisiin standardeihin. (SFS ry n.d)

### 2.2.1 Konedirektiivi

Konedirektiiviä sovelletaan jokaiseen uuteen valmiiseen ja osittain valmiiseen koneeseen, joita aiotaan valmistaa useita kappaleita, yksittäin tai omaan käyttöön. Kyseinen konedirektiivi on myös saatettu Suomen lainsäädäntöön koneasetuksena 12.6.2008/400. Tätä lainsäädäntöä on noudatettu jo vuodesta 2010 lähtien ja se velvoittaa ensisijaisesti koneiden valmistajia. (Kiwa Inspecta osa 1)

Konedirektiiviä sovelletaan kaikkiin koneisiin, jotka ovat toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmiä. Koneen tulee toimia mekaanisella voimansiirtojärjestelmällä sekä koneessa tulee olla ainakin yksi liikkuva osa tai komponentti. Konedirektiivissä on myös oma osuutensa, joka koskettaa osittain valmiita koneita eli puolivalmisteita. (Kiwa Inspecta osa 1)

Konedirektiivi sisältää tarkkaa tietoa koneenvalmistajaa koskevista velvollisuuksista, ohjeita koneiden suunnitteluun, rakentamiseen ja niihin liittyviin olennaisiin terveys- ja turvallisuusvaatimuksiin. Konedirektiivi sisältää myös ohjeet koneiden vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle ja markkinoille saattamiselle. (Kiwa Inspecta osa 1)

Valmistetun koneen tulee olla konedirektiivin määräysten mukainen, ennen kuin se voidaan ottaa ensimmäistä kertaa käyttöön ETA-alueella. Tähän kuuluvat myös ETA-alueen ulkopuolelta tulevat uudet ja vanhat koneet, joiden vaatimustenmukaisuus tulee osoittaa ennen niiden käyttöönottoa. Jos ETA-alueen ulkopuolinen valmistaja ei ole huolehtinut konedirektiivin mukaisten velvollisuuksiensa täyttymisestä vastaa koneen maahantuoja näistä velvollisuuksista. (Kiwa Inspecta osa 1)

Kaikkien koneita suunnittelevien ja valmistavien yritysten ja henkilöiden tulisi tutustua konedirektiiviin, sillä koneen valmistuksen yleiset periaatteet on otettava huomioon sovellettaessa konedirektiivin olennaisia vaatimuksia. Tärkeimmät näistä periaatteista ovat:

- riskien arviointi
- ohjeet olennaisten vaatimusten sovellettavuudesta
- määritelmä tekniikan nykytasosta
- terveys- ja turvallisuusvaatimukset. (Kiwa Inspecta osa 1)

Nämä auttavat valmistajaa ymmärtämään turvallisen koneensuunnittelun ja -valmistuksen perusajatuksen, joista tärkein on turvallistamistoimenpiteiden ensisijaisuusjärjestys ns. kolmen askeleen järjestelmä. Kolmen askeleen järjestelmässä valmistaja pyrkii valitsemaan koneelleen tarkoituksenmukaiset ratkaisut koneen turvallisuuden parantamiseksi ja riskien pienentämiseksi. (Kiwa Inspecta osa 1)

### 2.2.2 Koneturvallisuusstandardit

Koneturvallisuuden standardeissa tarkastellaan yksityiskohtaisesti koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä turvallisuuskysymyksiä ja -vaatimuksia. Standardeissa esitellään myös ratkaisuja, jotka ottavat huomioon maailman tämänhetkisen tekniikan tason. Nämä helpottavat koneenvalmistajaa koneen suunnittelussa ja rakentamisessa, sillä noudattamalla yhdenmukaistettuja koneturvallisuuden standardeja ei valmistajan välttämättä tarvitse perehtyä konedirektiiviin.

Koneturvallisuuden standardeja noudattamalla valmistaja voi todistaa, että valmistetun tuotteen osalta konedirektiivin vaatimukset on täytetty. (Rapinoja 2015, 5)

Koneturvallisuuteen liittyviä uusia ohjausjärjestelmiä suunniteltaessa standardi SFS-EN ISO 13849 on suunnittelijan yksi tärkeimmistä B-tyyppin standardeista. Paperikoneen turvaohjausjärjestelmän suunnittelussa tulee ottaa myös huomioon C-tyyppin standardi SFS-EN 1034-1 + A1, joka käsittelee paperi- ja paperin jälkikäsitteilykoneiden turvallisuusvaatimuksia ja tarkemmin SFS-EN 1034-16, joka koskee pelkästään paperi- ja kartonkikoneita. Taulukossa 1 on esitelty erityisesti paperikoneen turvallistamisen kannalta oleellisia koneturvallisuusstandardeja. (Valmet DNA Drive Controls 2019)

TAULUKKO 1. Paperikoneen turvallistamisen kannalta oleellisia A- ja B- tyyppin koneturvallisuusstandardeja sekä C-tyyppin standardit koskien paperikonetta. (Koneturvallisuuden standardit 2019, 5;6;8)

Standardi	Selite
SFS-EN ISO 12100	Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen
SFS-ISO/TR 14121-2	Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä
SFS-EN ISO 13854	Koneturvallisuus. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi
SFS-EN ISO 13857	Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille
SFS-EN ISO 13855	Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet
SFS-EN ISO 14119	Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta
SFS-EN ISO 14122	Koneiden kiinteät kulkutiet
SFS-EN ISO 7010	Kuvatunnukset ja piirrosmerkit. Turvallisuusvärit ja turvallisuusmerkit. Rekisteröidyt turvallisuusmerkit
SFS-EN ISO 14118	Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistymisen estäminen

Standardi	Selite
SFS-EN ISO 13850	Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet
SFS-EN ISO 13851	Koneturvallisuus. Kaksinkäsinhallintalaitteet. Suunnittelu- ja valintaperiaatteet
SFS-EN ISO 4413	Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset
SFS-EN ISO 4414	Pneumaattinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset
SFS-EN ISO 13849-1	Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet
SFS-EN ISO 13849-2	Osa 2: Kelpuutus
SFS-EN 62061	Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus
SFS-EN 60204-1	Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset
SFS-EN 61508	Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus.
SFS-EN 61511-1	Toiminnallinen turvallisuus. Turva-automaatiojärjestelmät prosessiteollisuussektorille.
SFS-EN 1034-1	Koneturvallisuus. Paperi- ja paperin jälkikäsittelykoneiden turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Yleiset vaatimukset
SFS-EN 1034-16	Osa 16: Paperi- ja kartonkikoneet

Koneiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnitteluun voidaan soveltaa kahta eri standardia; SFS-EN 62061 ja SFS-EN ISO 13849-1. Molemmat standardit määrittävät koneiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien

suunnittelun sekä toteutuksen vaatimukset. Standardien näkökulmat ovat erilaiset, mutta oikein käytettynä molempia standardeja voidaan käyttää tehokkaasti riskin pienentämiseen toisiaan vastaaville tasoille. (SFS-EN ISO 13849-1, 7)

Standardia SFS-EN ISO 13849-1 käytetään lähinnä perusstandardina koneiden ohjausjärjestelmien suunnitteluun ja arvioimiseen, sillä se kattaa muutkin kuin pelkästään sähköiset ohjausjärjestelmän osat esimerkiksi mekaaniset ja hydrauliset osat, kun taas SFS-EN 62061 standardia käyttävät lähinnä komponenttivalmistajat. SFS-EN 62061 kattaa vain sähköiset osat ja siksi sitä ei voida yksinään käyttää sellaisten järjestelmien turvallisuuden arvioimiseen, jotka sisältävät sähköisten järjestelmien lisäksi muuta tekniikkaa. (Siirilä 2009, 103;104)

Standardi SFS-EN ISO 13849 on jaettu kahteen osaan, joista ensimmäinen osa 13849-1 keskittyy uuden ohjausjärjestelmän suunnitteluun (SFS-EN ISO 13849-1, 8) ja toisessa osassa 13849-2 keskitytään jo suunnitellun ohjausjärjestelmän kelpuutusprosessiin (SFS-EN ISO 13849-2, 10).

Standardi SFS-EN ISO 13849-1 on tärkeä uuden ohjausjärjestelmän suunnittelun kannalta, sillä se antaa opastusta suunnitteluun ja ohjeita järjestelmän turvalliseen integrointiin. Standardi määrittelee turvallisuuteen liittyville ohjausjärjestelmän osille sellaiset ominaisuudet, joiden avulla suunnitellut turvatoiminnot saavuttavat niiden toteuttamiseen vaadittavat suoritustasot. (SFS-EN ISO 13849-1, 8)

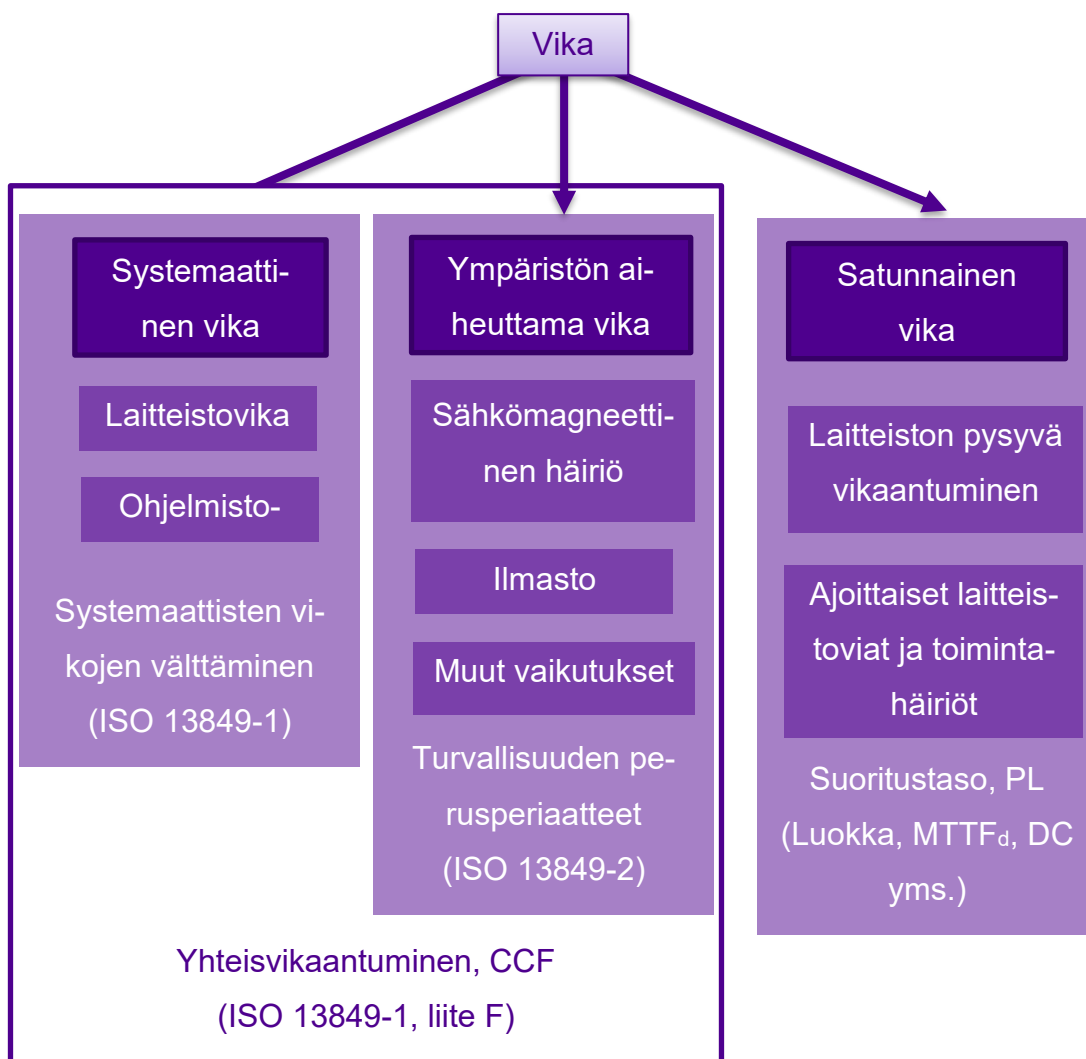
Standardi koskee kaikenlaisia koneen turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia riippumatta niiden toimintatavasta, käytetystä teknologiasta tai energianlähteestä. Standardi ei kuitenkaan erittele erilaisia turvatoimintoja tai niiden suoritustasoja, joita on aikaisemmin käytetty tietyissä turvallistamistapauksissa. Standardi esittelee ainoastaan erityisvaatimukset niille turvallisuuteen liittyville ohjausjärjestelmän osille, joihin liittyy ohjelmoitavia elektronisia järjestelmiä. Näitä standardissa esiteltyjä periaatteita voidaan soveltaa myös sellaisiin ohjausjärjestelmän osiin, jotka liittyvät vain osittain koneturvallisuuteen. (SFS-EN ISO 13849-1, 8)

### 2.3. Riskien arviointi ja turvatoiminnot

Koneen ja sen suunnittelun aikana tehtävästä riskien arvioinnista riippuu suurelta osin siitä, että minkälaisia turvatoimintoja suunniteltavassa koneessa tarvitaan. Riskin arvioinnista riippuu myös minkälaisiin vikoihin ja vaaratilanteisiin koneen käytössä on varauduttava. Yleisesti koneiden turvallisuus ja näin ollen riskien pienentäminen perustuu merkittävältä osalta koneen ohjausjärjestelmän kautta toteutettuihin turvatoimintoihin. (Siirilä & Kerttula 2007, 130)

Koneen riskin arviointiprosessissa on kolme päävaihetta; riskianalyysi, riskien arviointi ja riskien hallinta. Riskianalyysi koostuu koneen raja-arvojen määrittämisestä ja vaarojen tunnistamisesta. Riskiarviointi aloitetaan määrittämällä koneen raja-arvot esimerkiksi koneen tila-, aika- ja käyttörajat. Raja-arvoja määritettäessä tulee huomioida koneen koko elinkaari. Tämän jälkeen pyritään tunnistamaan kaikki koneen aiheuttamat vaarat, jotka voivat olla esimerkiksi mekaanisia tai sähköstä aiheutuvia vaaroja, melua, tärinää, säteilyä tai huonosta ergonomiasta aiheutuvia riskejä. (Kiwa Inspecta osa 1)

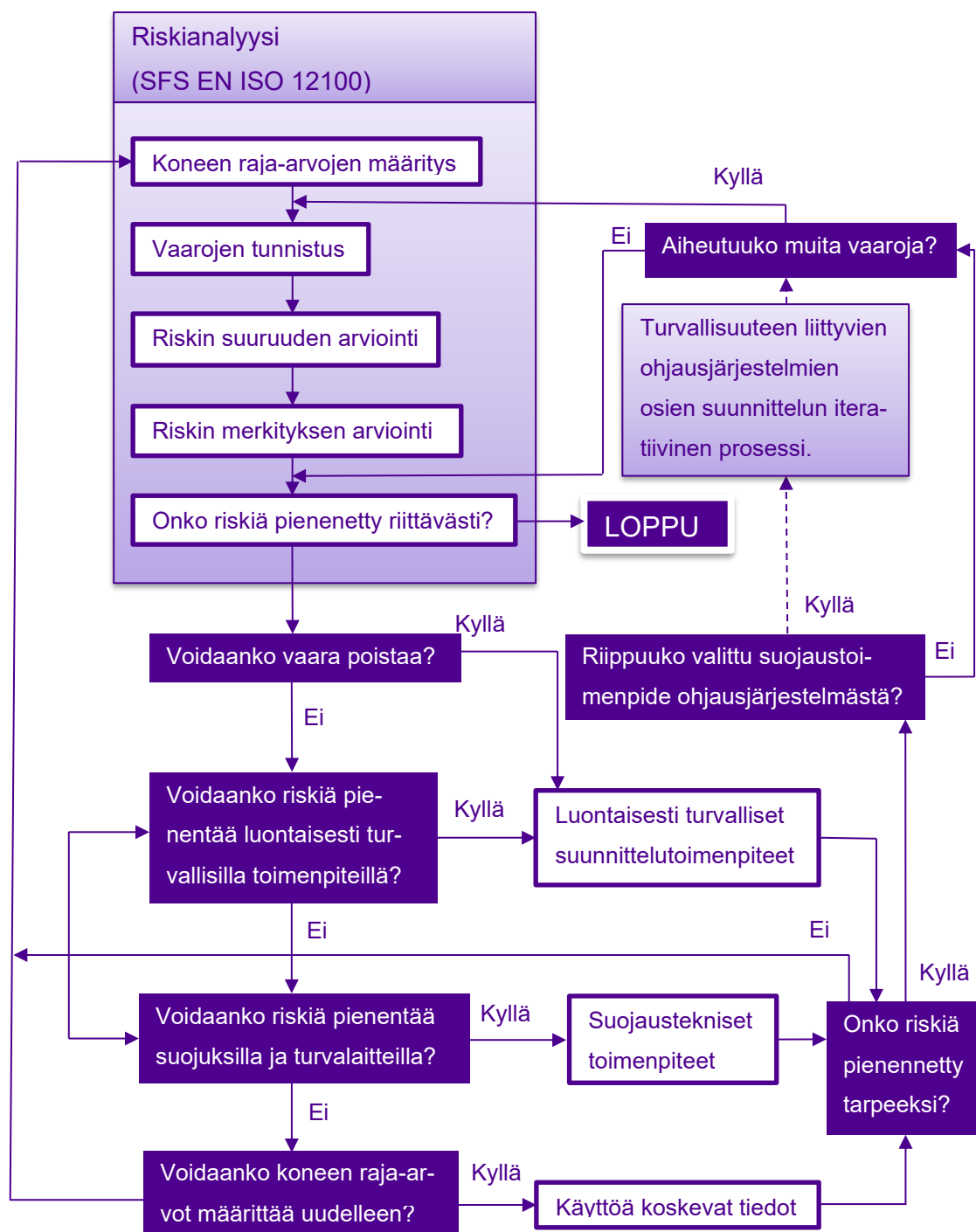
Kuviossa 1 on havainnollistettu standardien 13489-1 ja 13489-2 suhtautuminen mahdollisiin järjestelmän vikoihin ja niiden torjuntamenetelmiin.



KUVIO 1. Standardin SFS-EN ISO 13489-1 mukaiset järjestelmäviat ja niihin viittaavien standardien osat. (Perustuu SFS-EN ISO 13489-1).

Riskianalyysin jälkeen arvioidaan löydettyjä vaaroja. Vaarat tulee luokitella riskin merkityksen mukaan niiden todennäköisyyden ja vakavuuden avulla. Riskejä vertaillaan toisiinsa, jotta ne voidaan arvioida tärkeysjärjestykseen. Riskin suuruuden arviointiin on monia erilaisia tekniikoita kuten riskigraafi ja -matriisi. (Kiwa Inspecta osa 1) Luvussa 4.2. kuviossa 6 esitellään standardin SFS-EN ISO 13489-1 mukainen riskigraafi, jota voidaan käyttää riskin suuruuden arviointiin. Lopuksi riskianalyysin ja riskien suuruuden arvioinnin perusteella arvioidaan riskien merkittävyys, jolloin tehdään päätös riskin hyväksyttävyydestä ja siitä, onko riskin mahdolliset pienentämistavoitteet saavutettu. Yhdessä nämä neljä vaihetta koostavat riskin arvioinnin prosessin. Kuviossa 2 on esitelty riskien hallintaprosessi kaaviona. (Kiwa Inspecta osa 1)





KUVIO 2. Havainnollistus riskin arvioinnista ja riskin pienentämisestä. (Perustuu standardeihin SFS-EN ISO 13849-1, 18 ja SFS-EN ISO 12100, 30)

Riskin arviointiprosessin jälkeen pyritään pienentämään riskiä esimerkiksi hyödyntämällä luontaisesti turvallisia suunnittelutoimenpiteitä. Toimenpiteiden jälkeen arvioidaan uudestaan, että onko riski pienentynyt siedettävälle tasolle. Jos riskiä on saatu tarpeeksi pienennettyä, voidaan jatkaa koneen suunnittelu- ja rakennusprosessissa eteenpäin. Jos kuitenkin haluttua riskitasoa ei olla saavu-

tettu, aloitetaan riskin pienentämisprosessi alusta. Riskin pienentämisessä suunnitteluvaiheen toimenpiteet ovat ensisijaisia ja tehokkaimpia. (Kiwa Inspecta osa 1)

Riskin arvioinnin yhteydessä vaarat arvioidaan vähäisestä riskistä erittäin suureen riskiin, arvioimalla vahingon vakavuutta ja vahingon esiintymistodennäköisyyttä. Valmetilla riskiluokat on jaettu kahteen ryhmään; ei toimenpiteitä ja lisätoimenpiteitä vaativiin riskeihin. Jaottelu on esitelty taulukossa 2. (Valmet Automation Oy n.d)

TAULUKKO 2. Riskin suuruudesta riippuvat toimenpiteet. (Perustuu: Valmet Automation Oy n.d)

Riskin suuruus	Toimenpiteet
Vähäinen riski	Ei lisätoimenpiteitä
Kohtalainen riski Suuri riski Erittäin suuri riski	Lisätoimenpiteet: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kiinteiden suojiin käyttö</li> <li>2. Turvalaitteet *               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turvaportit, -valoverhot, -matot, -skannerit</li> </ul> </li> <li>3. Pakko-ohjaukset *               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koneen pakkokäyttö, esim. nykäyskäyttö</li> </ul> </li> <li>4. Jäännösriskien hallinta               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Käyttö- ja huolto-ohjeet</li> <li>• Koulutus</li> <li>• Varoituskyltit ja -maalaukset</li> <li>• Varoitusvalot ja -äänimerkit</li> </ul> </li> </ol>
*Automaation keinoin tehtävä turvallistaminen: lisäksi tehtävä SISTEMA-tarkastelu vaaditun suoritustason PL saavuttamisen varmistamiseksi	

### 3 OHJAUSJÄRJESTELMÄN TURVALLISUUS

#### 3.1. Koneen käynnistäminen

Mikä tahansa kone saa käynnistyä ainoastaan käynnistykseen tarkoitettuun hallintaelimeen vaikuttamisesta. Vaikuttamisella tarkoitetaan esimerkiksi henkilön tekemää painikkeen painamista. Kone ei saa missään tapauksessa käynnistyä esimerkiksi sähkövirtaan kytkeytymisestä tai muun energian syötön vaikutuksesta. Kone ei saa myöskään käynnistyä silloin, kun koneen valintakytkintä siirretään asentoon, joka ei ole käynnistyskäsky tai koneen erillistä kuittauspainiketta painettaessa. (Siirilä & Kerttula 2007, 131)

#### Koneen käynnistysvaroitus

Käynnistysvaroitus on ohjausjärjestelmän toiminto, jonka avulla sallitaan koneen käynnistäminen tietyn pituisen ääni- ja/tai valomerkin jälkeen. Koneen käynnistysvaroitusta käytetään koneissa tai konelinjan alueilla, joissa ei ole täysin esteetöntä näkyvyyttä kaikkiin koneen työskentelykohtiin, tai joissa työntekijöiden välinen yhteydenpito on hankalaa. Sellaisissa koneissa, joka koostuu monesta eri koneyksiköistä, joka on kooltaan niin suuri, että koneen eri alueiden välillä ei ole esteetöntä näkyvyyttä tai hyvää yhteydenpitoa ei ole mahdollista toteuttaa, tulee käynnistysvaroitus antaa ennen jokaisen yksikön käynnistämistä silloin, kun niitä käynnistetään yksittäin. (SFS-EN 1034-1 + A1, 38)

Paperikoneita koskevan standardin SFS-EN 1034-16 mukaan kuitenkin sellaisien koneen osien kohdalla, joiden seisottaminen pysähdyksissä pitkään ei ole mahdollista, voidaan sallia liikkuvan alhaisella nopeudella ennen koneen virallista käynnistämistä. Käynnistysvaroitus on kuitenkin annettava myös näiden koneen osien kohdalla ennen kuin kone voidaan käynnistää tuotantonopeudella. Tällöin myös pätevät samat vaatimukset koneen käynnistysvaroituksesta kuin pysähdyksissä olevien koneiden ja koneen osienkin käynnistämisen kohdalla. (SFS-EN 1034-16:2012, 17)

Käynnistysvaroituksen äänimerkin lakkaamisen jälkeen ja ennen tapahtuvaa käynnistymistä on vaaravyöhykkeellä olevalla henkilöllä oltava tarpeeksi aikaa ja

mahdollisuus poistua vaaravyöhykkeeltä tai vaihtoehtoisesti estää koneen käynnistyminen esimerkiksi painamalla hätäpysäytyspainiketta. (Siirilä & Kerttula 2007, 83)

Erilaisilla paperikoneilla ja paperin jälkikäsitteilykoneilla käynnistysvaroitukset on jaettu luokkiin taulukon 3 mukaisesti. Taulukosta selviää käynnistysvaroituksen varoitussignaalin vähimmäisvaatimukset luokittain. Kyseistä konetta koskevasta C-tyyppin standardista löytyy käytettävä käynnistysvaroituksen luokka. (SFS-EN 1034-1 + A1, 38) Paperi- ja kartonkikoneilla käytetään standardin EN 1034-16 mukaisesti luokkaa A (EN 1034-16:2012, 17).

TAULUKKO 3. Käynnistysvaroitusten luokat. (SFS-EN 1034-1 + A1, 38)

Luokka	Signaalin kesto-aika s	Odotusaika s	Valmiusaika s
A	5	15	≤ 30
B	3	5	≤ 30
C	1..3	3	≤ 15

Paperikoneella ja sen läheisyydessä on oltava tarvittava määrä käynnistysvaroituslaitteita, jotta jokainen henkilö paperikoneella tai sen ympäristössä kuulee käynnistysvaroitusaänen. (SFS-EN 1034-16:2012, 17) Käynnistysvaroitusaänen on oltava niin kova ja äänen tyypiltään sellainen, että mahdolliset muut ympäristön äänet eivät peitä käynnistysvaroituksen ääntä ja se on oltava tunnistettavissa ympäröivästä melusta huolimatta. (SFS-EN 61310-1, 22)

Käynnistysvaroittimen käytössä on kuitenkin huomioitava se, että sitä ei voida käyttää koneen käynnistykseen estämiseen. Käynnistysvaroitusta tekee ainoastaan koneen käynnistyksestä vähemmän odottamattoman. Tämän vuoksi käynnistysvaroitusta on aina toteutettava siten, että käynnistysvaroituksen perusteella on selvää mitä koneella on tapahtumassa ja missä koneen osassa käynnistys on alka-  
massa. (Siirilä & Kerttula 2007, 83)

### 3.1. Koneen pysähtyminen

Paperikone voidaan mieltää olevan koneyhdistelmä, jossa on useita yhdessä toimimaan tarkoitettuja koneita. Tällaisten suurien konejärjestelmien pysäytystoiminnot on suunniteltava ja toteutettava niin, että varsinaiset pysäytykseen tarkoitetut hallintaelimet ja pysäyttävät turvalaitteet huolehtivat varsinaisen pysäytystä vaativan koneen lisäksi myös muiden, sitä ennen tai jälkeen olevien koneiden tai koneen osien pysäytystoiminnon, silloin kun niiden käytöstä voi aiheutua vaaraa. Konelinjassa olevien muiden koneenosien tai laitteiden pysäytys on usein tarpeellista myös silloin, kun pysäytyksellä vältetään tuotannon jatkuminen ja koneen toimintojen ruuhkautuminen, tai kun pysäyttämällä voidaan estää virhetoiminnot. (Siirilä & Kerttula 2007, 132)

Pysäytyksen jälkeen koneen turvallisuuden varmistamiseksi on tehtävä koneen hälytysten kuittaus ennen, kuin kone on mahdollista käynnistää uudelleen. Pysäytyksen jälkeen tehtävän kuittauksen turvallisuus varmistetaan sillä, että koneen kuittauspaikka asetetaan sellaiselle koneen alueelle, mistä on hyvä näkyvyys. Näkyvyyden tulee olla esteetön koko koneen sille alueelle, josta kone halutaan turvallisesti kuittauksen jälkeen käynnistää. (Siirilä & Kerttula 2007, 132)

Pysäytyksen tai muun turvatoiminnon jälkeen koneen turvallinen tila on säilytettävä, kunnes turvalliset olosuhteet koneen mahdollista uudelleenkäynnistämistä varten on saavutettu. Turvatoiminnon palautus ja koneen saattaminen mahdolliseen käynnistystilaan tapahtuu vahvistamalla turvatoiminnon peruutus käsikäyttöisellä kuittauksella. Turvatoiminnon kuittaus ei kuitenkaan saa aiheuttaa koneen käynnistymistä. Käsikäyttöisen kuittauksen suoritustaso on oltava sellainen, että se ei heikennä kyseessä olevan turvatoiminnon aikaansaamaa turvallisuuden tasoa. (SFS-EN ISO 13849-1, 38)

Kaikissa koneissa on oltava sellainen hallintaelin, esimerkiksi painike, jonka vaikutuksesta kone voidaan pysäyttää hallitusti. Koneturvallisuuden näkökulmasta kone on kuitenkin täysin pysäytettynä vasta silloin, kun kone on pysäytyksen jälkeen erotettu energiansyötöstä. Jos energiansyöttöä ei koneen pysäytyksen yh-

teydessä katkaista, tulee koneessa olla tarvittaessa automaattisesti toimivat jarrut tai muita laitteita, joiden avulla voidaan varmistaa koneen pysyminen siinä asennossa, johon se on pysähtynyt. (Siirilä & Kerttula 2007, 132)

### **Koneen hätäpysäytys**

Kone voidaan vaaratilanteen uhatessa tai sattuesssa pysäyttää myös käyttämällä hätäpysäytystoimintoa. Hätäpysäytyksen tarkoituksena on torjua vaarantilanteesta ihmiselle aiheutuvia vahinkoja tai vähintään pienentää niitä. Hätäpysäytyksellä voidaan turvata myös koneita tai käynnissä olevaa työprosessia ja niille aiheutuvia vahinkoja. Hätäpysäytys tulee käynnistyä aina yhdellä ihmisen suorittamalla toimenpiteellä, kuten painikkeen painamisella. (SFS-EN ISO 12100, 26) Sen on aina vaikutettava koneen kaikkiin niihin osiin, jotka aiheuttavat liikkumisellaan vaaraa. Hätäpysäytyksen on oltava käytettävissä ja toiminnassa aina. (SFS-EN 1034-1 + A1, 38-40)

Hätäpysäytyslaitteiden tarkoituksena on pysäyttää vaarallinen toiminta mahdollisimman nopeasti myös siitä huolimatta, että muita turvatoimintoja olisi jo käynnistetty vaaratilanteen takia. Hätäpysäytys ei kuitenkaan itsessään turvaa konetta tai sen käyttäjää, vaan sitä käytetään ainoastaan varmistamaan muita turvatoimintoja kuten turvarajoja ja muita turvalaitteita. (Euroopan komissio 2019, 24)

Hätäpysäytyslaitteen hallintaelimen kuten painikkeen on oltava väriltään punainen ja sen taustan keltainen, silloin kun mahdollista. Hätäpysäytyslaitteet on myös kiinnitettävä määrätyille paikoilleen siten että hätäpysäytyslaitteeseen vaikuttamista ei voi helposti estää esimerkiksi tekemällä tahallaan laite toimimattomaksi. (SFS-EN ISO 13850, 13)

Hätäpysäytyslaitteita on sijoitettava koneelle tarvittava lukumäärä siten, että hätäpysäytyslaitteita löytyy paperikoneelta vähintään koneen pääohjauspaikalta ja kaikista vakituisista työskentelypisteistä. Kaikilta työskentelypisteiltä tulee lähin hätäpysäytyslaite olla enintään 15 metrin päässä. Hätäpysäytyslaitteita on sijoitettava kaikkiin niihin paikkoihin, joihin riskin arvioinnissa on hätäpysäytyslaitteelle määritelty tarve. Tällaisia paikkoja voivat olla esimerkiksi paperikoneella paikat, joissa konetta käytetään ryömintävauhdilla. (Siirilä & Kerttula 2007, 137)

Hätäpysäytystoiminto on suunniteltava siten, että konejärjestelmä pysähtyy minkä tahansa hätäpysäytyslaitteen vaikuttamisen seurauksena. Suuri konelinja voidaan kuitenkin tarvittaessa jakaa eri pysäytysvyöhykkeisiin, jos vyöhykkeitä muodostettaessa pystytään vastaamaan niitä koskeviin vaatimuksiin. Hätäpysäytysvyöhykkeiden tulee olla helppo erottaa toisistaan vain havainnoimalla sekä jokaista hätäpysäytysvyöhykettä koskevat hätäpysäytyslaitteet tulee pystyä tunnistamaan helposti toisistaan. Eri vyöhykkeet on myös erotettava selvästi toisistaan ja niiden rajapinnoissa ei tule esiintyä vaaroja. (Siirilä & Kerttula 2007, 135)

Hätäpysäytyksen on siihen vaikutettaessa lukkiuduttava luotettavasti SEIS-asentoon samalla, kun se lähettää hätäpysäytyskäsken eteenpäin kanavassa. Hätäpysäytyksen lukitus voidaan toteuttaa esimerkiksi hätäpysäytyspainikkeella, joka lukittuu ala-asentoon sitä painettaessa ja sen kuittaus tapahtuu painikkeen lukituksen vapautuksella. Hätäpysäytyspainikkeen kuittaminen ei kuitenkaan saa koskaan aiheuttaa suoraan koneen käynnistymistä. Hätäpysäytys on oltava aina käytettävissä koneella ja toimintavalmiina riippumatta siitä, ajetaanko konetta automaatti- vai käsiajolla tai jossain muussa tilassa. (Siirilä & Kerttula 2007, 137)

Turvatoiminnolla tehdyn pysäytyksen on ajettava kone turvalliseen tilaan niin nopeasti, kuin on tilanteessa mahdollista tai on tarpeen. Koneen pysähtymiseen kuluva aika ei saa mahdollistaa koneen vaarakohtaan pääsemistä enää turvatoiminnon aktivoitua. Jos koneen pysähtymiseen kuluva aika on kuitenkin pidempi, täytyy koneen vaara-alue olla suojattuna lukinnalla varustetulla suojuksella, jonka aukeneminen on mahdollista vasta sitten, kun koneen liike on pysähtynyt. (Siirilä & Kerttula 2007, 134)

Paperikoneilla hätäpysäytyslaitteet on suunniteltava siten, että huomioidaan toiminnot, jolloin hätäpysäytys voi lisätä todennäköisesti vaaroja enemmän kuin vähentää niitä (SFS-EN 1034-1 + A1, 38, 40). Joskus täysin jokin muu toiminto kuin koneen täysi pysäyttäminen saattaa olla turvallisempi ja nopeampi tapa saattaa kone turvalliseen tilaan. Esimerkiksi paperikoneella suurten ja nopeasti pyörivien rullien ja telojen pysäyttämiseen täydestä nopeudesta saattaa viedä kymmeniä minutteja. Silloin tarvittaessa hätäpysäytykseen on sisällytettävä myös muita toimintoja. Hätäpysäytyksessä ajetaankin usein paperikoneen telat erilleen ennen koneen pysähtymistä, jotta voidaan poistaa vaarallinen vetävän nielu ja vältetään

mahdollisesti koneen vahingoittumisesta aiheutuvan lisävaara. Koneen pysähtyttyä koneen ajaminen takaisinpäin tai käsiajon on oltava hätäpysäytyksestä huolimatta mahdollista, jotta esimerkiksi puristunut tai kiinni jäänyt henkilö voidaan pelastaa. (Siirilä & Kerttula 2007, 137)

Hätäpysäytys ei ole koskaan varsinainen tai ensisijainen koneen turvatoiminto. Koneissa tarvitaan kuitenkin hätäpysäytystä siltä varalta, että koneella tapahtuu jotain odottamatonta sen turvallisesta suunnittelusta huolimatta. Vaaratilanteen sattuessa on tärkeää muistaa, että koneen tuotannon keskeytyminen ja mahdollisesti koneen hankala uudelleenkäynnistäminen pysäytyksen jälkeen ovat toissijaisia asioita henkilön turvallisuuteen nähden ja hätäpysäytys tulee aina tehdä vaaratilanteen sattuessa. (Siirilä & Kerttula 2007, 135)

Yleensä hätäpysäytystoiminto suunnitellaan myös ensisijaisen ohjausjärjestelmän vikaantumisen varalle. Tällöin on tarkasteltava kaikkia koneen pysäytyksen aikaan saavia komponentteja kokonaisuutena. On esimerkiksi selvää, että hätäpysäytyksen toimivuutta ei voida varmistaa vain asentamalla järjestelmään hätäpysäytysnappula, jos se kuitenkin asennetaan samaan kontaktoriin kuin ensisijainen ohjausjärjestelmä on asennettu. Myös muita toimintoja tiheästi tekevien komponenttien käyttöä hätäpysäytyspiirissä tulisi välttää mahdollisimman pitkälle, jotta vältetään näiden komponenttien vikaantumisen aiheuttama vaara. Hätäpysäytys onkin hyvä asentaa mahdollisimman pitkälle omaan kanavaansa ja käyttää toimintoon suunniteltuja komponentteja. (Siirilä & Kerttula 2007, 135)

### **3.2. Odottamattoman käynnistyksen estäminen**

Koneessa tulee olla laitteisto, joka turvaa koneen vahingossa tai odottamattomasti tapahtuvalta käynnistymiseltä. Odottamattoman käynnistyksen estämistoiminto tulee vastata standardeja SFS-EN ISO 14118:2018 ja SFS-EN 60204-1. (SFS-EN 1034-1 + A1, 42)

Kone tulee olla luotettavasti suojattu odottamattomalta käynnistymiseltä ja myöskin koneen tulee pysyä luotettavasti pysähtyneenä. Tällainen turvatoiminto on



yksi koneiden tärkeimmistä ohjauksen turvatoiminnoista ja siksi koneen ohjausjärjestelmä on aina suunniteltava niin, että koneen automaattinen tai uudelleen käynnistyminen on estetty esimerkiksi silloin, kun koneeseen palaa sähkö tai muu energiansyöttö katkoksen jälkeen. Energiansyötön kytkeytyminen on aina erikseen kuitattava ennen kuin koneen normaali toimintaan asettaminen on mahdollista. (Siirilä & Kerttula 2007, 138)

Koneen odottamattoman käynnistymisen eston tulee estää koneen automaattisen uudelleen käynnistymisen esimerkiksi seuraavien toimintojen yhteydessä:

- Turvatoiminnon aktivoinnin kuittaus
  - Esimerkiksi hätäpysäytyspainikkeen palauttaminen hätäpysäytyksen jälkeen
- Koneen ohjaustavan muuttaminen
  - Esimerkiksi käsikäytöltä automaattikäytölle
- Koneen käynnistystavan muuttaminen
  - Esimerkiksi jalkapolkimelta käsiohjaimelle. (Siirilä & Kerttula 2007, 2007, 139)

Koneen odottamaton käynnistyminen on yksi yleisimmistä vakavien tapaturmien aiheuttajista. Koneen käynnistymiseksi luetaan turvallisuutta arvioitaessa koneen tai sen osan liikkeelle lähtemistä, mutta myös koneeseen liittyvän toiminnon alkamista. Koneen odottamattoman käynnistymisen takana voi olla koneen ohjausjärjestelmän vika, komponenttivika, hallintaelimeen tarkoitukseton vaikuttaminen tai muu fyysinen vika. Kuitenkin monesti koneen ohjausjärjestelmä on koneen odottamattoman käynnistymisen yhteydessä toiminut odotetulla tavalla, käynnistys voi silti olla odottamaton vaaravyöhykkeellä olevalle henkilölle ja siksi vaarallinen. (Siirilä & Tytykoski 2016, 481- 483)

Odottamaton käynnistyminen vaikuttaa harvemmin koneen osaan tai ympäristöön, jota mielletään turvalliseksi. Esimerkiksi on epätodennäköistä, että kone liikkuu odottamattoman käynnistymisen seurauksena turva-aidan läpi. Koneen odottamaton käynnistys liittyykin usein työtehtäviin, joita tehdään koneen vaara-alueella. Varsinkin automaattisesti toimiva kone saattaa lähteä liikkeelle odottamattomasti ja siksi automaattiset koneet ovat merkittävä tapaturmien aiheuttaja

juuri odottamattoman käynnistyksen kannalta. (Malm, Hämäläinen & Kivipuro 2011, 15)

Useimmiten koneen odottamaton käynnistys pyritään estämään erottamalla kone energiansyötöstä ja purkamalla siihen varastoitunut energia. Energiansyötön katkaisu ja varastoituneen energian purku voidaan toteuttaa esimerkiksi katkaisemalla sähkönsyöttö moottoreilta ja purkamalla varastoituneet paineet sylintereistä. Näiden lisäksi koneella tulisi olla mahdollisuus lukita energiansyöttö pois päältä vaara-alueella työskentelyn ajaksi esimerkiksi riippulukolla. (Malm, Hämäläinen & Kivipuro 2011, 15)

Koneen varastoituneen energianpurun yhteydessä energianpurku tulee todentaa siihen tarkoitetuilla laitteilla esimerkiksi painemittarilla. Koneessa tulee olla myös käyttöohjeet energian purkamista varten ja varoitukset, jos järjestelmään voi varastoitua energiaa. Joskus ei kuitenkaan ole mahdollista tehdä koneeseen varastoituneen energianpurkua turvallisesti ja nopeasti. Koneen osiin voidaan silloin jättää energiaa purkamatta riskin arvioinnin perusteella. Tällöin odottamaton käynnistyksen esto tulee toteuttaa muilla keinoilla. Tällaisia keinoja ovat mm. pysäytyksen valvonta turvalaitteilla. (Malm, Hämäläinen & Kivipuro 2011, 16)

Turvalaitteella toteutettu pysäytyskäsky ja sen valvonnan tulee olla luotettavaa. Luotettavuuden arviointia voidaan tehdä esimerkiksi arvioimalla sitä, kuinka luotettavasti turvalaite lähettää signaalin ohjausjärjestelmälle ja kuinka luotettavasti käskyn jälkeen pysyvä pysäytystoiminto järjestelmässä syntyy. Pysäytyksen luotettavuus voi esimerkiksi vaatia turvalaitteelta kahta tulo- ja lähtösignaalia. Käytännössä tämä tarkoittaa kahta erilaisella turvalaitteen valvonnalla synnytettyä pysäytyskäskyä, joka ohjataan kahdelle eri tehonohjauselimelle, jotka hoitavat pysäytyksen koneen eri kohdista. (Siirilä & Kerttula 2007, 77)

### 3.3. Koneen turvalliset nopeudet

Paperikoneen käyttö ryömintänopeudella, joka on maksimissaan 15 m/min ei ole osa koneen turvallistamista tai riskin pienentämistä, vaikka paperikonestandardista voidaan näin päätellä. Paperikonestandardi on tässä kohtaa ristiriitainen konedirektiivin 2006/42/EY turvallisuuden peruseräkkeiden kanssa. Turvallinen ryömintänopeuden pakkokäyttö tai koneen nykäyskäyttö on kuitenkin mahdollista työalueella, jossa on esteetön näköyhteys työympäristöön ja vyöhykkeellä esiintyy keski- tai korkeatasoinen vaaratilanteen riski. (Valmet Technologies Oy 2020)

Näistä vaara-alueista ei voida poistaa riskiä tai pienentää sitä muilla turvallistamistoimilla kuten asentamalla pysyviä turva-aitoja tai asettamalla turvaetäisyyksiä, jotka olisivat linjassa konedirektiivin 2006/42/EY ja paperikonestandardin EN 1034 kanssa. Tällaisia vaara-alueita paperikoneella esiintyy esimerkiksi liikkuvien telojen läheisyydessä tai paikoissa, missä esiintyy vetäviä nieluja. (Valmet Technologies Oy 2020)

Valmetin riskianalyysissä on määritelty turvallisen nopeusrajoituksen suorituskyvyn tasoksi PLc tai PLd, jossa korkean riskin alueella pyritään PLd suoritus tasoon ja keskimääräisen riskin alueella PLc suorituskyvyn tasoon. Myös paperikonestandardissa EN 1034-16 on määritelty vetävien nielujen ja muiden koneen ristisuuntien aiheuttavien vetävien vaarojen kohdalla suorituskyvyn tason oltava vähintään PLd. Yleensä PLc tason ryömintänopeutta ei vaadita silloin, kun käyttäjä ei voi fyysisesti ylettyä vaaralliseen nieluun turvatulta kulkualueelta. (Valmet Technologies Oy 2020)

Vaarallisia nieluja turvataan ensisijaisesti kiinteillä turvalaitteilla ja varmistamalla koneiden vaarakohtien turvaetäisyyden niitä sivuuttavilta kulkureiteiltä tai tasoilta. Sileät pinnat, jotka eivät sisällä vetäviä nieluja tai muita tarrautumiskohtia luetaan olevan matalan riskin alueita, jotka eivät vaadi turvallistamistoimenpiteitä tai PL tason turvatoimintoja. Näihin pintoihin voidaan ylettyä työskentelytasoilta ja ohikulkuväyliltä. (Valmet Technologies Oy 2020)

Turvallista ryömintänopeutta ei voida toteuttaa ainoastaan käsiohjaimesta. Turvallinen ryömintänopeuskäsky voidaan saavuttaa käyttämällä turvaporttien ja valvonnan lukituksia. Normaalisti paperikoneiston osissa kuten kalantereilla on omat turvaporttinsa ja muut turvatoiminnot, joita projektikohtaisesti on alueelle määritetty. Turvaportin avaaminen on mahdollista vain silloin, kun paperikoneen käytönohjaus on rekisteröinyt paperikoneen nopeuden olevan PLd tasoisen nollanopeuden alueella. (Valmet Technologies Oy 2020)

Valmetin tuotteissa koneen pysäytyskäskyn nollanopeuslukitus ohitetaan turvallisesti kytkemällä koneen työskentelyosaan käsikäyttöohjain ryömintänopeuden tai nykäyskäytön ohjausta varten. Tällaista työskentelytapaa ei kuitenkaan voida käyttää kuin työtehtävissä, joissa koneen käyttö on työtehtävän onnistumisen kannalta välttämätöntä. Paperikoneella esimerkiksi paperin pään ajaminen koneen läpi vaatii koneen käyttämistä ryömintänopeudella myös vaara-alueilla. (Valmet Technologies Oy 2020)

Jos koneen työskentelyalueella tarvitaan koneen pakkokäyttöä ryömintänopeudella, tulee se olla määritelty käyttökohteen riskin arvioinnissa, jolloin koneen turvallista ryömintänopeutta tulee valvoa. Ryömintänopeutta valvotaan samoilla laitteilla, millä toteutetaan koneen maksiminopeudenvälvonta kaikissa liikkuvissa osissa. Standardissa SFS-EN ISO 13849-1 määritellään, että koneen maksimikäyttönopeutta on aina valvottava. Koneen maksimikäyttönopeuden valvonnalle määritellään standardissa suoritustaso PLc. (Valmet Technologies Oy 2020)

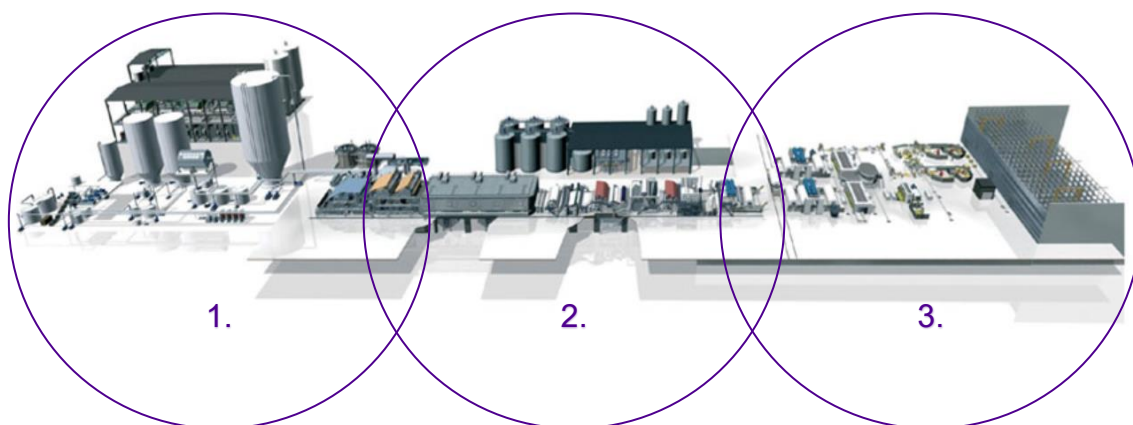
Koneen normaali- ja ryömintäkäyttö voidaan valita koneen pääkäyttöjärjestelmästä ja käyttöpaneeleista silloin, kuin koneen turvatoiminnot sallivat koneen normaalin käytön. Turvatoimintoja ei kuitenkaan voida ohittaa koskaan pääkäyttöjärjestelmästä. (Valmet Technologies Oy 2020)

### **3.4. Paperikoneen käytön turvallisuus**

Paperikone on suuri koneyhdistelmä, joka koostuu neljästä erityyppisestä vyöhykkeestä. Paperin tuotanto alkaa paperikoneen märkápään perälaatikosta, josta paperimassa kulkeutuu viiroja pitkin erilaisille puristinosille. Massan puristuksen

jälkeen prosessi jatkuu massan kuivatusosaan ja jälkikäsitteilyyn. Lopuksi syntyneet isot paperirullat eli tampourit viedään pituusleikkurille ja mahdollisesti arkki-leikkaukseen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 15-17)

Kuvassa 1 on esitelty paperikone ja sen numeroidut tuotantovaiheet. Kuvan 1. alueella sijaitsee paperimassaan ja vesijärjestelmään liittyvät osat sekä paperikoneen ensimmäinen yksikkö perälaatikko. Paperikoneen keskellä 2. alueella sijaitsee koneen viira-, puristin- sekä kuivatusosa. Paperikoneen lopussa 3. alueella sijaitsee kaikki paperin jälkikäsitteilyyn ja leikkaukseen liittyvät tuotantovaiheet. (KnowPap 2020)



KUVA 1. Paperikoneen osat. (Knowpap, 2020)

Paperikoneen eri tuotantovaiheen osille on määritelty eritasoisia turvatoimintoja. Koneen perälaatikon sekä viira- ja puristinosan turvatoiminnot pohjautuvat minimissään kiinteisiin turvalaitteisiin, turvaetäisyyksiin sekä koneen energiasta erottamiseen, siihen tarkoitetuilla laitteilla ja niiden merkitsemistoimenpiteisiin. Näille paperikoneen alueille ei ole mahdollista päästä kuin yhdestä sisääntulosta ja riskisuunnasta kulkua ei sallita. Koneen käyttö näillä alueilla edellyttää standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaista PLc tason maksiminopeuden valvontaa. (Valmet Technologies Oy 2020)

Kuivatusosan turvallisuus ei voi perustua kiinteisiin turvalaitteisiin, turvaetäisyyksiin eikä koneen energiasta erottamiseen koneen koko käyttösyklin aikana. Koneen käyttö vaatii standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaista PLd tason ryömin-

tänopeuden valvontaa turvallisen ryömintä- tai nykäyskäytön aikana sekä edellyttää standardin mukaista PLc tason maksiminopeuden valvontaa. (Valmet Technologies Oy 2020)

Liimapuristinosan turvallisuus perustuu turvaetäisyyksiin ohikulkureiteillä sekä koneen kiinteisiin turvalaitteisiin. Joissakin paperikoneissa voidaan käyttää turvaporttia valvomaan liimapuristimen vaara-alueelle pääsyä. Kulkuluvalle vaaditaan standardin SFS-EN ISO 13849-1 PLd tason nollanopeutta. Liimapuristinosan käyttö vaatii aina standardin mukaista PLd tason pysäytystoimintoa ja PLc tason maksiminopeuden valvontaa. Projektikohtaisesti liimaosalle voidaan määrittää standardin mukainen PLd tason nollanopeus riskianalyyseissä. (Valmet Technologies Oy 2020)

Kalanterilla turvallisuus perustuu avautuvien nielujen ja kaavinterien valvontaan koneen turvalukituksilla. Turvaporttia käytetään valvomaan kalanterin ohikulkureiteille pääsyä. Valvonta suoritetaan standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisella PLd tason nollanopeuden sallimalla kulkuluvalta riippuen nielujen ja kaavinterien tilasta. Kalantereilla suoritetaan standardin mukainen PLd tason käytön lukitus silloin, kun turvaportti on auki ja nielut sekä kaavinterä ovat pysäytyksen sallivassa tilassa. Kalanterien käyttö vaatii standardin mukaisen PLd pysäytystoiminnon, PLc maksiminopeuden valvonnan sekä PLd tason nollanopeuden valvonnan. (Valmet Technologies Oy 2020)

Paperikoneen rullaimen etualueen turvatoiminnot, jotka liittyvät rullaimen käyttöön rajoittuvat standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaiseen PLc tason maksiminopeuden valvontaan. Rullaimen alueella työskentelyn turvallisuus perustuu pääosin standardin SFS-EN ISO 13857 mukaiseen 2,7 metrin turvaetäisyyteen, jonka tehtävänä on ensisijaisesti turvata koneen käyttäjää ylettymästä rullainten nieluihin. Rullauksessa olevan tampourin pysäytys tai nopeuden rajoittaminen on mahdollista vain hätäpysäytyksellä. Tampuurirauta, jonka ympärille kalanterilta tuleva paperi rullataan, on suojattu takapuolelta kiinteillä turvalaitteilla. Rullaimen alueella työskentelyn turvaaminen on varmistettu odottamattoman pysäytyksen estolla. (Valmet Technologies Oy 2020)

Rullaimen takaosassa käytön turvallisuus paperin tullessa ohjausrullilta perustuu kiinteiden turvalaitteiden ja mahdollisten turvaporttien yhdistelmään. Turvaporttien käyttö vaatii ohjausrullien standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisen PLd tason nollanopeuden ja siihen perustuvan kulkuluvan. Rullainten käyttö on lukittuna silloin, kun turvaportit ovat auki. (Valmet Technologies Oy 2020)

Kaikille paperikoneen käytöille on määritelty myös muista turvatoiminnoista riippumattomat turvatoiminnot. Seuraavat turvatoiminnot toteutetaan aina ja niille on määritelty standardissa SFS-EN 1034-1 vaadittava suoritustaso:

- Häätäpysäytys, jonka suoritustaso on PLd
- Odottamattoman käynnistyksen esto, jonka suoritustaso on PLd
- Odottamattoman käynnistyksen eston takaisinkytkentä, jonka suoritustaso on PLc
- Turvallisen maksiminopeuden valvonta, joka on aina päällä ja jonka suoritustaso on PLc
- Käynnistysvaroitin ja -viive, jonka suoritustaso on PLc. (Valmet Technologies Oy 2020)

Paperikoneetta käynnistettäessä ajetaan paperin pää telalta toiselle. Joissain paperikoneissa päävienti tapahtuu erityisellä köysijärjestelmällä. Köysikäyttöjärjestelmän turvallisuus perustuu samoihin periaatteisiin, kun koneen normaaliohjauksen käyttö. Köysikäytön koneisto on suojattu turvaportilla, jonka kulkulupa on kiinni köysikäytön nollanopeudesta. Silloin, kun turvaportti on auki, täytyy köysikäyttö olla pysähtyneenä. Nollanopeuden suoritustason tulee olla standardin mukainen PLd taso ja käyttöjen lukitusten PLd tasoa vastaava. (Valmet Technologies Oy 2020)

Paperikoneen niissä osissa, joissa nieluja ei voida poistaa kiinteillä suojilla ja turvaetäisyyksillä vaaditaan köysikäytön ajaksi standardin mukainen PLd tason ryömintänopeus 15 m/min. Näiden paperikoneen osien turvaporttien avaamiseksi vaaditaan kuitenkin koneen nollanopeus, jonka suoritustaso on PLd. Poikkeuksena ne koneen kohdat, joissa köysikäytön pysäyttäminen voi aiheuttaa köyden

palamisen. Näissä paperikoneen kohdissa on mahdollista ajaa konetta turvallisella ryömintänopeudella kokoaikaisesti. Tällöin myös turvaportit aukeavat ryömintänopeudessa. (Valmet Technologies Oy 2020)

Köysikäytön turvallinen ryömittäminen tai nykäyskäyttö tehdään sellaiselta käyttöpaikalta, mistä käyttäjällä on esteetön näkyvyys koneen vaarakohtiin. Köysijärjestelmän sujuva käyttö vaatii, että konetta on pystyttävä turvallisesti ajamaan ryömintänopeudella pään viemiseksi koneen läpi. Köysikäytön turvallinen ryömittäminen ja nykäyskäyttö tulee vastata standardin suoritustasoa PLd. (Valmet Technologies Oy 2020)

Paperikonetta voidaan ohjata turvallisesti erilaisilla kiinteillä ja langattomilla ohjaimilla. Koneen turvallinen ohjaus on toteutettavissa standardin SFS-EN ISO 12100 sekä paperikonestandardien SFS-EN 1034-1 + A1 ja SFS-EN 1034-16 avulla. Paperikonetta voidaan ohjata normaaleista ohjauspaikoista joko kiinteillä ohjaimilla tai langattomilla ohjaimilla silloin, kun ohjauspaikan valinta ei ole ristiriidassa koneen turvallisen käytön periaatteita vastaan tai se ei vaaranna turvatoimintoa tai riko esteettömän näköyhteyden periaatetta, sillä koneen turvallinen ohjaus on näistä suoraan riippuvainen. (Valmet Technologies Oy 2020)



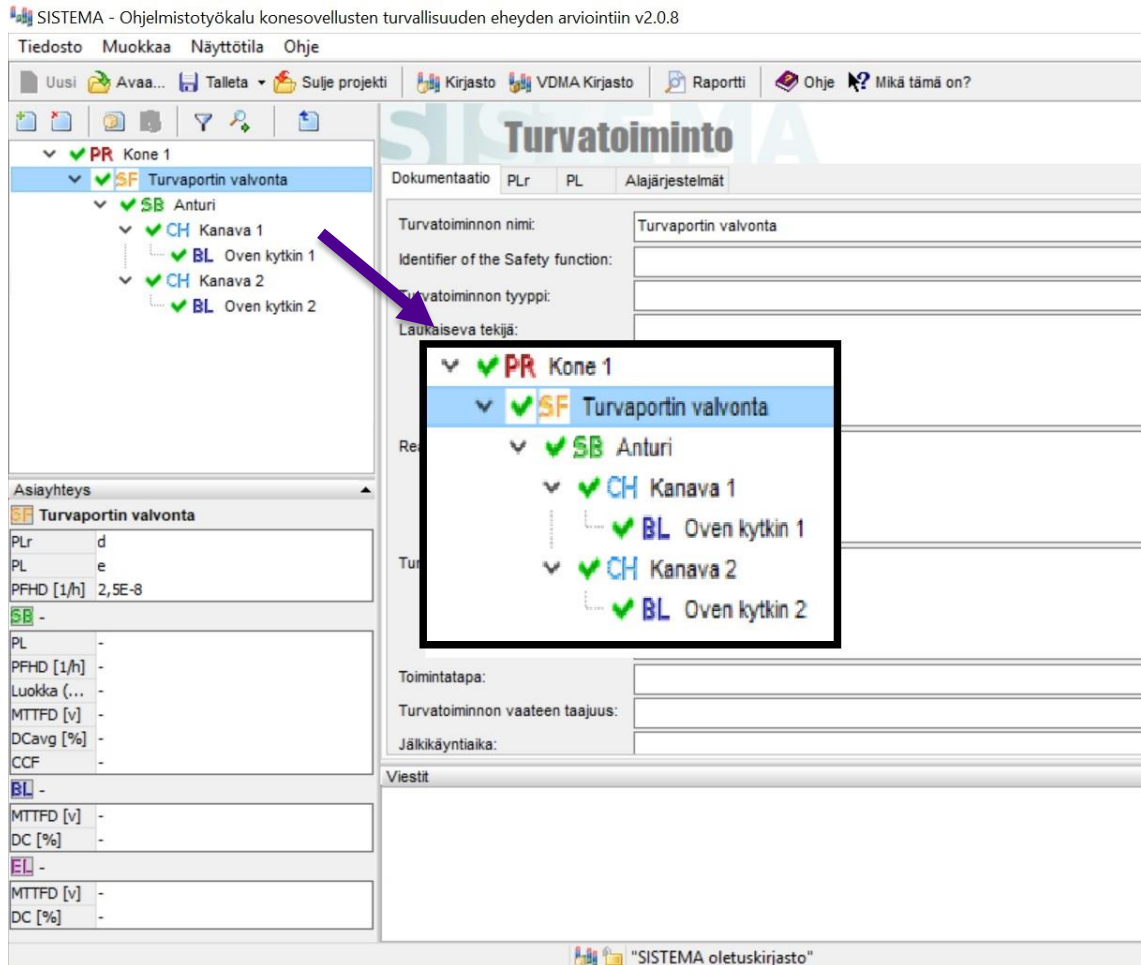
## 4 STANDARDIN SFS-ISO 13849-1 MUKAINEN SUORITUSKYKYLAS-KENTA

### 4.1. Turvatoimintojen suunnittelu

SISTEMA (Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications) on saksalaisen IFA -instituutin (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance) kehittämä työkalu, joka on tarkoitettu standardin SFS-EN ISO 13849-1 soveltamisen apuvälineeksi. SISTEMA ohjelmistolla on mahdollista arvioida ohjausjärjestelmän kanavien suoritustaso käytämällä käytettyjen komponenttien teknistä dataa. SISTEMA:ssa on mahdollista käyttää komponenttien kirjastotoimintoja suorituskylaskennassa luotujen kanavien tallennukseen ja tallentaa useita projekteja niiden myöhempää käyttöä varten. (Hietikko M., ym. 2009, 60)

Standardin SFS-EN ISO 13849-1 yksinkertaisen soveltamisen tueksi kehitetty SISTEMA-ohjelma on joustava erilaisten teknologioiden soveltamiseksi. Ohjausjärjestelmän suunnittelijalla onkin mahdollista valita laskentatyökaluun mikä tahansa turvatoiminnon nimetty rakenne ja muodostaa siihen sopiva muuttujien yhdistelmä, jolla saavutetaan turvatoiminnolta vaadittu suoritustaso PL<sub>r</sub>. (Sundquist 2019, 11)

SISTEMA:ssa suorituskylaskennan lähtötasona on projekti eli laskennan alaisena oleva koneenohjausjärjestelmä tai sen osa. Projektin alle sijoitetaan ohjausjärjestelmän turvatoiminnot. Yksittäinen turvatoiminto voi kuitenkin koostua yhdestä tai useammasta alajärjestelmästä (SB), joita muodostetaan turvatoiminnon toiminnallisten kanavien avulla. Turvajärjestelmän kanavat määritellään turvatoiminnoista tehtävän lohkokaaavion avulla. SISTEMA ohjelmistossa suorituskylaskenta toteutetaan tikapuumaaisesti kulkemalla aina tasoa syvemmälle turvatoiminnossa ja sen arvioinnissa. (Hietikko ym. 2009, 60) Kuvassa 2 on esitelty SISTEMA ohjelmiston päänäyttö ja esimerkki projektin sisäisestä tikapuumallista.



KUVA 2. Näyttökuvaa SISTEMA:lla tehdystä turvatoiminnosta (SF), joka koostuu alajärjestelmästä (SB), kanavista (CH) ja lohkoista (BL).

Turvatoiminnolle tulee antaa toimintakuvaukseen liittyviä tietoja, jotka tuodaan SISTEMA ohjelmaan. Ohjelmaan tulee määrittää esimerkiksi turvatoiminnon vaadittava suoritustaso  $PL_r$ , joka voidaan määrittää luvun 4.2. kuvion 5 mukaisen riskigraafin avulla tai se voidaan ilmoittaa suoraan esimerkiksi konetta koskevan C-tyyppin standardin avulla. (Hietikko, ym. 2009, 60) Paperikoneen turvatoiminoilta vaadittavat suorituskyvyn tasot on määritetty C-tyyppin standardissa SFS-EN 1034-1 ja esitelty opinnäytetyön luvussa 3.4.

Turvatoiminto koostuu yleensä alajärjestelmistä, joihin on jaettu turvatoiminnon kanavassa esiintyvät komponentit sähkönkäyttöjärjestelmän osien mukaisesti. (Hietikko, ym. 2009, 60) Standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukainen turvatoiminto toteutetaan yleensä sarjamuotoon yhdistetyistä turvallisuuteen liittyvistä

ohjausjärjestelmän osista, jotka muodostavat aina yhden kanavan. Sarjamuotoinen rakenne viittaa siihen, että jos kanavan yksikin turvatoiminnoista menetetään, menetetään koko kanavan muodostama turvatoiminto. Turvatoiminto ei siis voi olla koskaan luotettavampi, kun turvatoiminnon heikoin komponentti eikä turvatoiminnon luotettavuutta voida koskaan parantaa kompensoimalla muita komponentteja. (Sundquist 2019, 7)

Alajärjestelmille tai alajärjestelmän lohkoille (BL) tulee antaa, joko laskennalliset tai komponenttien teknisistä tiedoista löytyvät laskentaan tarvittavat tiedot. Alajärjestelmän lohkot voidaan tarvittaessa jakaa vielä komponentin sisäisiin elementteihin (EL) kuten releisiin tai asematuntokytkimiin, jolloin vastaavat arvot annetaan vasta tällä alimmalla tasolla. (Hietikko M., ym. 2009, 60) Suorituslaskentaan tarvittavat muuttujat on lähemmin esitelty luvussa 4.4.

SISTEMA ohjelmisto laskee turvatoiminnon alajärjestelmät yhteen niiden muodostamilla PFH<sub>D</sub>-arvoilla (vaaraa aiheuttavan vian todennäköisyys tuntia kohden) vaikka standardissa SFS-EN ISO 13849-1 lasketaankin jokaisen alajärjestelmän suoritustaso erikseen ja ne yhdistetään standardin oman taulukoinnin avulla. PFH<sub>D</sub>-arvoja käytetään tarkemmin standardissa SFS-EN 62061 toiminnallisen turvallisuuden arviointiin. (Hietikko, ym. 2009, 61)

Turvatoiminnon sekä sitä toteuttavien alajärjestelmien suoritustasoa mitataan PFH<sub>D</sub>-arvolla, joka kertoo kuinka usein turvatoiminto todellisuudessa menetetään. PFH<sub>D</sub>-arvossa otetaan huomioon komponenttien vikaantumiset sekä rinnakkaiset kanavarakenteet ja piirin diagnostiikan osuus vikaantumisten taajuuden pienentämisessä. (Sundquist, M. 2019, 20) Näin ollen, jos komponentista tai turvatoiminnosta on tiedossa sen PFH<sub>D</sub>-arvo (laskentakaava 1), voidaan sen avulla nähdä suoraan standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukainen suoritustaso (Hietikko, ym. 2009, 61).

Suoritustaso voidaan arvioida PFH<sub>D</sub>-arvosta taulukon 4 mukaisesti.

TAULUKKO 4. Suoritustason PL ja PFH<sub>D</sub>-arvon suhde toisiinsa valitun luokan perusteella. (Perustuu SFS-EN ISO 13849-1, 29)

	PFH <sub>D</sub> (1/h)	Luokka B	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3	Luokka 4
PL a	2 x10 <sup>-5</sup>	●	×	×	×	×
PL b	5 x10 <sup>-6</sup>	●	×	×	×	×
PL c	1,7 x10 <sup>-6</sup>	-	● *	● *	×	×
PL d	2,9 x10 <sup>-7</sup>	-	-	-	● *	×
PL e	4,7 x10 <sup>-8</sup>	-	-	-	-	● *

● Luokka on suositeltava suoritustasolle.  
 × Suositeltavaa luokkaa korkeampi luokka on valinnainen.  
 - Luokka ei ole sallittu.  
 \* Hyvin koeteltuja komponentteja ja turvallisen suunnittelun periaatteita on käytettävä.

Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys tunnissa voidaan myös laskea kaavasta 1. (Kiwa Inspecta, 2015. 5)

$$PFH_d (FIT) = \frac{1}{8760} * \frac{1}{MTTF_d} * \left(1 - \frac{DC_{avg}}{100}\right) \quad (1)$$

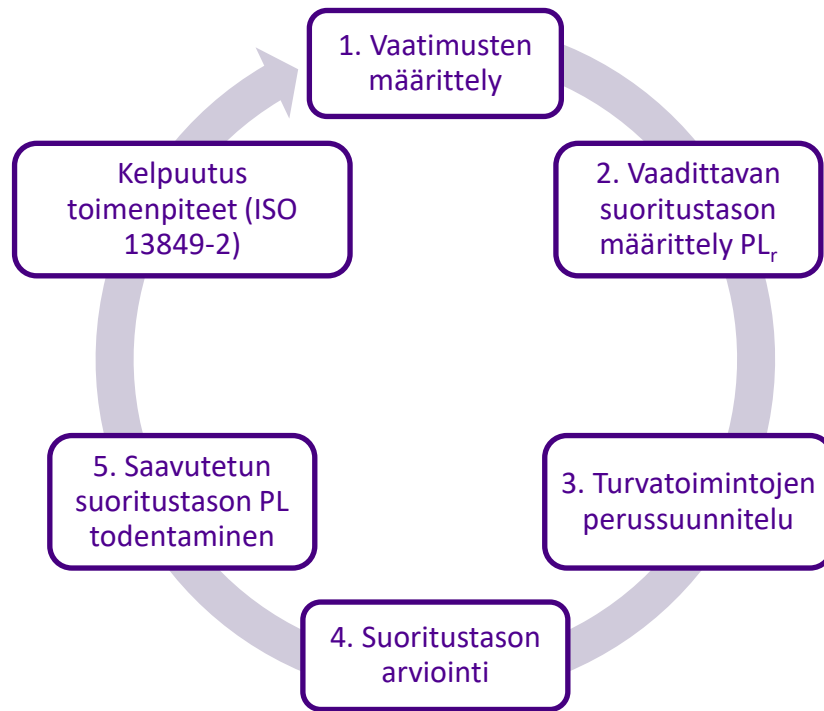
jossa, PFH<sub>d</sub> arvo on vaarallisen keskimääräisen vikaantumisajan todennäköisyys tuntia kohden yksikössä 1/h, MTTF<sub>d</sub> on vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika vuosissa ja DC<sub>avg</sub> on järjestelmän keskimääräinen prosentuaalinen diagnostiikan kattavuus.

SISTEMA-ohjelmisto käsittelee turvatoimintojen suunnittelua ainoastaan turvatoiminnon suoritustason arvioinnin osalta. Jos kaikki turvatoiminnon turvallisuuteen liittyvät tekniset lähtötiedot ovat käytettävissä esimerkiksi ilmoitettuina komponenttivalmistajien teknisissä tiedostoissa, voidaan SISTEMA-ohjelmistoa hyödyntää laskemaan turvatoiminnon suoritustaso automaattisesti. SISTEMA-ohjelmisto ilmoittaa saavutetun suoritustason aina sitä mukaa, kun turvallisuutta koskevia arvoja syötetään ohjelmaa. (Sundquist 2019, 6)

Hyödyntämällä SISTEMA-ohjelmiston reaaliaikaista laskentaa voidaan turvatoiminnon iteratiivisessa suunnittelussa muuttaa käytettyjä komponentteja saavutetun suoritustason mukaan. Kun SISTEMA-ohjemaan on syötetty kaikki tarvittavat komponenttiedot ja tehty kaikki ohjelman pyytämät valinnat, SISTEMA-ohjelma ilmoittaa kaikkien turvatoiminnon alajärjestelmien ja mahdollisesti käytettyjen lohkojen sekä elementtien väliarvot sekä saavutetun suoritustason. SISTEMA vertaa tulosta automaattisesti turvatoiminnolle määritettyyn vaadittavaan turvallisuustasoon  $PL_r$  ja kertoo vertailun tuloksen. (Sundquist 2019, 6)

Turvallisuuteen liittyvien ohjaustoimintojen suunnittelua ei kuitenkaan voi jättää pelkästään laskennallisen turvallisuuden varaan. (Sundquist, M. 2019, 15) Jotta suunniteltu turvatoiminto pienentäisi riskiä riittävästi tulee turvatoiminnon saavuttaa vaadittu suoritustaso  $PL_r$ . Suunnittelijan tehtäväksi jää siis valita turvatoiminnon suorittavat komponentit. Jos valituilla komponenteilla ei kuitenkaan päästä vaadittuun suoritustasoon täytyy joko turvatoiminnon lähtötietoja, komponentteja tai turvatoiminnon toteutuksen rakennetta muuttaa ja suorittaa uusi laskenta. (Sundquist 2019, 7)

Kuviossa 3 on esitelty turvatoimintojen suunnitteluprosessin vaiheet. Suunnitteluprosessi alkaa turvallisuusvaatimusten määrittelyllä ja turvatoimintojen tunnistamisella. Seuraavaksi määritellään turvatoiminnoilta vaadittava riskin pienennyksen suuruus, jonka jälkeen muodostetaan turvatoiminnon toimintakaaviot. Toimintakaaviossa tunnistetaan turvatoimintoon liittyvät osat ja tehdään laite- ja komponenttivalinnat. Tämän jälkeen tehdään suorituskyvyn arviointi esimerkiksi SISTEMA-ohjelmistolla ja suorituskyvyn arviointi. Viimeiseksi arvioidaan, että täyttyvätkö kaikki määrittelyjen mukaiset vaatimukset.

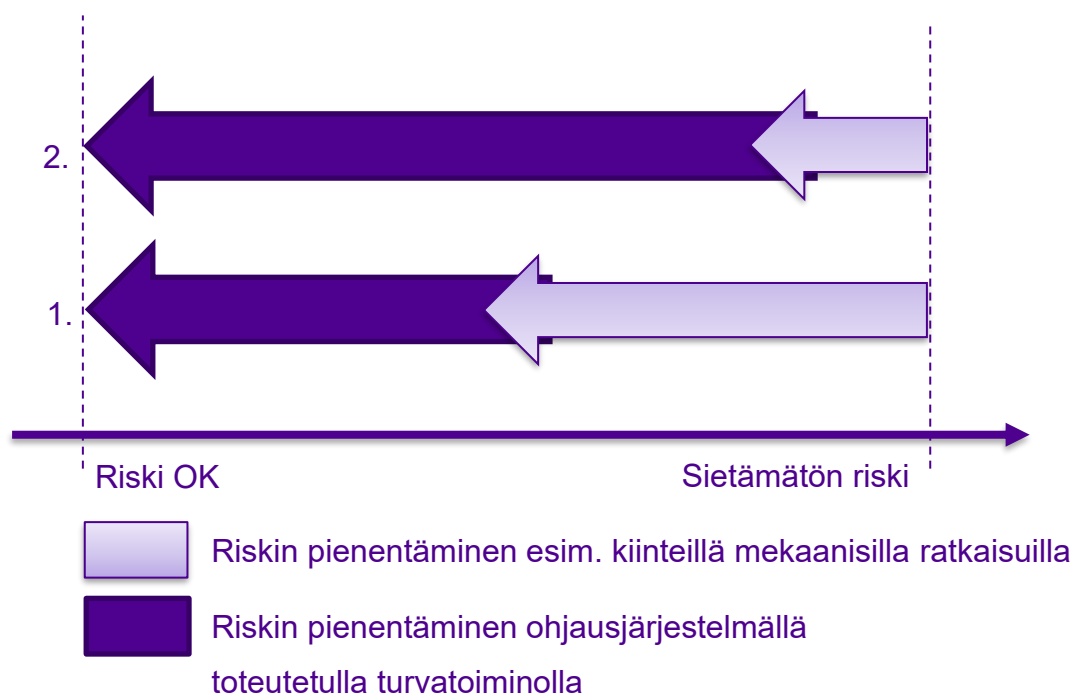


KUVIO 3. Turvatoiminnon ja suoritustason suunnittelun ja arvioinnin prosessi. (perustuu SFS-EN ISO 13849-1, 21; Apfeld, ym. 2011, 5)

SISTEMA-ohjelman lisäksi on olemassa muita ilmaisia ohjelmistotyökaluja suoritustason PL laskentaan. Ohjelmia ovat esimerkiksi PAScal, RiskCat ja Siemensin Safety Evaluation Tool. Muita kaupallisia ohjelmistotyökaluja esimerkiksi luotettavuusanalyysien määrittämiseen ovat esimerkiksi Relex-, Item Software-, ja CA-RISMA-työkalut, joilla ei kuitenkaan suoritustason PL laskentaa voida suorittaa. (Hietikko, ym. 2009, 61-65)

## 4.2. Vaadittavan suoritusosan PL<sub>r</sub> määrittäminen

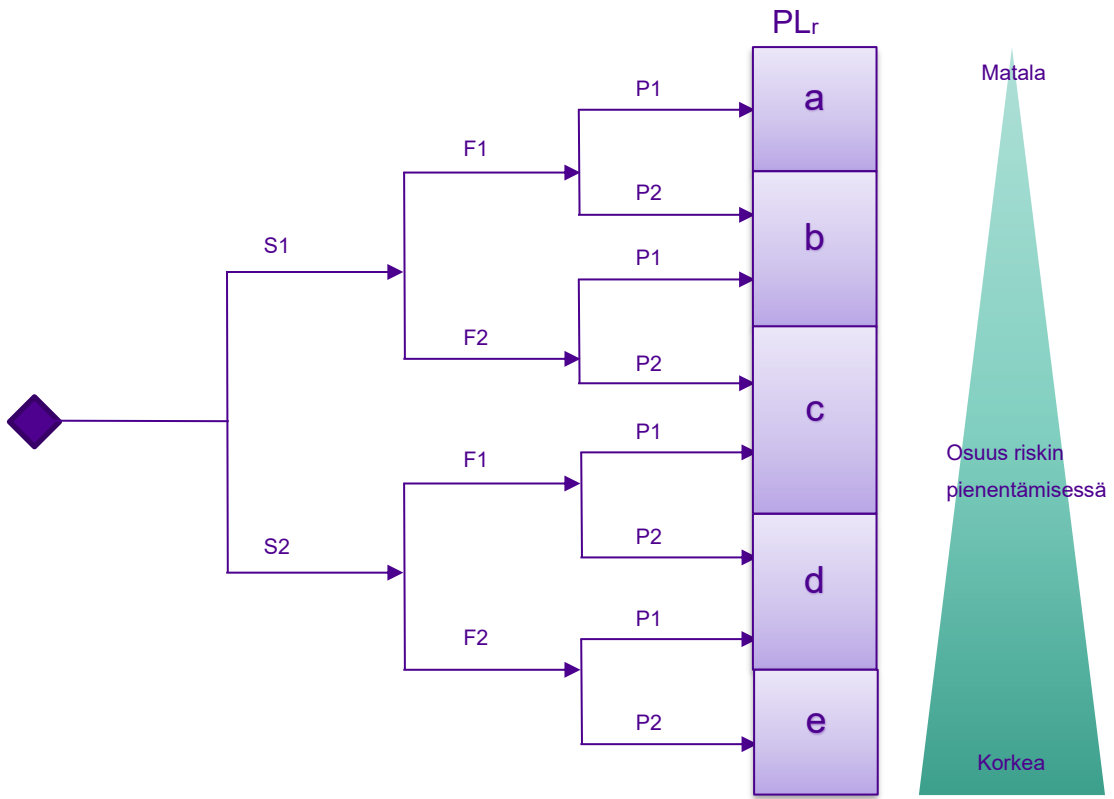
Suoritusosa määrittelee turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän osien kyvyn suorittaa haluttu turvatoiminto koneeseen kohdistuvissa ja ennakoituissa olosuhteissa. Koneelle tehdyssä riskien arvioinnissa määritellään riskien pienennystarve, jonka kautta saadaan suorituskyvyn vähimmäistaso arvioitua. Vaadittu riskin pienennys alkaa kuitenkin vasta siitä, mihin muilla kuin ohjausjärjestelmään liittyvillä suojaustoimenpiteillä on päästy. (Kiwa Inspecta osa 2) Kuviossa 4 havainnollistetaan toiminnolta vaadittu riskin pienennys. Kuviossa esimerkki 1 kuvaa tilannetta, jossa turvalaitteella on pieni osuus riskin pienentämisessä. Kuvion esimerkki 2 kuvaa tilannetta, jossa turvalaitteella on suuri osuus riskin pienentämisessä.



KUVIO 4. Vaadittu riskin pienentäminen turvatoiminolla. (Perustuu: Kiwa Inspecta osa 2, 2017)

Suoritusosan PL määrittäminen alkaa standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesti vaadittavan suoritusosan PL<sub>r</sub> valinnalla. Vaadittava suoritusosa arvioi minimivaatimustason komponenttien suoritusosalle huomioiden jo turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien muiden osien osuuden riskin pienentämiseen. (SFS-EN ISO 13849-1, 55)

Vaaditun suoritustason arvioinnissa voidaan käyttää standardin SFS-EN ISO 13849-1 esittelemää riskigraafia, joka on esitelty kuviossa 5.



KUVIO 5. Vaadittavan suoritustason PL<sub>R</sub> valintaan käytettävä riskigraafi. (perustuu SFS-EN ISO 13849-1, 55)

Kaaviota käytetään vasemmalta oikealle arvioiden jokaisessa kohdassa riskimuuttujien sopivuutta turvatoimintoon. (SFS-EN ISO 13849-1, 55) Riskimuuttujat vasemmalta oikealle kuviossa ovat:

- Vamman vakavuus, **S**
  - **S1** Lievä, tavallisesti palautuva vamma
  - **S2** Vakava, tavallisesti palautumaton vamma tai kuolema
- Taajuus ja/tai vaaralle altistumisaika, **F**
  - **F1** Harvoin ja/tai altistumisaika on lyhyt
  - **F2** Usein ja/tai altistumisaika on pitkä
- Vaaran välttämisen tai vahinkojen rajoittamisen mahdollisuus, **P**
  - **P1** Mahdollista tietyissä olosuhteissa
  - **P2** Tuskin mahdollista (SFS-EN ISO 13849-1, 55)



Vaadittavan suoritustason määrittämisen jälkeen arvioidaan järjestelmän saavuttamaa suoritustasoa arvioimalla järjestelmän osia tai laskemalla niille tarvittavien muuttujien arvoja. Taulukossa 5 esitetään suoritustason PL arvioinnin vaiheet.

TAULUKKO 5. Suoritustason PL-arvioinnin vaiheet. (Sundquist 2019, 11)

1.	Annetaan suoraan elementtien $MTTF_d$ -arvot
2.	Annetaan suoraan tai lasketaan lohkojen $MTTF_d$ -arvot
3.	Annetaan suoraan tai lasketaan kanavien $MTTF_d$ -arvot
4.	Symmetrisoidaan mahdolliset rinnakkaiset kanavat. Luokitellaan kanavien $MTTF_d$ -arvot: matala, keskimääräinen, korkea
5.	Annetaan suoraan tai arvioidaan standardin avulla $DC_{avg}$ . Luokitellaan $DC_{avg}$ -arvot: nolla, matala, keskimääräinen, korkea
6.	Tarkistetaan yhteisvikaantumisen CCF kriteerit
7.	Annetaan valittu luokka Cat.
8.	Arvioidaan standardin avulla turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän osan saavuttama suoritustaso $PL = PFH_d$
9.	Yhdistetään turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien PL-tasot joko <ul style="list-style-type: none"> <li>- tarkistamalla alimmalla PL-tasolla olevien osien lukumäärä ja tarkistamalla standardin taulukosta koko turvatoiminnon kokonais-PL-arvo tai</li> <li>- laskemalla osien <math>PFH_d</math>-arvot yhteen ja tarkistamalla mille PL-tasolle kokonaisarvolla päädytään</li> </ul>
10.	Tarkistetaan, että saavutettu suoritustaso on vähintään riskin arvioinnin perusteella vaadittava suoritustaso $PL \geq PL_r$

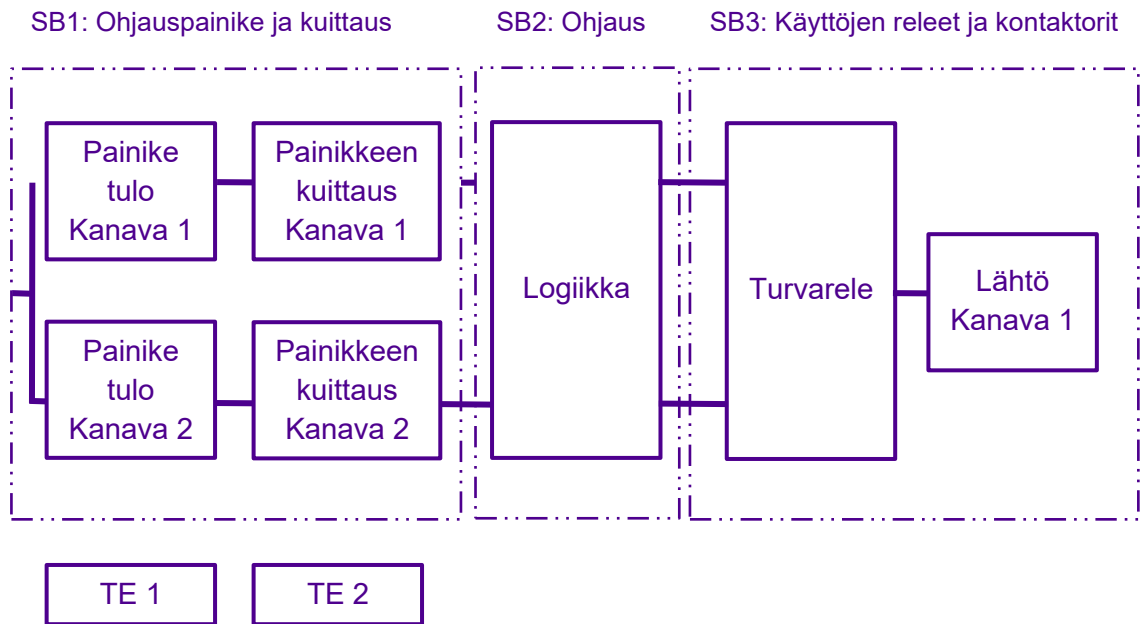
### 4.3. Turvallisuuteen liittyvä lohko-kaavio

Minkä tahansa piirin suorituskyyvyn laskeminen vaatii turvallisuuteen liittyvän lohko-kaavion laatimisen kaikille turvatoiminnoille. Lohko-kaaviosta on käytävä ilmi turvatoiminnon toteutus turvatoiminnon toiminallisissa kanavissa. Näihin tulee huomioida pääkanavat, kahdennetut kanavat ja mahdolliset testauskanavat. (Apfeld R., ym. 2001, 4.)

Lohkokaaviota laadittaessa tulee tietää, että mitkä komponentit toteuttavat halutun turvatoiminnon. Lohkokaavion kanavista tulee ehdottomasti sulkea pois kaikki ne komponentit, jotka eivät ole mukana suorittamassa turvatoimintoa. Jos turvatoiminto on kahdennettu, tulee myös lohkokaaviioon merkitä kaksi toiminnallista kanavaa. Testauskomponentteja saatetaan käyttää kanavassa, jotta mahdolliset vaaralliset vikaantumiset voidaan havaita. Lohkokaaviossa kuvataan esimerkiksi kaikki piirin rajakytkimet ja niiden piirit, ohjelmoitava logiikka, kontaktorit sekä anturin antama sähköinen signaali, joka kulkee prosessilaitteen kautta toimilaitteelle. (Apfeld R., ym. 2011, 6)

Lohkokaaviossa komponenttien loogiset keskinäiset suhteet ovat olennaisia eivätkä välttämättä vastaa komponenttien välisiä fyysisiä kytkentöjä. Standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesti lohkokaaviomalli tulisi vastata jotakin standardin esittelemää luokkaa. SISTEMA:ssa turvatoiminnon toteuttaa alajärjestelmien sarja ja siihen kuuluvat alajärjestelmien rakenteet. SISTEMA:ssa alajärjestelmien järjestyksellä ei ole vaikutusta lopulliseen komponenttien vikaantumistodennäköisyyden laskentaan. (Apfeld R., ym. 2011, 9)

Lohkokaaviossa nimetyt rakenteet ja komponentit kuvataan alkaen tuloyksiköstä, josta turvallisuuden liittyvät signaalit alkavat ja päättyvät tehonohjaselimen lähtöihin. Tuloyksikkönä voi toimia esimerkiksi valoverho, ohjauslogiikan tulopiirit tai kytkimet. Lähtöyksikkö voi vastaavasti olla esimerkiksi lähtösignaalin kytkin. (Apfeld R., ym. 2011, 27) Kuviossa 6 esitellään esimerkki turvatoiminnon lohkokaaviosta, josta näkyy turvatoiminnon kanava ja sen jaottelu turvallisuuden liittyviin alajärjestelmiin.



Testaus

TE 1 Ohjaus valvoo painikkeiden kanavien tilamuutoksien samanaikaisuutta

TE 2 Ohjaus valvoo kuittauspainikkeen toimintaa

KUVIO 6. Esimerkki SISTEMA tarkastelua varten laadittava lohkokaaviosta. (perustuu SFS-EN ISO 13849-1, 33)

Alajärjestelmien sisäinen rakenne muodostuu järjestelmän signaalien siirtokanavien yhdistelmästä. Standardissa SFS-EN ISO 13849-1 esitellään konesovelluksiin sopivat sisäiset rakenteet, jotka ovat yleisimmin käytössä koneautomaatiosovelluksissa. Näillä rakenteilla on enimmäissuoritusastot, jotka rakenteilla voidaan saavuttaa. (Sundquist 2019, 7)

Turvatoimintoja voidaan kuitenkin toteuttaa yhdellä tai useammalla turvallisuuden liittyvällä peräkkäin tai rinnakkain järjestelmään suunnitellulla standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisella rakenteella. Myös useampi turvatoiminto voi käyttää yhtä tai useampaa samaa ohjausjärjestelmän kanavaa, jos on tarpeellista. Yksittäistä turvallisuuteen liittyvää ohjausjärjestelmän kanavaa voidaan myös käyttää toteuttamaan niin turvatoimintoja kuin muitakin turvallisuuteen liittyviä toimintoja. Kanavaa voidaan käyttää myös ns. tavallisia ohjausjärjestelmän toimintoja, kun nämä toiminnot erotetaan riittävästi toisistaan ja käyttötoimintoja käsitellään aina turvallisuuteen liittyvinä toimintoina. (Sundquist 2019, 12)

Turvallisuuden liittyvänä ohjausjärjestelmän toimintona käsiteltävää kanavaa käsitellään seuraavilla oletuksilla:

- Ohjausjärjestelmän toiminta-aika on aina 20 vuotta
- Käytettyjen komponenttien vikaantumistaajuus pysyy vakiona koko järjestelmän elinkaaren ajan.
- Jos alajärjestelmän suoritustaso PL on tiedossa, voidaan sitä käsitellä ohjausjärjestelmän valmiina alajärjestelmänä, joka vain liitetään sellaisenaan kanavan sarjamootoiseen rakenteeseen.
- Standardin mukaiset rakenteet eivät ole piirikaavioita, vaan niitä käsitellään loogisina toimintakaavioina.
- Komponentit, joiden sisäisessä rakenteessa on tarpeeksi kahdennusta, voidaan esittää rakenteissa yksittäisenä alajärjestelmänä niissä rakenteissa, joissa on kahdennetut kanavat. (Sundquist, M. 2019, 12)

### **Turvaluokat**

Turvallisuuden liittyvästä toiminnallisesta piiristä tehty lohkokaaevio ryhmitellään luokan eli rakenteen mukaisesti SISTEMA:ssa alajärjestelmäksi. Standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesti luokkia on viisi ja ne on jaoteltu niiden vaatimusten ja rakenteen mukaisesti. Luokat heikoimmasta vahvimpaan ovat: B,1,2,3 ja 4. (Apfeld R., ym. 2011, 27) Suunnittelun helpottamiseksi Valmetilla pyritään käyttämään turvatoimintojen rakenteena pääasiassa luokan 1 ja 3 mukaisia rakenteita. (Kiviaho 20202)

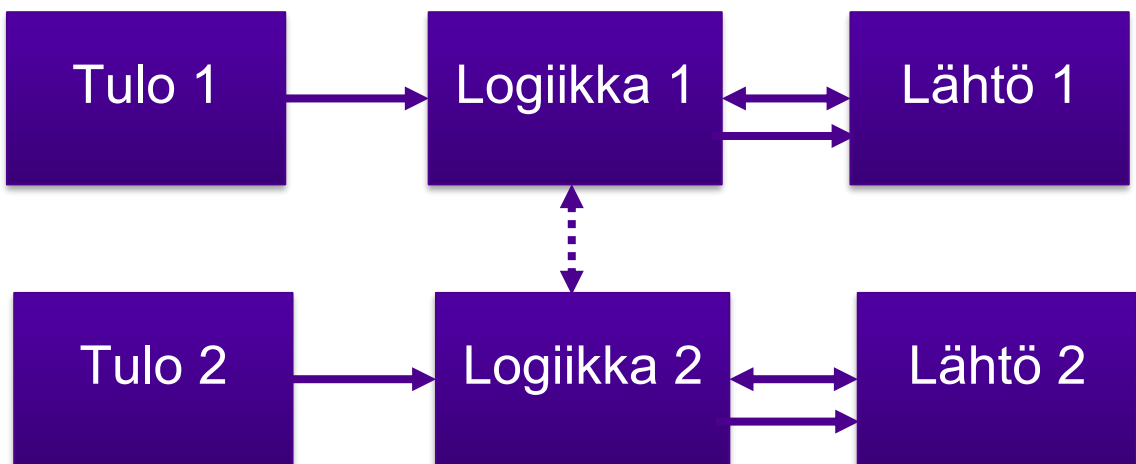
Luokan 1 kuuluu rakenteet, jotka ovat yksikanavaisia ja, joissa käytetään standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisia hyvin koeteltuja komponentteja. Hyvin koeteltujen komponenttien ansiosta vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys luokassa 1 on pienempi, kuin luokan B rakenteissa. Kuitenkin luokan 1 yksikanavaisuus aiheuttaa välittömän turvatoiminnon menettämisen, jos kanavassa tapahtuu vaarallinen vikaantuminen jollekin komponentille. Luokan 1 rakenteilla korkein saavutettava suoritustaso on PLc. (Sundquist, M. 2019, 13)

Kuviossa 7 on esitelty luokan 1 mukainen rakenne. Järjestelmissä tuloyksikkö voi olla esimerkiksi anturi ja lähtöyksikkö esimerkiksi käyttöjärjestelmän pääkontaktori (SFS-EN ISO 13849-1, 43).



KUVIO 7. Tyypillinen kolmen alajärjestelmän rakenne. (Perustuu SFS-EN ISO 13849-1, 46)

Kuviossa 8 on esimerkki luokan 3 järjestelmästä, jonka logiikkakanavien ja logiikan ja lähdön välillä on valvontaa kumpaankin suuntaan. Logiikkakanavien välillä on kohtuudella mahdollisuus vikojen paljastumiseen (SFS-EN ISO 13849-1, 46).



KUVIO 8. Tyypillinen kolmen alajärjestelmän kahdennettu rakenne. (Perustuu SFS-EN ISO 13849-1, 46)

Luokkaan 3 kuuluvat kahdennetut rakenteet, joissa on rajoitetusti sisäistä valvontaa. Luokassa 3 yhden komponentin vikaantuminen ei aiheuta turvatoiminnon menettämistä, mutta vikaantuminen ei välttämättä paljastu. Huomaamatta jäänyt vikaantuminen voi aiheuttaa vaarallisen vikaantumisen seuraavan komponentin vikaantuessa ja aiheuttaa näin turvatoiminnon menettämisen. Luokassa 3 on otettava komponenttien yhteisvikaantumiset huomioon. Luokan 3 rakenteilla korkein saavutettava suoritustaso on PLd. (Sundquist, M. 2019, 13)

Alajärjestelmien toteutus koneautomaatiojärjestelmissä koostuu kolmesta alajärjestelmästä: tulo, logiikka ja lähdöt, joissa

- Tuloina voivat toimia esimerkiksi painikkeet tai rajakytkimet.
- Logiikka on yleensä jokin ohjelmoitava logiikkayksikkö (PLC)
- Lähtöinä voivat toimia esimerkiksi kontaktorit tai taajuusmuuttajat. (Sundquist, M. 2019, 7)

Taulukossa 6 on esitelty kaikkien turvaluokkien ominaisuudet standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesti.

TAULUKKO 6. Luokkien ominaisuudet. (Perustuu: Hauke, ym. 2019, 21)

Ominaisuus	Luokka				
	B	1	2	3	4
Suunniteltu olennaisten standardien mukaisesti	x	x	x	x	x
Turvallisuuden peruseriaatteet	x	x	x	x	x
Hyvin koetellut turvallisuusperiaatteet			x	x	x
Hyvin koetellut komponentit			x		
$MTTF_D$	Matala - keskitaso	Korkea	Matala – Korkea	Matala – Korkea	Korkea
Vian havaitseminen (testit)			x	x	x
Yksittäisen vian sieto				x	x
Vikojen kertymisen huomioiminen					x
Diagnostiikan keskimääräisen kattavuus $DC_{avg}$	Ei mitään	Ei mitään	Matala - Keskitaso	Matala - Keskitaso	Korkea
Toimet yhteisvikaantumista $CCF$ vastaan			x	x	x
Luokitellaan ensisijaisesti	Komponenttien perusteella		Rakenteen perusteella		

#### 4.4. Suorituslaskentaan tarvittavat muuttujat

Suorituskyvyn arviointi tehdään erikseen jokaiselle alajärjestelmälle järjestelmän luokan ja siihen liittyvien muuttujien arvojen avulla. Muuttujia ovat:

- Kaikkien piirissä käytettyjen komponenttien keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika eli  $MTTF_d$
- Kaikkien käytettyjen komponenttien diagnostiikan keskimääräinen kattavuus eli  $DC_{avg}$
- Kahdennettujen kanavien yhteisvikaantumisen estämiseen käytetyt menetelmät eli CCF. (Sundquist, M. 2019, 15)

##### 4.4.1 Vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika $MTTF_D$

Turvatoiminnon toteuttavien komponenttien keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika on keskeinen parametri, kun suunnitellun turvatoiminnon suoritustasoa  $PL$  verrataan riskin arvioinnin perusteella määritettyyn vaadittuun suoritustasoon  $PL_r$ . Keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika  $MTTF_D$  kertoo keskimääräisen odotettavissa olevan ajan ensimmäisen vaarallisen vikaantumisen esiintymiseen komponentissa. (Sundquist 2019, 16)

Komponenteille oletetaan, että niiden turvatoiminnon vikatiheys on vakio eli riski turvatoiminnon menettämiseen komponentilla pysyy samana koko komponentin käyttöään läpi. On kuitenkin huomioitava, että erilaisten komponenttien vikaantumisaikat vaihtelevat suuresti. Siksi tarkkojen vikaantumisaikojen määrittäminen tietyille komponenttityypeille on vaikeaa. (Sundquist, M. 2019, 17-18)

Standardin SFS-EN ISO 13849-1 menetelmillä vaarallinen vikaantumisaika voidaan kuitenkin arvioida tai laskea riittävän tarkasti, jotta voidaan määrittää komponentin suoritustaso. Yleensä koneen valmistaja hankkii tarvittavien komponenttien mukana komponenttivalmistajan määrittävät komponenttitiedot, joiden

tulisi sisältää komponentin vikaantumistiedot. Jos vikaantumistietoja ei kuitenkaan ole saatavilla komponenttivalmistajalta, voidaan hyödyntää standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisia menettelytapoja. (Sundquist, M. 2019, 18)

Standardin SFS-EN ISO 13849-1 liitteessä C esitellään erilaisia tapoja vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaian  $MTTF_D$  arviointiin ja laskentaan arvo yksittäisille komponenteille. Menetelmät perustuvat erilaisten komponenttien ominaisuuksiin ja ne on jaettu komponenttikohtaisesti seuraavasti:

1. Hyvien valmistuskäytäntöjen huomioon ottaminen erilaisille komponenteille
2. Hydrauliset komponentit
3. Pneumaattiset, mekaaniset ja sähkömekaaniset komponentit:  $B_{10}$  arvojen avulla
4. Taulukkoarvot sähköisille komponenteille. (SFS 13849-1 2015, 26, 59)

Pneumaattisille, mekaanisille ja sähkömekaanisille komponenteille voidaan laskea vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika käyttämällä komponentin valmistajan tuotetiedoista saatavaa  $B_{10D}$ -arvoa (toimintajaksojen määrä kunnes 10% komponenteista vikaantuu vaarallisesti). Jos valmistaja ei ole ilmoittanut suoraan komponentin  $B_{10D}$ -arvoa, voidaan se laskea komponentin  $B_{10}$ -arvosta (toimintajaksojen määrä kunnes 10% komponenteista vikaantuu) tai komponentin ilmoitetusta eliniästä käyttäen kaavaa 2:

$$B_{10D} = 2 * B_{10} \quad (2)$$

$MTTF_D$ -arvo voidaan laskea  $B_{10D}$ -arvoa hyödyntäen kaavalla 3:

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \times n_{op}} \quad (3)$$

jossa



$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \text{ s/h}}{t_{toimintajakso}} \quad (4)$$

Kaavassa 4 keskimääräinen toiminta-aika  $d_{op}$  on yksikössä päivää/vuodessa ja  $h_{op}$  on esitetty yksikössä tuntia/päivässä. Muuttuja  $t_{toimintajakso}$  kertoo komponentin kahden peräkkäisen toimintajakson alkamisajankohdan välisen keskimääräisen aikavälin yksikössä s/1. (SFS 13849-1 2015, 62).

#### 4.4.2 Diagnostiikan kattavuus DC

Diagnostiikalla tarkoitetaan järjestelmän kykyä havaita komponenttiviait. Diagnostiikan kattavuus kertoo todennäköisyyden, että vika havaitaan silloin, kun vika tapahtuu. Diagnostinen kattavuus sisältää vikojen esiintymisen todennäköisyyden. Viat, jotka todennäköisemmin tapahtuvat ovat merkityksellisempiä kuin viat, jotka ovat vähemmän todennäköisiä. Kaikkien korjattavissa olevien ohjausjärjestelmien turvallisuus kasvaa, kun niiden diagnostiikkaa lisätään. (Hauke, ym. 2019, 21)

Diagnostiikan kattavuutta arvioitaessa tulee tietää kaikki mahdolliset komponenttiviait, joita piirissä tai komponentissa on mahdollista tapahtua. Jos piirissä tai komponentissa tapahtuu vika, jota ei ole etukäteen tunnistettu, on todennäköistä, että järjestelmä ei havaitse vikaa. Kuitenkin tällaisten vikatilanteiden esiintymistiheydet ovat todennäköisesti hyvin pieniä, sillä jos vastaavia vikoja esiintyisi piirissä tai komponenteissa, tulisi vika herkästi tunnistettua. Vikojen tunnistus pätee erityisesti komponentteihin, joita käytetään monissa sovelluksissa. Uusien tai havaitsemattomien vikatilojen mahdollisuus on suurempi uusille komponenteille. (Hauke, ym. 2019, 21)

Koneen valmistajan voi olla vaikea arvioida yksittäisten komponenttien tai piirien diagnostiikan kattavuutta testaamalla komponenttien tai piirien kaikkia mahdollisia vikatiloja. Yleensä komponenttivalmistaja ilmoittaa komponentin turvallisuustiedoissa diagnostiikan kattavuudelle arvon. Jos kuitenkaan komponenttivalmistaja ei ole ilmoittanut diagnostiikan kattavuudelle arvoa antaa standardi SFS-EN

ISO 13849-1 liitteessä E esimerkkejä diagnostiikan kattavuudesta erilaisille tu-  
loyksiköille, logiikoille ja lähtöyksiköille. (SFS-EN ISO 13849-1, 70-72)

Monissa järjestelmissä voidaan kuitenkin käyttää monenlaisia toimenpiteitä viko-  
jen paljastamiseen ja näillä kaikilla voi olla toisistaan eroavat diagnostiikan katta-  
vuuden arvot. Tällöin järjestelmän diagnostiikan kattavuudesta käytetään keski-  
määräistä arvoa  $DC_{avg}$ , joka kattaa turvatoimintoa suorittavien turvallisuuteen liit-  
tyvien ohjausjärjestelmän osien kokonaisuuden. (SFS-EN ISO 13849-1, 72)

Diagnostiikan kattavuus voidaan määrittää standardin SFS-EN ISO 13849-1 mu-  
kaisien kaavan 5 avulla paljastuneiden vaarallisten vikaantumisten vikaantumis-  
taajuuden suhteena kaikkien vaarallisten vikaantumisten vikaantumistaajuuteen  
(SFS-EN ISO 13849-1, 72).

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{D1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{D2}} + \dots + \frac{DC_n}{MTTF_{Dn}}}{\frac{1}{MTTF_{D1}} + \frac{2_2}{MTTF_{D2}} + \dots + \frac{n}{MTTF_{Dn}}} \quad (5)$$

#### 4.4.3 Yhteisvikaantuminen CCF

Yhteisvikaantumisen syy voi tietyissä olosuhteissa olla esimerkiksi likaantumi-  
nen, ylikuumentuminen tai oikosulku. Nämä voivat aiheuttaa vikoja, joiden seu-  
rauksena esimerkiksi molemmat ohjauskanavat vikaantuvat vaarallisesti yhtä ai-  
kaa ja näiden turvatoiminnot menetetään. Tällaisten vaarallisten yhtäaikaisten vi-  
kaantumisten tapahtumisen hallinta ja ennaltaehkäisy tulee olla osoitettavissa.  
(Hauke, ym. 2019, 21)

Standardissa SFS-EN ISO 13849-1 liitteessä F esitellään yhteisvikaantumisen  
estävien toimenpiteiden arviointiin pisteytystaulukko, jossa erilaiset toimenpiteet  
on pisteytetty 5-25 pisteen väliltä. Turvatoimintoja suunniteltaessa on otettava  
huomioon nämä toimenpiteet siten, että taulukosta saadaan toteutettua yhteisvi-  
kaantumisten estäviä toimenpiteitä vähintään 65 pisteen verran.

Taulukossa käydään läpi seuraavia toimenpiteitä, joita voidaan käyttää yhteisvi-  
kaantumisten estämiseen:

- Signaalireittien fyysinen erottaminen
- Erilaisten teknologioiden, toteutustapojen sekä fyysisten periaatteiden käyttö
- Komponenttien suojaustoimenpiteet
- Hyvin koeteltujen komponenttien käyttö
- Osien vika- ja vaikutusanalyysit
- Suunnittelijan pätevyys ja koulutus
- Ympäristöolosuhteet

## 5 SUORITUSKYKYLASKENNAN TOTEUTTAMINEN

### 5.1. Turvalogiikka

Turvalogiikka eroaa tavallisesta ohjauslogiikasta siten, että se valvoo koko ajan omaa sisäistä toimintaansa ja sen mahdollisia vikatiloja. Riippuen turvatoiminnosta turvalogiikan tulot ja lähdöt voivat olla kahdennettuja. Turvalogiikkaa käytetään, jotta voidaan toteuttaa erilaisia turvatoimintoja rinnan ilman, että piirin tuloihin ja lähtöihin tarvitsee tehdä suuria muutoksia. Turvalogiikan käyttö turvatoimintojen toteutuksessa yksinkertaistaa piirin vikojen selvitystä ja turvatoimintojen asennusta. (Kiviaho 2020) Valmetin turvatoiminnoissa käytetään pääsääntöisesti turvalogiikoiden valmistajan HIMA Oy:n turvalogiikkalaitteita, joissa kaikki logiikan tulot on toteutettu kahdennettuina ja kaikille kahdennetuille tuloille tehdään yhdenaikaisuustarkastelu. (Valmet Automation Oy, 2019)

Ohjausjärjestelmän toiminnalliseen turvallisuuteen liittyville ohjausyksiköille voidaan standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaan määrittää suoritustaso PL. (SFS-EN ISO 13849-1, 7) Opinnäytetyössä tarkastelussa olevat turvatoiminnot käyttävät turvalogiikkana HIMA Himax turvalogiikkaa, jonka valmistajan antamat olennaiset turvallisuuteen liittyvät arvot on esitelty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Turvalogiikan komponentit sekä valmistajan antamat olennaiset tekniset tiedot. (HIMA Paul Hildebrandt GmbH, 2016)

Komponentti	Moduuli	MTTF <sub>d</sub> (vuotta)	DC <sub>avg</sub> (%)	PFH (1/h <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	PL
Lähtökortti	X-DI 32 01	154	99.25 %	1.97 E-09	e
Tulokortti	X-DO 24 01	121	99.20 %	2.85 E-09	e
Keskusyksikkö	X-CPU 01	92	99.60 %	1.45 E-09	e

## 5.2. Hätäpysäytys

Kahdennetuilla koskettimilla varustetut hätäpysäytyspainikkeet on johdotettu turvalogiikalle. Kun mikä tahansa paperikoneen linjakäytön hätäpysäytyspainikkeista on aktivoituna, kaikki linjakäytöille menevät hätäpysäytyslähdöt aktivoidaan. Hätäpysäytystilanteessa kaikki hätäpysäytyspiiriin kuuluvat linjakäytöt vastaanottavat omaan turvatuloonsa hätäpysäytystiedon turvalogiikalta. Hätäpysäytystieto lähetetään kaikille paperikoneen käyttöryhmille myös käytönohjausjärjestelmästä. (Valmet Automation Oy, 2019)

Paperikoneen käyttöryhmät hidastavat ja jarruttavat niille sähköisesti asetellun hidastusajan mukaisesti. Paperikoneen linjakäytöiltä saadaan turvalogiikalle takaisinkytkentänä hätäpysäytyksen aktiivinen tilatieto. Paperikoneen käytönohjausten hidastusajan loputtua tai jos hidastus ei onnistu, käyttöryhmät menevät tilaan, jossa tehonsyöttö katkaistaan. (Valmet Automation Oy, 2019)

Hätäpysäytyksen jälkeen kaikki hätäpysäytyspainikkeet voidaan palauttaa normaalitilaan. Hätäpysäytystila pysyy kuitenkin päällä, kunnes hätäpysäytys on kuittattu erikseen pois päältä. Kuittaus on mahdollista vain silloin, kun kaikki hätäpysäytyspainikkeet on palautettu ja hätäpysäytyspainikkeiden kahdennetuissa tuloissa ei havaita valvontahäiriöitä. (Valmet Automation Oy, 2019) Hätäpysäytyksen kuittaus tapahtuu kuvan 3 mukaisella valaistulla kuittauspainikkeella.



KUVA 3. Kuittauspainike. (Siemens Industry Mall, 2020. Illuminated Pushbutton)

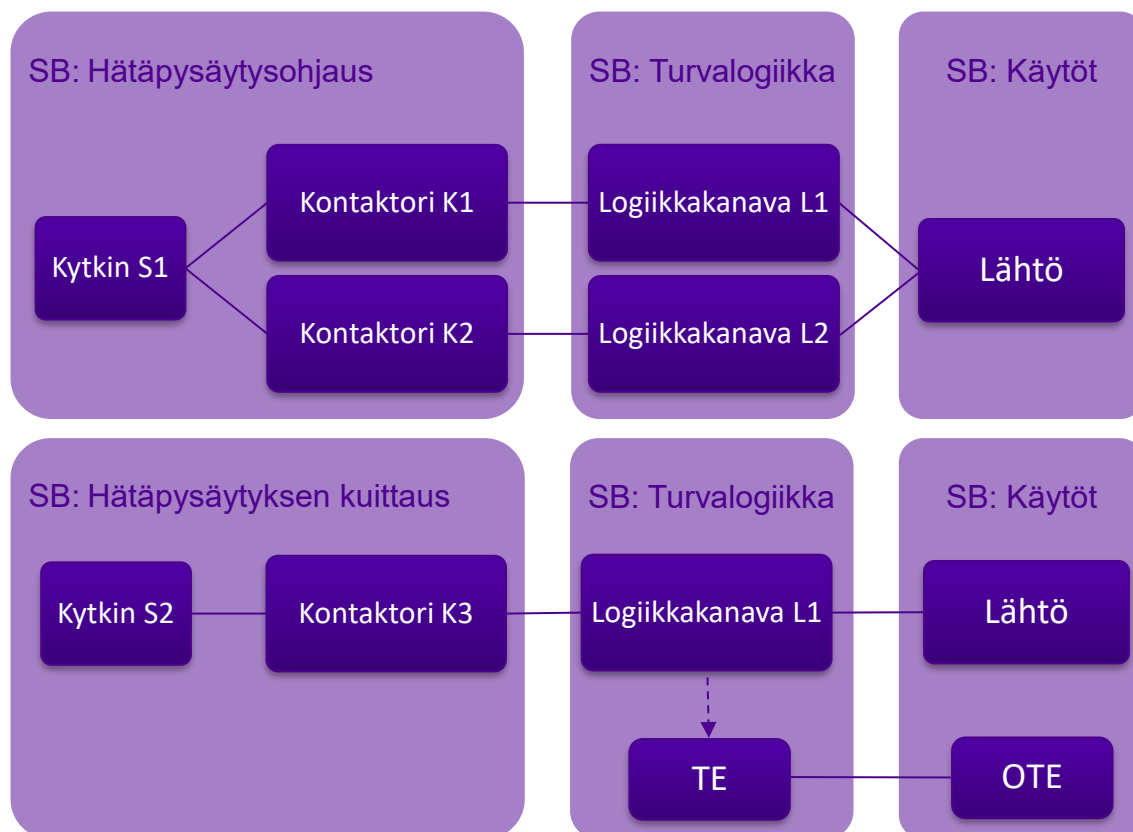
Hätäpysäytystoiminto on riippumaton paperikoneen käyttöjenohjausjärjestelmästä. Hätäpysäytyksen linjakäytön turvavaatimuksiin kuuluu tarkat ohjeet hätäpysäytyslaitteiden sijoituksesta koneen läheisyyteen. Kaikki hätäpysäytyslaitteet tulee sijoittaa siten, että käyttäjän on helppo ulottua niihin ja etäisyys hätäpysäytyslaitteisiin koneen kaikista kohdista ei saa ylittää 15 metriä. Vähintään yksi hätäpysäytyslaite on oltava sijoitettuna jokaisella käyttöpaikalla, koneen hoitopuolella ja käyttöpuolella, konekuopissa ja kaikilla niillä alueilla, joihin käyttäjän tai muun henkilön on päästävä suorittamaan työtehtäviä. (Valmet Automation Oy, 2019)

Hätäpysäytyksen tekee käyttäjä painamalla punaista hätäpysäytysnappia tarvittaessa. Hätäpysäytyspiirissä on käytetty standardin SFS-EN ISO 13850 mukaista hätäpysäytyspainiketta, joka on esitelty kuvassa 4. Hätäpysäytyksen tarkoituksena on mahdollisimman nopea pysähtyminen riskinarvioinnissa määritettyjen pysäytysluokkien mukaisesti, mutta aiheuttamatta muuta vaaraa. Tämän tarkoituksena on estää tai pienentää vaarallisen tilanteen aiheuttamaa mahdollista vahinkoa ihmiselle tai koneelle. Siksi hätäpysäytys tehdään yleensä tapaturmatilanteessa tai, kun huomataan mahdollinen vaaraa-aiheuttava vika koneella. (SFS-EN ISO 13850 2015, 7)



KUVA 4. Hätäpysäytyskytkin ja hätäpysäytyksen kyltti. (Siemens Industry Mall, katalogikuva hätäpysäytyspainikkeelle, Scheinder Electric, n.d. Legend Holder)

Kuviossa 9 esitellään hätäpysäytyskytkimeltä turvalogiikalle määritettyjen toiminnallisten kanavien avulla tehty lohkokaavio. Lohkokaaviossa hätäpysäytyslaitteen avautuva ja sulkeutuva kosketinelementti, mukaan lukien mekaaninen toiminto, lasketaan lohkokaaviossa erillisiksi kanaviksi, jotka vastaavat laskennallisesti toisiaan. (SFS 13849-1 2015, 60)



KUVIO 9. Hätäpysäytysohjauksen ja kuittauksen lohkokaaviot.

Hätäpysäytysohjaus on määritetty lohkokaaviossa kaksikanavaiseksi, sillä hätäpysäytyspainike on kaksikanavainen sisältäen avautuvan ja sulkeutuvan kosketinelementin ja sen vikasietoisuus rajoittuu yhteen vikaantuneeseen kanavaan, sillä kanavissa ei ole erillistä valvontaa. Piirin hätäpysäytys voidaan tällä perusteella luokitella vähintään standardin mukaiseen luokkaan 3. (SFS 13849-1 2015, 61).

Kuviossa 9 on esitelty myös standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaan hätäpysäytyksen rinnalle suunniteltu hätäpysäytyksen kuittaus, jonka toiminta ei saa heikentää kuitenkaan hätäpysäytystoiminnan aikaansaamaa turvallisuuden ta-

soa. Häätäpysäyetyksen kuittauksen luokaksi on määritetty luokka 2, jossa pääkanavan toimivuuden valvonnan hoitaa turvalogiikka sopivin väliajoin. Luokan 2 korkein saavutettavissa oleva suorituslasi on PLd, joka vastaa häätäpysäyetyspiirin vaadittavaa suorituslasi. (SFS-EN ISO 13849-1, 43) Opinnäyetyön liitteessä 1 esitellään häätäpysäyetyspiirin ja häätäpysäyetyspiirin kuittauksen sähkökuvat, joiden perusteella lohkokaaaviot on muodostettu.

Häätäpysäyetyspiirin komponentit on esitelty taulukossa 8 ja häätäpysäyetyksen kuittauspiirin komponentit taulukossa 9. Taulukoissa esitellyt Siemensin SIRIUS tuotesarjan komponentit ovat suunniteltu modulaarisiksi ja siksi turvatoiminnon ohjailaitteen komponenteille pätevät samat turvallisuuslasi. Suorituskykylläskennassa modulaariset komponentit katsotaan yhdeksi kokonaisuudeksi. (Industrial Controls – SIRIUS)

TAULUKKO 8. Häätäpysäyetyspiirin komponentit sekä valmistajien antamat olennaiset tekniset lasi. (Siemens Industry Mall, 2020. Emergency Stop Mushroom Pushbutton)

Komponentti		
Osa	Laitetunnus	Toimittaja
Painonapin pää	3SU1000-1HB20-0AA0	Siemens
Kosketinsuojus	3SU1900-0DY30-0AA0	Siemens
Pidike	3SU1500-1AA10-1PA0 NC+NC	Siemens
Tekniset lasi		
B10	100 000 käyttöjaksoa	
Vaaralliset vikaantumiset	20 %	

TAULUKKO 9. Häätäpysäyetyksen kuittauspiirin komponentit sekä valmistajien antamat olennaiset tekniset lasi. (Siemens Industry Mall, 2020. Indicator Lights)

Komponentti		
Osa	Laitetunnus	Toimittaja
Valaistu painike	3SU1102-0AB50-1FA0 1NO+1NC	Siemens
Tekniset lasi		
B10	3 000 000 käyttöjaksoa	
Vaaralliset vikaantumiset	20 %	



### 5.3. Käynnistysvaroitus

Ääni- ja valomerkkilaitteita käytetään ennen koneen käynnistymistä ja useissa kohteissa ennen laitteiden liikutusta. Käynnistysvaroituslaitteet toimivat siten, että henkilökunnalla on riittävän pitkä aika siirtyä turvallisille alueille koneen ympäristössä. (Valmet Technologies Oy, 2016. 33) Kuvassa 5 on esitelty hälytyssireeni, joka antaa varoitusaänen koneen käynnistyessä.



KUVA 5. Hälytyssireeni. (Pfannenbergl, 2020.)

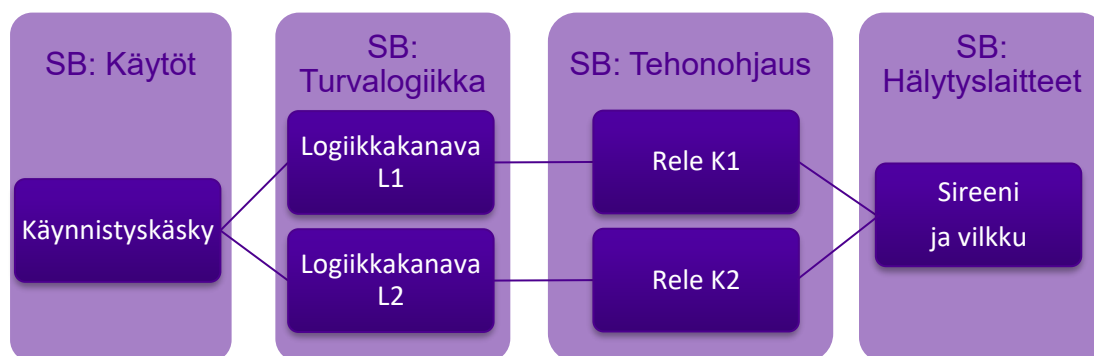
Käynnistysvaroituspiiri on yhteinen koko koneelle. Käynnistysvaroituslaitteiden toimintaa valvotaan turvajärjestelmässä. Käynnistysvaroitus antaa käynnistyslupaa koneen sähkökäyttöille ohjaamalla käytöt pois käynnistyksen estotilasta. Käynnistysvaroituspiiri ohjaa myös eri käynnistyshälytyssireeneitä yhtäaikaisesti ja valvoo niiden toimintaa. (Valmet Automation Oy, 2019)

Käynnistysvaroituspiirillä on kolme erilaista tilaa: käynnistysvaroitus-, odotus-, ja käynnistyslupatila. Käynnistyskäskyn tullessa ensimmäisen kerran, kun käynnistyslupa ei ole vielä voimassa, aktivoi käsky käynnistysvaroitustilan. Turvajärjestelmä ohjaa käynnistysvaroitustorvia 5 sekunnin ajan ja valvoo, että kaikki torvet ovat toiminnassa. Käynnistysvaroitustilaa seuraa odotustila, joka on päällä yhteensä 15 sekuntia ja jota seuraa käynnistyslupatila, joka on päällä 30 sekuntia.

Käynnistyslupan tilatieto viedään kaikille paperikoneen käytöille. (Valmet Automation Oy, 2019)

Turvajärjestelmä sallii käyttöryhmien käynnistämisen käynnistyslupa-ajan aikana. Käynnistys tehdään antamalla käynnistyskäsky uudelleen. Käyttöryhmä käynnistyy, jos kaikki lukitusehdot sen sallivat. Koneen käynnistyslupa on päällä niin kauan kuin koneen käyttö on päällä ja 120 sekuntia koneen pysähtymisen jälkeen. (Valmet Automation Oy, 2019)

Koneen käynnistysvaroitusta voidaan antaa kaikilta käynnistettäviltä käyttöryhmiltä sekä linjakäyttöjen ohjauksista. Jokaisen käynnistysvaroitimen toiminnasta tulee erillisesti valvontatieto turvalogiikalle. Koneen käynnistyslupa ja sähkönkäynnistäminen estetään, jos käynnistysvaroituksesta ei tule valvontatietoa turvalogiikalle 2 sekunnin kuluttua sen ohjauksesta. (Valmet Automation Oy, 2019) Kuviossa 10 esitellään lohkokaavio, joka on muodostettu käynnistyskäskyn aikaansaaman käynnistysvaroituksen toiminnallisten kanavien avulla. Opinnäytetyön liitteessä 2 esitellään käynnistysvaroituspäin sähkökuva, jonka perusteella lohkokaaavio on muodostettu.



KUVIO 10. Käynnistyshälytyksen lohkokaaavio.

Käynnistysvaroitustorvia ohjataan käynnistysvaroitustilan voimassaoloajan. Järjestelmän odotustilan ja käynnistyslupatilan ajan käynnistysvaroitustorvilla ei ole ohjausta. (Valmet Automation Oy, 2019)

Taulukoissa 10 ja 11 esitellään käynnistysvaroituspierin turvallisuuteen olennaisesti liittyvät komponentit ja niiden valmistajien antamat olennaiset tekniset tiedot, joita voidaan käyttää piirin suorituskykylaskennassa.

TAULUKKO 10. Hälytyssireenin olennaiset tekniset tiedot. (Pfannenber, 2020.)

Komponentti		
Osa	Laitetunnus	Toimittaja
Hälytyssireeni	DS-10 SIL 24VDC, 23111800601 110 dB, 24 VDC, IP66/IP67	Pfannen- berg
Tekniset tiedot		
Luokka	2	
PL	d	
MTTF <sub>d</sub>	>100 vuotta	
DC <sub>avg</sub>	94,9 %	

TAULUKKO 11. Turvareleen olennaiset tekniset tiedot. (Phoenix Contact, n.d.)

Komponentti		
Osa	Laitetunnus	Toimittaja
Turvarele	PSR-SCP-24DC/FSP/2X1/1X2, 2986960 24 VDC, 2NO+1NC	Phoenix Contact
Tekniset tiedot		
Luokka	4	
PL	e	
DC <sub>avg</sub>	99 %	
MTTF <sub>d</sub>	269 vuotta	

#### 5.4. Odottamattoman käynnistymisen eston linjakäyttö

Odottamattoman käynnistymisen eston tarkoituksena on estää koneen osan käynnistäminen. Kone on jaettu toiminnallisiin käynnistymisenesto alueisiin, joissa jokaisessa on odottamattoman käynnistymisen estokytkimet. Kytkimet on langoitettu turvalogiikalle, joka valvoo piirin odottamattoman käynnistymisen estokytkimien koskettimien tilatietoja. (Valmet Automation Oy, 2019)

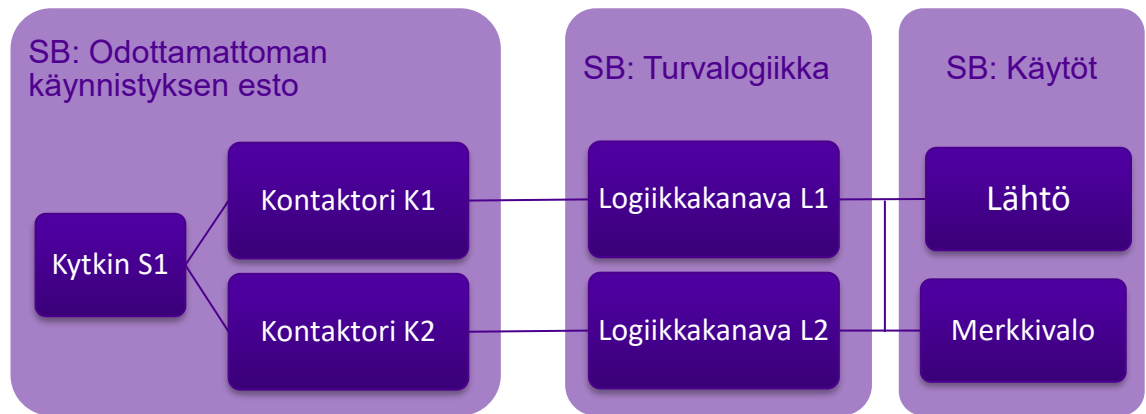
Turvalogiikka ohjaa käynnistyksen estoalueen käyttöryhmät käynnistyksen estotilaan, kun odottamattoman käynnistyksen estokytkin on asetettu estotilalle tai, jos kytkimet eivät toimi samanaikaisesti. Jos koskettimet eivät toimi samanaikaisesti asettaa turvalogiikka järjestelmän vikatilaan. Vikatila kuittaantuu, kun kytkimet ovat samassa tilassa ja vika on kuitattu ohjausjärjestelmästä. Ohjausjärjestelmässä on oma kuittauksensa jokaiselle kytkimelle. Turvalogiikka ohjaa estokytkimen vieressä olevaa merkkivaloa. Merkkivalo on päällä aina, kun koneen osa on käynnistyksen estotilassa. Järjestelmän ollessa käynnistyksen estotilassa ohjaa turvalogiikka kaikki käyttöjen estotilat päälle ja avaa koneen etukojeen. (Valmet Automation Oy, 2019)

Kuvassa 6 esitellään esimerkki odottamattoman käynnistyksen estokytkimestä, jossa on lukitus mahdollisuus. Kytкин on pystyttävä lukitsemaan estotila-asentoon käytön ajaksi esimerkiksi nimetyllä riippulukolla. (SFS-EN 1034-1 + A1, 40)



KUVA 6. Esimerkkikuva ohjauskytkimestä. (Kraus & Naimer 2020)

Kuviossa 11 esitellään lohkokaavio, joka on muodostettu odottamattoman käynnistyksen estopiirin toiminnallisten kanavien avulla. Opinnäytetyön liitteessä 3 esitellään odottamattoman käynnistyksen estopiirin sähkökuva, jonka perusteella lohkokaavio on muodostettu.



KUVIO 11. Odottamattoman käynnistyksen eston lohkokkaavio.

Taulukossa 12 on esitelty odottamattoman käynnistyksen estopiirissä olennainen komponentti. Komponentille ei löytynyt turvallisuuden kannalta olennaisia teknisiä tietoja. Luvussa 6 esitellään suorituskykylaskennan tulokset piirille.

TAULUKKO 12. Ohjauskytkimen olennaiset tekniset tiedot.

Komponentti		
Osa	Laitetunnus	Toimittaja
Ohjauskytkin	DH11B A291 600E/ S1V840G/A71/A2	Kraus & Naimer

### 5.5. Nykäyskäyttö

Nykäyskäyttö eli koneen ajo käsiohjauksella ryömintänopeudella alle 15 m/min on Valmetin paperikoneilla ja Valmetin toimittamissa modernisoinneissa mahdollista vain langallisella paikallisohjaimella. Kuvassa 7 on esiteltyä Schneiderin roikkuva käsiohjainmalli. (Valmet Technologies Oy. 2020)



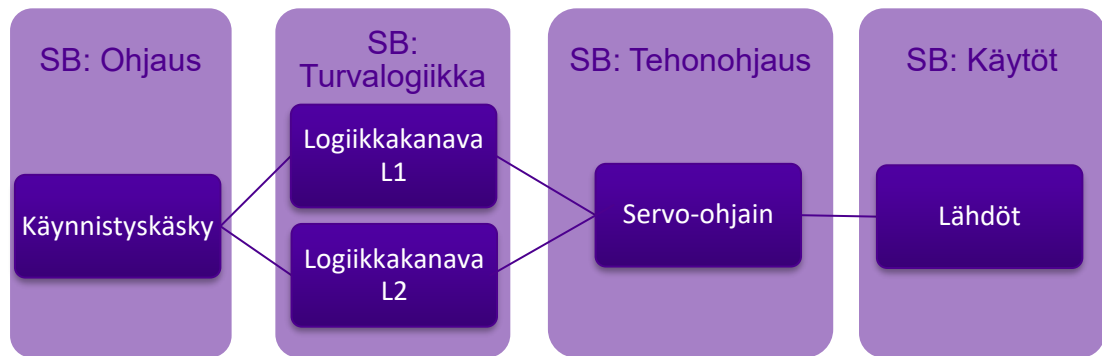
KUVA 7. Roikkuva käsiohjain. (Scheinder Electric Pendant Control Station).

Paperikoneen käytön ohjaus nykäyskäytöllä tapahtuu vain kiinteästä ohjauspaneelistä tai muusta kiinteästä käsiohjaimesta, jonka luota on näköyhteys koko paperikoneen sille alueelle, jota on tarkoitus ajaa ryömintänopeudella. Paperikoneen nykäyskäyttö ajettavalla alueella ei siis ole sallittua valvomosta tai muista paperikoneella olevista ohjaimista eikä etäohjauksena muualta. (Valmet Technologies Oy. 2020)

Nykäysajo-ohjaimen kuuden sisäisen kytkimien koskettimen tilatiedot langoitetaan turvajärjestelmään, joka valvoo koskettimien yhtäaikaista toimintaa. Turvajärjestelmä ohjaa käynnistyksen estoalueen käyttöryhmät käynnistyksen estotilaan, kun nykäysajo-ohjaimen kaapeli on kytketty tai koskettimet eivät toimi samanaikaisesti. Jos koskettimet eivät toimi samanaikaisesti vikatila asettuu päälle. Vikatila poistuu, kun koskettimet ovat samassa asennossa ja vika kuitataan ohjausjärjestelmästä, jossa jokaiselle kytkimelle on oma viankuittaus. Nykäysajo eli pakkokäyttö on päällä, jos yksi tai molemmat ohjaimen koskettimet ovat kiinni. Tällöin koneen osa voidaan käynnistää vain kyseisellä nykäysajo-ohjaimella. (Valmet Automation Oy, 2019)

Nykyäys-ajo ohjainlaitteen kytkentä aktivoi odottamattoman käynnistyksen eston. Estotila poistetaan, kun ohjaimella ohjataan eteen tai taakse. (Valmet Automation Oy, 2019)

Kuviossa 12 esitellään lohkokaavio, joka on muodostettu nykäyskäytön toiminnallisten kanavien avulla. Opinnäytetyön liitteessä 4 esitellään nykäyskäyttöpiirin sähkökuva, jonka perusteella lohkokaavio on muodostettu.



KUVA 8. Nykäyskäytön lohkokaavio.

Taulukoissa 13 ja 14 on esitelty nykäyskäyttöpiirin olennaiset komponentit ja valmistajien antamat suorituskykylaskennan kannalta olennaiset tekniset tiedot.

TAULUKKO 13. Nykäyskäytön ohjauksen olennainen komponentti.

Komponentti		
Osa	Laitetunnus	Toimittaja
Käsiohjain	XACA201 2 x painonappi	Schneider Electric
Tekniset tiedot		
Mekaaninen elinikä	1 000 000 kytkentää	

TAULUKKO 14. Nykäyskäytön tehonohjauksen olennaiset komponentit.

Komponentti		
Osa	Laitetunnus	Toimittaja
Servo-ohjain	SINAMICS S120 modulaarinen ohjausyksikkö CU320-2 PN	Siemens
Pulssianturi	SINAMICS S120 modulaarinen sin/cos sensoriyksikkö SMC/E 20/25/40/120/125	Siemens
Kaappimoduuli	SINAMICS S120 Kaappimoduuli	Siemens
Tekniset tiedot		
Luokka	3	
PL	d	

## 6 SUORITUSKYKYLASKENNAN TULOKSET JA YHTEENVETO

### 6.1. Häätöäytyspiiri

Häätöäytyspiirin suorituskykylaskennan tulokset on esitelty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Häätöäytöksen suorituskykylaskennan tulokset.

Alajärjestelmä:	PL <sub>r</sub>	PL
Häätöäytöspainike	d	d
Himax	d	e
Kuittauspainike	d	d
Koko järjestelmä yhteensä:	d	d

Taulukossa 16 esitellään häätöäytöspiirin komponenttien olennaiset turvallisuusmuuttujien arvot.

TAULUKKO 16. Häätöäytöksen SISTEMA suorituskykylaskennassa saadut arvot.

Alajärjestelmä	Suure	Arvo
Häätöäytöspainike	Luokka	3
	MTTF <sub>d</sub>	Vikojen poissuljenta
	DC	Vikojen poissuljenta
	CCF	Vikojen poissuljenta
Himax	Luokka	3
	MTTF <sub>d</sub>	39,9 vuotta
	DC <sub>avg</sub>	99%
	CCF	70 pistettä
Kuittauspainike	Luokka	2
	MTTF <sub>d</sub>	79,8 vuotta
	DC <sub>avg</sub>	90%
	CCF	75 pistettä

Häätöäytöspiirin suorituskykylaskennassa on käytetty häätöäytöspainikkeen vikojen poissuljenta, jolloin toiminnon MTTF<sub>d</sub>, DC ja CCF arvoja ei ole tarvetta



käsitellä. Siemens kertoo teollisten ohjauslaitteidensa manuaalissa, että Sirius-tuotesarjan hätäpysäytyspainikkeet varustettu vikasuojaustoiminnolla, eikä hätäpysäytyspainikkeen painonappi ei sulkeudu ilman hätäpysäytyssignaalia. Vikatilanteessa hätäpysäytyssignaalia pidetään yllä, kunnes hätäpysäytyslaite on irrotettu. Sirius-tuotesarjan hätäpysäytyspainiketta voidaan käsitellä vikaseitoisena laitteena. (Siemens 2019, 61)

## 6.2. Käynnistysvaroitukset

Käynnistysvaroituspäiriin suorituskykylaskennan tulokset on esitelty taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Käynnistysvaroituspäiriin suorituskykylaskennan tulokset.

Alajärjestelmä:	PL <sub>r</sub>	PL
Turvarele	c	e
Himax	d	e
Hälytyssireeni	d	d
Koko järjestelmä yhteensä:	c	c

Taulukossa 18 esitellään käynnistysvaroituspäiriin SISTEMA suorituskykylaskennassa saavutetut arvot alajärjestelmille.

TAULUKKO 18. Käynnistysvaroituksen SISTEMA suorituskykylaskennassa saadut arvot.

Alajärjestelmä	Suure	Arvo
Turvarele	Luokka	4
	PFH <sub>d</sub>	2 * 10 <sup>-11</sup> 1/h
Himax	Luokka	3
	MTTF <sub>d</sub>	39,9 vuotta
	DC <sub>avg</sub>	99%
	CCF	70 pistettä
Hälytyssireeni	Luokka	1
	PFH <sub>d</sub>	7,7 * 10 <sup>-8</sup>

Käynnistysvaroituspäihin turvarele ja hälytyssireeni löytyivät suoraan valmistajien SISTEMA kirjastoista, jolloin niitä käytettiin laskennassa suoraan.

### 6.3. Odottamattoman käynnistyksen esto

Odottamattoman käynnistyksen estopiirin suorituskykylaskennan tulokset on esitelty taulukossa 19.

TAULUKKO 19. Odottamattoman käynnistyksen estopiirin suorituskykylaskennan tulokset.

Alajärjestelmä:	PL <sub>r</sub>	PL
Ohjauskytkin	d	d
Himax	d	e
Koko järjestelmä yhteensä:	d	d

Taulukossa 20 esitellään odottamattoman käynnistyksen estopiirin SISTEMA suorituskykylaskennassa saavutetut arvot alajärjestelmille.

TAULUKKO 20. Odottamattoman käynnistyksen estopiirin SISTEMA suorituskykylaskennassa saadut arvot.

Alajärjestelmä	Suure	Arvo
Ohjauskytkin	Luokka	3
	MTTF <sub>d</sub>	100 vuotta
	DC <sub>avg</sub>	99 %
	CCF	65
Himax	Luokka	3
	MTTF <sub>d</sub>	39,9 vuotta
	DC <sub>avg</sub>	99%
	CCF	70 pistettä

Valmistajan Kraus & Naimer komponenteille ei löytynyt SISTEMA kirjastoja eikä komponentille löytynyt turvallisuustietoja manuaaleista. Ohjauskytkimen MTTF<sub>d</sub> arvioitiin standardin SFS-EN ISO 13849-1 liitteessä C esitellyn taulukon C.1 avulla, joka antaa standardin IEC 60947 mukaisesti valmistetuille kontaktoreille,

joita käytetään nimelliskuormituksella, tyypilliseksi  $B_{10D}$  arvoksi 1 300 000 toimintajaksoa. (SFS-EN ISO 13849-1, 60). Tätä arvoa voidaan käyttää laskelmassa, koska komponentille löytyi standardin IEC 60947 vaatimustenmukaisuustodistus. Piirille laskettiin  $MTTF_d$  arvon määrittämistä varten toimintataajuuden  $n_{op}$  arvo kaavan 4 avulla. Toimintataajuuden arvioinnissa käytetyt arvot ovat: keskimääräinen toiminta-aika 365 päivää vuodessa, 1 tunnin ajan päivässä, 60s jaksoissa, jolloin toimintataajuudeksi saatiin 21 900 toimintajaksoa / vuodessa. Komponentin  $MTTF_d$  arvoksi saatiin 596,3 vuotta, mutta kanavan keskimääräinen vaarallinen vikaantumisaika standardin mukaan voi olla suurimmillaan vain 100 vuotta, joka ilmoitetaan kanavan  $MTTF_d$  arvoksi (SFS-EN ISO 13849-1, 25).

Diagnostiikan kattavuuden perustaksi valittiin standardin SFS-EN ISO 13849-1 liitteen E mukaisesti komponentin mielekkyyden tarkistus, joka antaa DC arvoksi 99%, kun komponenttina käytetään normaalisti avoimia ja normaalisti suljettuja mekaanisesti toisiinsa kytkettyjä koskettimia (SFS-EN ISO 13849-1, 70).

#### 6.4. Nykäyskäyttö

Nykäyskäyttöpiirin suorituskykylaskennan tulokset on esitelty taulukossa 21.

TAULUKKO 21. Nykäyskäyttöpiirin suorituskykylaskennan tulokset.

Alajärjestelmä:	$PL_r$	PL
Käsiohjain	d	e
Himax	d	e
Servo-ohjainjärjestelmä	d	d
Koko järjestelmä yhteensä:	d	d

Taulukossa 22 esitellään nykäyskäyttöpiirin SISTEMA suorituskykylaskennassa saavutetut arvot alajärjestelmille.

TAULUKKO 22. Nykäyskäyttöpiirin SISTEMA suorituskykylaskennassa saadut arvot.

Alajärjestelmä	Suure	Arvo
Käsiohjain	Luokka	3
	MTTF <sub>d</sub>	24,7 vuotta
	DC <sub>avg</sub>	99 %
	CCF	65
Himax	Luokka	3
	MTTF <sub>d</sub>	39,9 vuotta
	DC <sub>avg</sub>	99%
	CCF	70 pistettä
Servo-ohjain	Luokka	3
	PFH <sub>d</sub>	1 *10 <sup>-8</sup>
Pulssianturi	Luokka	3
	PFH <sub>d</sub>	2,6 *10 <sup>-8</sup>
Kaappimoduuli	Luokka	3
	PFH <sub>d</sub>	8,8 *10 <sup>-8</sup>

Valmistajan Schneider Electricin kyseiselle käsiohjainkomponentille ei löytynyt valmistajan SISTEMA kirjastoja vastaavaa komponenttia eikä komponentille löytynyt turvallisuustietoja manuaaleista. Käsiohjaimen MTTF<sub>d</sub> arvo arvioitiin standardin SFS-EN ISO 13849-1 liitteessä C kaavan (kaava 2) avulla valmistajan tuotetiedoista löytyneen mekaanisen eliniän perusteella. (SFS-EN ISO 13849-1, 62). Valmistaja on ilmoittanut komponentin eliniän olevan 1 000 000 kytkentää, josta kaavan 2 avulla saatiin B<sub>10D</sub>-arvoksi 2 000 000 kytkentää.

Piirille laskettiin MTTF<sub>d</sub> arvon määrittämistä varten toimintataajuuden n<sub>op</sub> arvo kaavan 4 avulla. Toimintataajuuden arvioinnissa käytetyt arvot ovat: keskimääräinen toiminta-aika 52 päivää vuodessa, 8 tunnin ajan päivässä, 60s jaksoissa, jolloin toimintataajuudeksi saatiin 24 960 toimintajaksoa / vuodessa.

Diagnostiikan kattavuuden perustaksi valittiin standardin 13849-1 liitteen E mukaisesti komponentin mielekkyyden tarkistus, joka antaa DC arvoksi 99%, kun sovelluksessa normaalisti avoimia ja normaalisti suljettuja mekaanisesti toisiinsa kytkettyjä koskettimia (SFS-EN ISO 13849-1, 70).

## POHDINTA

Opinnäytetyössä tehdyn perustutkimuksen kohteena oli koneturvallisuuden toteuttamiseen paperikoneella. Tehdyn perustutkimuksen perusteella voidaan todeta, että aiheeseen perehtyminen ja aiheen pienten yksityiskohtien omaksuminen vaatii suunnittelijalta aikaa. Siksi työnantajan on hyvä tarjota turvatoimintojen suunnittelusta vastaaville mahdollisuuksia kouluttautua koneturvallisuuden toteuttamisen perusteisiin paperikoneilla sekä standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaiseen suorituskykylaskentaan.

Koneturvallisuudesta ja riskin arviointiin kuuluvasta suorituskykylaskennasta löytyy erittäin paljon hyvää ja luotettavaa materiaalia niin kirjallisuudesta kuin nettilähteistä. Opinnäytetyön perustutkimuksen aikana havaittiin kuitenkin, että suurin osa kyseisestä materiaalista käsittelee koneturvallisuutta samoista näkökulmista ja aiheet ovat saman tyyppisesti rajattuja. Tämän vuoksi esimerkiksi tässä opinnäytetyössä käsiteltyyn aiheeseen oli hankalaa löytää suoraan esimerkkejä ja turvalogiikalla toteutetuille turvatoiminnoille oli vaikea löytää suuntaa antavaa ohjeistusta. Käytössä olevaa materiaalia joutuukin paljon soveltamaan itse. Onkin selvää, että koneturvallisuuden teorian ja käytännön erot ovat laajat eikä jokaisesta turvatoiminnon toteutuksesta ole mahdollista löytää esimerkkejä lähteistä.

Suorituskykylaskenta on koneturvallisuuden ja riskin arvioinnin pieni osa-alue, joka vaatii paljon suunnittelijan erikoisosaamista ja laajaa ymmärrystä koneturvallisuuden perusteista. Suorituskykylaskennan toteuttamisen tukena onkin hyvä käyttää jotain apuohjelmaa kuten SISTEMA. Jos laskennan ja turvajärjestelmän suunnittelun apuna käytetään jotakin laskentatyökalua, tulee kuitenkin aina muistaa, että tällainen ohjelma on aina ainoastaan työkalu. Ohjelma laskee aina suorituskyvyn arvoja ainoastaan sen mukaan, minkälaisia arvoja ohjelmaan syötetään.

Koneen turvallistamisprojekteissa onkin syytä tehdä aina lopullinen turvallisuuden liittyvän ohjausjärjestelmän kelpuutus. Tämä tehdään ohjelmiston ja laitteiston testausten avulla, sillä monesti turvatoimintojen suunnittelu ei välttämättä

vastaa toteutuksen lopputulosta. Valmiin turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän kelpuutus tehdään standardin SFS-EN ISO 13849-2 mukaisesti, jotta voidaan määrittää todellisuudessa saavutettu suorituskyvyn taso.

Turvatoimintojen suunnittelussa on myös otettava huomioon standardin SFS-EN ISO 13849-1 ja standardin SFS-EN 62061 eroavaisuudet, vaikka standardit ovat hyvin pitkälle saman tyyppisiä ja niitä käytetään samojen asioiden arvioimiseen. Komponenttivalmistaja voi esimerkiksi tuotetiedoissaan ilmoittaa komponentille standardin SFS-EN 62061 mukaisen SIL-turvallisuustason. SIL-tasoa voidaan joissain tapauksissa käyttää määrittämään komponentin PL-taso suoraan standardin SFS-EN ISO 13849-1 sivulla 24 esitellyn taulukon avulla.

Komponentin SIL-tason hyödyntämisessä tulee kuitenkin huomioida, että standardin SFS-EN 62061 mukainen turvallisuustason laskenta poikkeaa standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaisesta suorituskykylaskennasta ja siksi suunnittelijan kannattaa aina arvioida huolella, voidaanko komponentin SIL-tasoa käyttää turvatoiminnon suorituskyvyn ilmoittamiseen. Tästä syystä opinnäytetyössä ei ole käyty läpi SIL-turvallisuustasojen muunnoksia PL-suoritustasoiksi.

Tässä opinnäytetyön tutkimuksessa olleiden turvatoimintojen komponentit olivat Valmet Automation Oy:n valmiiksi valitsemia. Piirien laskelmissa päästiin käytetyillä arvoilla vaadittuihin PL-tasoihin. On kuitenkin syytä arvioida lähemmin turvatoimintojen vaateiden taajuutta ja niiden avulla laskettuja  $n_{op}$  arvoja (toiminta-aika), jotka voivat olla hyvinkin erilaisia eri osissa paperikonetta.

Käytetyt komponentit olivat pääsääntöisesti turvaluokiteltuja komponentteja muutamia poikkeusta lukuun ottamatta. Esimerkiksi seuraavia turvatoimintoja suunniteltaessa on hyvä selvittää, voidaanko nykikäyttöä toteuttaa valitulla Schneider Electricin käsiohjaimella, sillä se ei ole turvaluokiteltu komponentti, vaikka laskelmissa sen suorituskyky ylittääkin vaaditulle tasolle. Myöskin odottamattoman käynnistyksen estopiirissä käytettyä Kraus & Naimerin valintakytkimen käyttöä tulee vastaavista syistä arvioida tarkasti.

Opinnäytetyössä tehdyn suorituskykylaskennan tulokset ovat niiltä osin luotettavia, kun niiden todennäköisyyslaskentojen osalta voidaan olettaa. Joidenkin turvatoimintojen kohdalla esimerkiksi turvatoimintojen käytön oikea toimintataajuus voi erota laskemissa käytetyistä luvuista. Näissä tapauksissa täytyykin miettiä, että onko eroavaisuudet suorituskykyä heikentäviä vai parantavia asioita, jos esimerkiksi turvatoimintoa käytetään oletettua vähemmän.

## LÄHTEET

Apfeld R., Hauke M., Schaefer M., Rempel P., Ostermann B. 2011 SISTEMA Keittokirja 1, Toiminnallisesta piirikaaviosta suoritustasoon – turvatoimintojen määrittäminen SISTEMAn avulla, versio 1.0. Sundquist M. (suom.) Sankt Augustin, Saksa: Institute for Occupational Safety and Health of DGUV (IFA). Alkuperäinen teos 2010.

Euroopan komissio. 2019. Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC. Luettu 28.9.2020. PDF-dokumentti. Ladattavissa: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38022>

Euroopan unionin virallinen lehti. 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. WWW-dokumentti. Luettu 15.6.2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=FI>

Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Saksa. Verkkojulkaisu. <https://www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2017/ifa-report-2-2017/index-2.jsp>

Goble, W. 2010. Control Systems Safety Evaluation and Reliability, Third Edition. ISA. E-kirja. Luettu 21.07.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=6243274>

Hauke, M., Schaefer, M., Apfeld, R., Bömer, T., Huelke, M., Borowski, T., Büllsbach, K.-H., Dorra, M., Foermer-Schaefer, H.G., Uppenkamp, J., Lohmaier, O., Heimann, K.-D., Köhler, B., Zilligen, H., Otto, S., Rempel, P. & Reuß, G. 2019. IFA Report 2/2017e, Functional Safety of machine controls – Application og EN ISO 13849. Julkaisija: Deutsche

Health and Safety Executive HSE, 2003. Out of control. Why control systems go wrong and how to prevent failure. Verkkojulkaisu. Luettu 6.8.2020. <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg238.pdf>

Health and Safety Executive HSE, n.d. Technical Measure Document: Control System. WWW-sivu. Luettu 8.7.2020. <https://www.hse.gov.uk/comah/srag-tech/techmeascontsyst.htm#fivec9e3df>

Hietikko, M., Malm, T., & Alanen, J. 2009. Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus: Ohjeita ja työkaluja standardien mukaisen turvallisuusprosessin luomiseen. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tiedotteita - Research Notes, No. 2485 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2485.pdf>

Hägglom-Ahnger, U., Komulainen, P. 2006. Kemiallinen metsäteollisuus. 2, Paperin ja kartongin valmistus. Helsinki: Opetushallitus.

Kiwa Inspecta. 2015. Koneen turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän vaatimukset. Koulutusmateriaali, Vantaa.

Kiwa Inspecta. 2017. Koneiden turvallisuuden perusteet suunnittelijoille ja valmistajille, osa 1: Lainsäädäntö. Koulutusmateriaali, Valmet – Tampere.



Kiwa Inspecta. 2017. Koneiden turvallisuuden perusteet suunnittelijoille ja valmistajille, osa 2: Turvallistaminen automaation keinoin. Koulutusmateriaali, Valmet – Tampere.

Kiviaho, J. Valmet Technologies Oy. Koulutustilaus konesuunnittelun tärkeitä standardeihin. Järjestetty opinnäytetyöntekijälle 1.10.2020. Julkaisematon.

KnowPap. 2020. Paperinvalmistuksen oppimisympäristö. WWW-verkkosivu. Luettu 8.10.2020. <https://www.knowpap.com/>

Laidler, P. 2013. Validation is key for machine safety. Julkaisija: HazardEx. Verkkajulkaisu. Luettu 6.8.2020. <http://www.hazardexonthenet.net/article/56619/Validation-is-key-for-machine-safety.aspx>

Malm T, Hämäläinen V, Kivipuro M. 2011. Paperiteollisuuden rullankäsittelyn turvallisuus ja luotettavuus. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. Verkkajulkaisu. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2117.pdf>

Metsta - Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry, n.d. Koneiturvallisuuden standardit. Www-sivu. Luettu: 20.7.2020. <https://metsta.fi/koneiturvallisuuden-standardit-metsta/>

Rapinoja, Jukka-Pekka. 2015. Koneenrakentajan tärkeimmät standardit. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry METSTA. WWW-dokumentti. Luettu 16.6.2020. [https://www.sfs.fi/files/8057/Koneenrakentajan\\_tarkeimmat\\_standardit.pdf](https://www.sfs.fi/files/8057/Koneenrakentajan_tarkeimmat_standardit.pdf)

SFS 5974. 2011. Opastusta standardien ISO 13849-1 ja IEC 62061 soveltamiseksi koneen turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelussa. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 14.9.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi>

SFS Ry. 2019. Koneiturvallisuuden standardit 2019. PDF-dokumentti. Luettu: 9.10.2020 [https://www.sfs.fi/files/1478/Koneiturvallisuuden\\_standardit\\_luettelo\\_web.pdf](https://www.sfs.fi/files/1478/Koneiturvallisuuden_standardit_luettelo_web.pdf)

SFS Ry. n.d – Mikä SFS on? WWW-sivu. Luettu: 9.10.2020 [https://www.sfs.fi/sfs\\_ry](https://www.sfs.fi/sfs_ry)

SFS-EN 61310-1. 2018. Koneiturvallisuus. Merkinantaminen, merkitseminen ja vaikuttaminen. Osa 1: Näköön, kuuloon ja tuntoon perustuvia signaaleja koskevat vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 28.9.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi>

SFS-EN ISO 13849-1. 2015. Koneiturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 26.6.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi>

SFS-EN ISO 13849-2. 2012. Ohjausjärjestelmien osat. Osa 2: Kelpuus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 29.10.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi>

SFS-EN ISO 13850. 2015. Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 20.7.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi>

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus. Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. Inspecta Koulutus Oy.

Siirilä, T., Kerttula, T. 2007. Koneturvallisuuden perusteet. Opiks-Tiimi Oy.

Siirilä, T., Tytykoski, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. Inspecta Oy: Helsinki

Sundquist, M. Sundcon Oy. 2019. Artikkelisarja turvallisen koneen suunnittelusta. Osa 5: Koneen ohjausjärjestelmän yksinkertaistettu suunnittelumenetelmä Sistema. Julkaisija: Metsta. Verkkojulkaisu. <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/koneturvallisuuden-artikkelisarja/>

Valmet Automation Oy. 2019. Turvajärjestelmän toimintaselostus. Julkaisematon.

Valmet Automation Oy. 2019. Valmet DNA Drive Controls – Safety Features. Valmetin markkinointi materiaalia. Julkaisematon.

Valmet Automation Oy. 2020. Drive Control Safety System Software Structure. Julkaisematon.

Valmet Automation Oy. n.d. Machine risk assessment. Julkaisematon.

Valmet Technologies Oy. 2016. Valmetin yleiset koneturvallisuusohjeet. Julkaisematon.

Valmet Technologies Oy. 2020. Paper Machine Drives Safety. Julkaisematon.

---

## KOMPONENTTIEN TUOTETIEDOT:

Turvalogiikka:

HIMA Paul Hildebrandt GmbH, 2016. HIMax Functional Data Manual. MTTF, PFD and PFH MTTFd and DCavg. Luettu 7.7.2020. Pyydetävissä valmistajan asiakaspalvelun kautta. <https://www.hima.com/en/about-hima/contacts-world-wide/europe-africa>

---

Hätäpysäytys:

Scheinder Electric, n.d. Legend holder, marked EMERGENCY STOP. Kuva. Lattau 30.10.2020. <https://www.se.com/ww/en/product/ZBY9330T/legend-holder-%C3%B860-for-emergency-stop%2C-plastic%2C-yellow%2C-for-pad-locking%2C-marked-emergency-stop/>

Siemens Industry Mall, 2020. Emergency stop mushroom pushbutton - 3SU1000-1HB20-0AA0. PDF-dokumentti. Ladattu: 7.7.2020 <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/3SU1000-1HB20-0AA0>

Siemens Industry Mall, 2020. Illuminated pushbutton - 3SU1102-0AB50-1FA0. PDF-dokumentti. Ladattu: 7.7.2020 <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/3SU1102-0AB50-1FA0>

Siemens Industry Mall, 2020. Indicator lights - 3SU1102-6AA60-1AA0. PDF-dokumentti. Ladattu: 7.7.2020 <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/3SU1102-6AA60-1AA0>

Siemens Industry Mall, n.d. Katalogikuva hätäpysäytyspainikkeelle - 3SU1851-0NB10-4GC2. Kuva. Ladattu: 7.7.2020. [https://mall.industry.siemens.com/colaterals/files/94/jpg/G\\_IC03\\_XX\\_21925i.jpg](https://mall.industry.siemens.com/colaterals/files/94/jpg/G_IC03_XX_21925i.jpg)

Siemens Industry Support, 2018. Safety characteristics - B10 values / failure rates of electromechanical SIRIUS products. PDF-dokumentti. Luettu 23.10.2020. <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109739348>

Siemens, 2019. Industrial Controls System Manual - SIRIUS ACT 3SU1 pushbuttons and indicator lights. PDF-dokumentti. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/107542462/system-manual-sirius-act-3su1-pushbuttons-and-indicator-lights?dti=0&lc=en-US>

Siemens. n.d Industrial Controls – SIRIUS. WWW-sivu. Luettu 23.10.2020: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-controls/sirius.html>

---

#### Käynnistysvaroitus:

Pfannenbergl USA. 2020. DS 10 - DS Series Sounders. WWW-sivu. Luettu: 7.7.2020. <https://www.pfannenberglusa.com/product/signaling-technologies/audible-alarms/horns-and-sounders/ds-10/#toggle-id-3>

Phoenix Contact, n.d. Safety relays - PSR-...- 24DC/ESP4/2X1/1X2 Data sheet. PDF-dokumentti. Ladattu: 7.7.2020. <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2981020&library=usen&tab=1#Safety-related-characteristicdata>

---

#### Odottamattoman käynnistykseen esto:

Kraus & Naimer, 2020. The C316, up to 132 kW Ring Type Terminal. Kuva. Ladattu 30.10.2020. [https://www.krausnaimer.com/fi\\_en/products/main-switches/up-to-132-kw-ring-type-terminal](https://www.krausnaimer.com/fi_en/products/main-switches/up-to-132-kw-ring-type-terminal)

---

### Nykykäyttö:

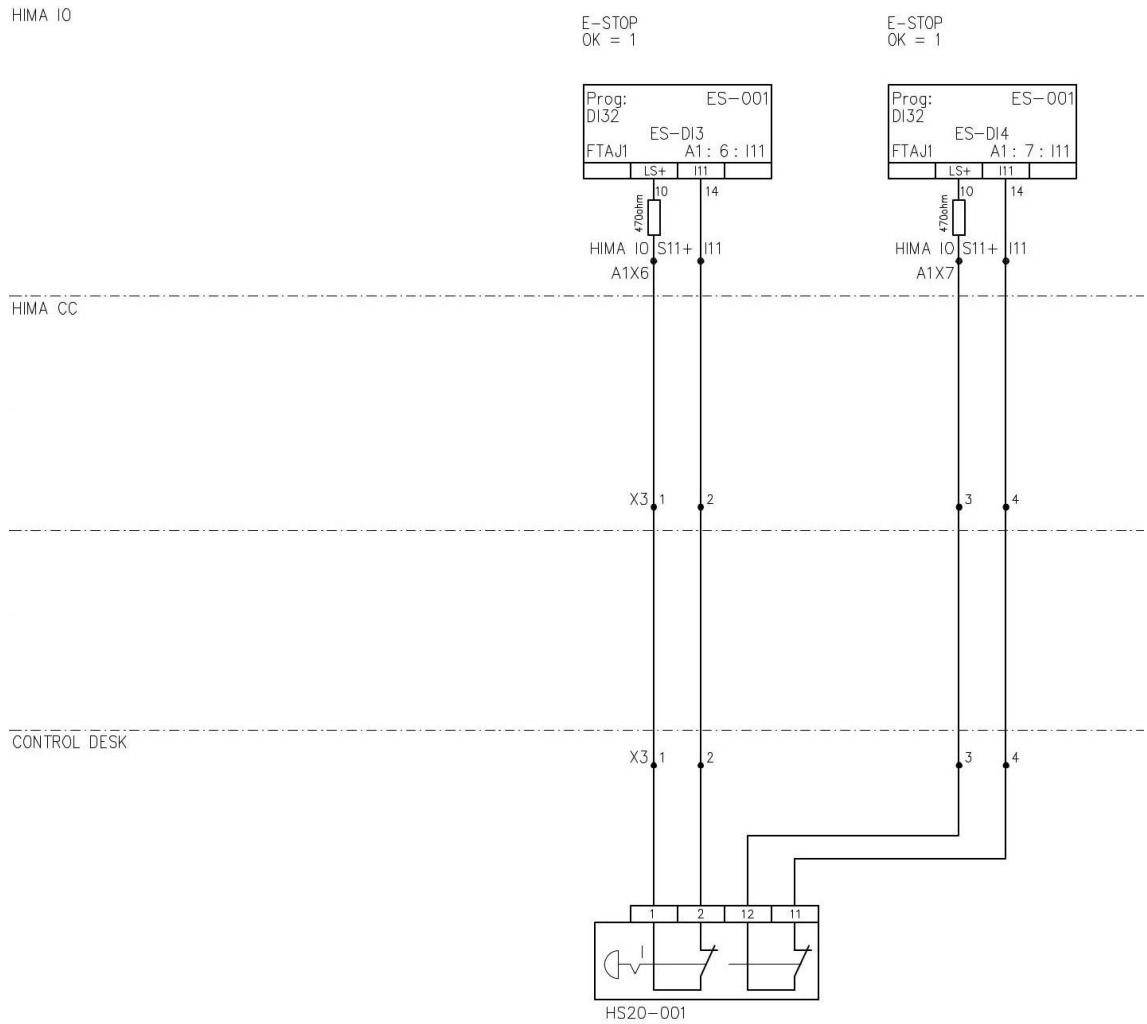
Scheinder Electric, 2020. Pendant control station - XACA201 PDF-dokumentti. Ladattu: 7.7.2020. <https://www.se.com/ww/en/product/XACA201/pendant-control-station%2C-plastic%2C-yellow%2C-pistol-grip%2C-2-push-buttons/>

Siemens, 2019. SINAMICS S120 Safety Integrated Functional Manual. PDF-dokumentti. Luettu 25.10.2020. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109771806/sinamics-s120-safety-integrated-function-manual?dti=0&lc=en-WW>

## LIITTEET

Liite 1. Häätö pysäytys- ja kuitauspiirin sähkökuvat kytkimeltä turvalogiikalle. (Valmet Automation Oy 2019.)

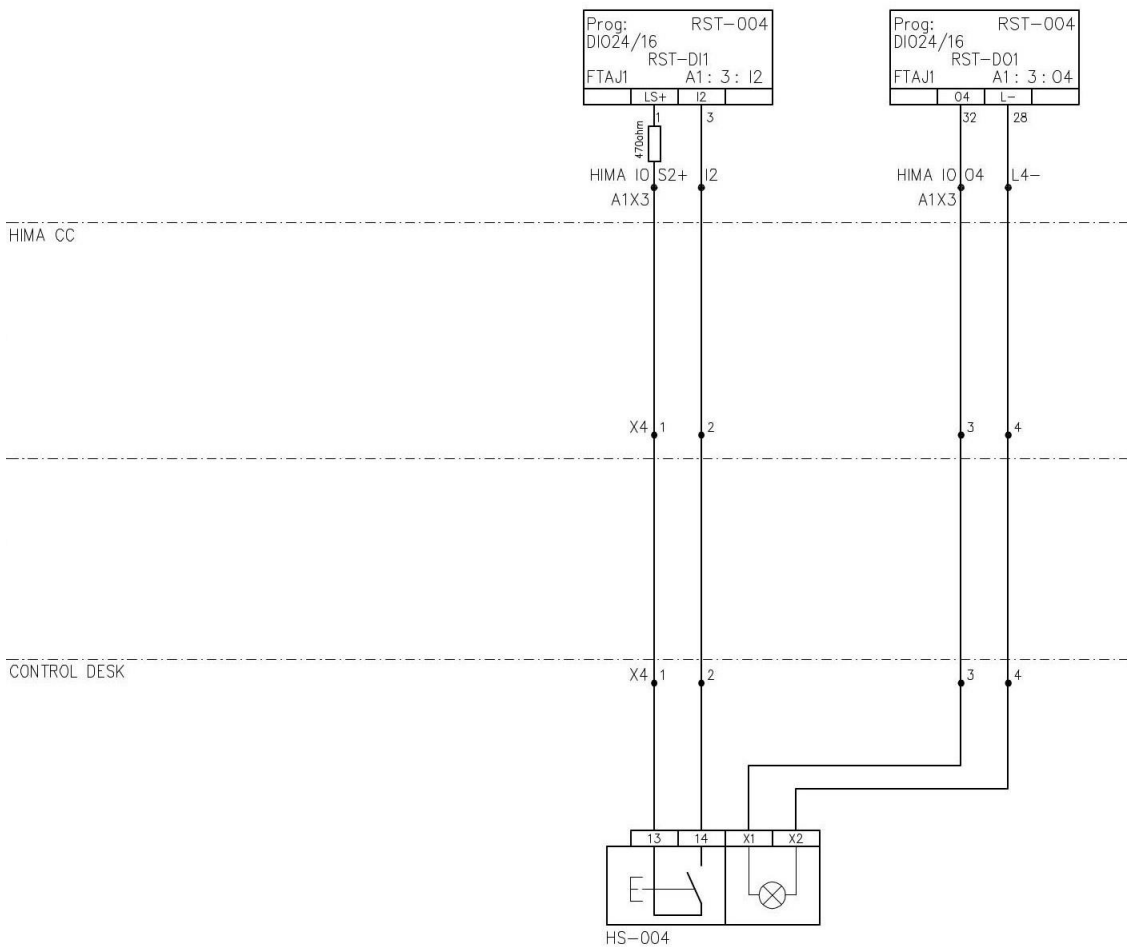
1 (2)



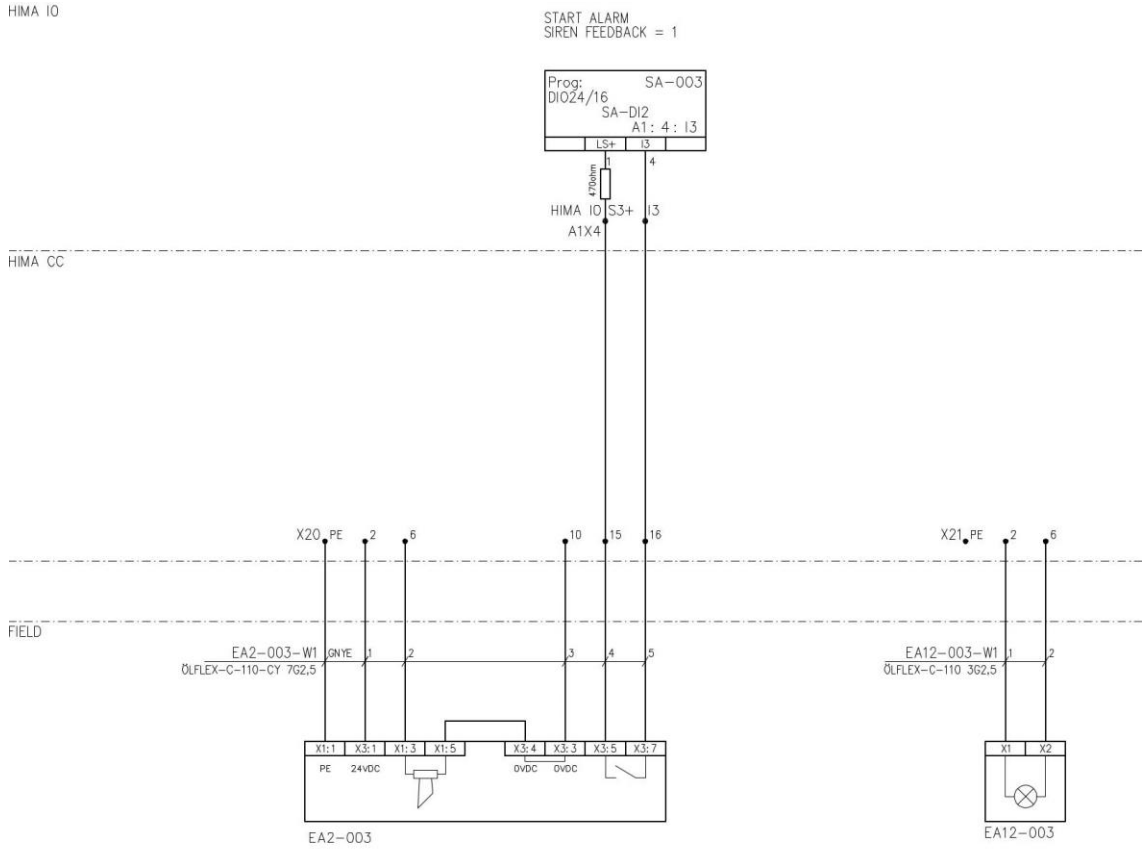
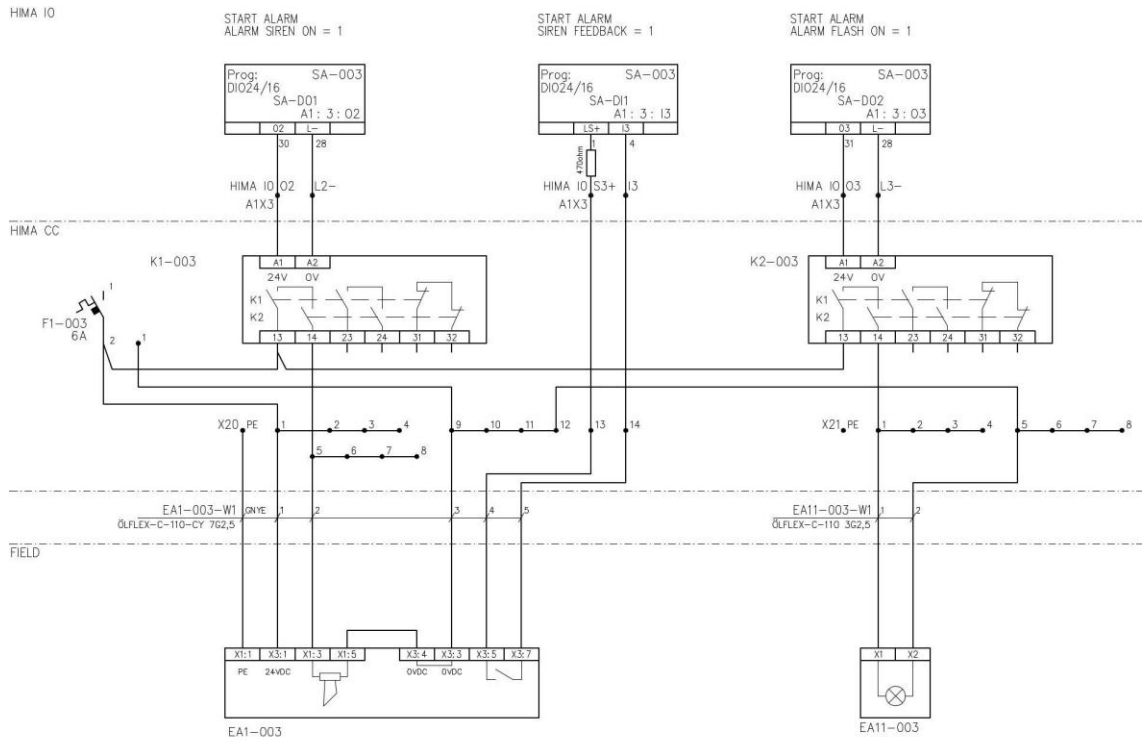
HIMA IO

E-STOP RESET  
RESET = 1

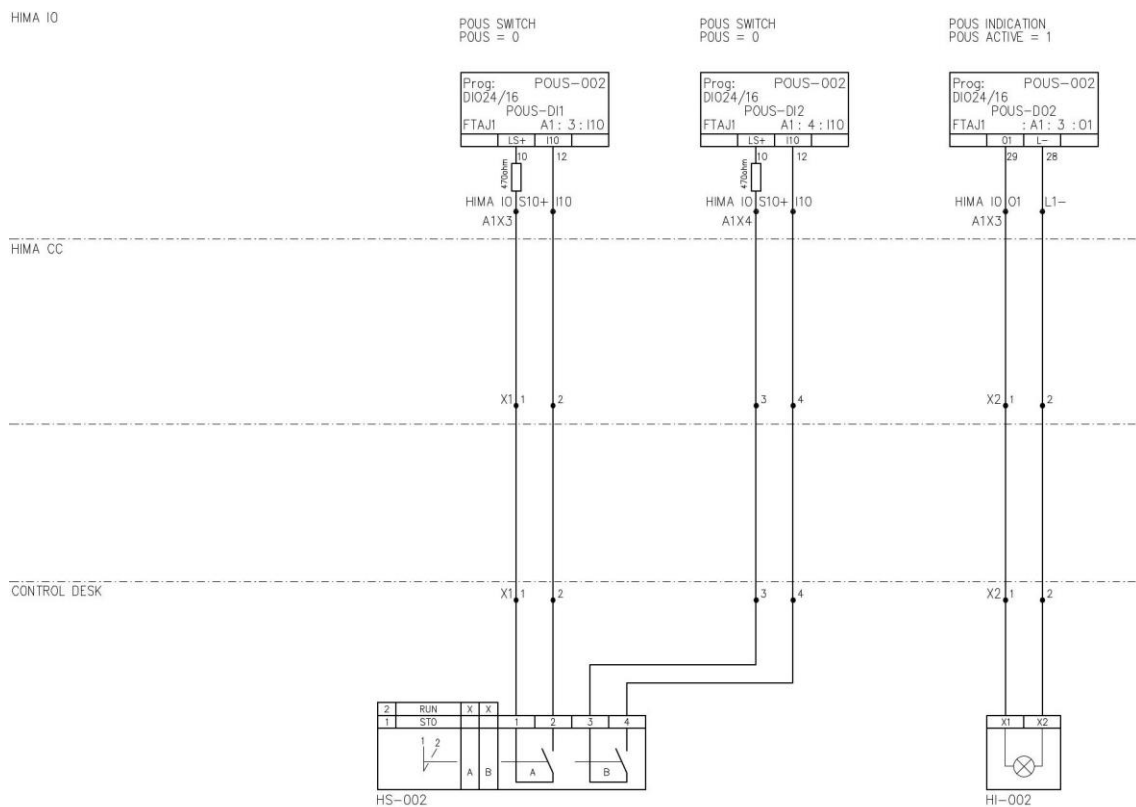
E-STOP RESET  
RESET POSSIBLE INDICATION =1



Liite 2. Käynnistysvaroituspiirin sähkökuva kytkimeltä turvalogiikalle. (Valmet Automation Oy 2019.)



Liite 3. Odottamattoman käynnistyksen estopiirin sähkökuva kytkimeltä turvalo-  
giikalle. (Valmet Automation Oy 2019.)





Liite 4. Nykäyskäyttöäpiiriin sähkökuva kytkimeltä turvalogiikalle. (Valmet Automation Oy 2019.)

