



Jenny Markkola

Sähkökäytön turvatoimintojen todentaminen ja dokumentointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

31.5.2021

Tekijä	Jenny Markkola
Otsikko	Sähkökäytön turvatoimintojen todentaminen ja dokumentointi
Sivumäärä	36 sivua
Aika	31.5.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Service Manager, Jouni Palojärvi Lehtori, Eero Kupila
<p>Tässä insinöörityössä tarkasteltiin paperikoneiden ohjauksen toiminnallisia turvatoimintoja, niiden testausta sekä dokumentaatiota. Työ tehtiin ABB:n Industrial Automation Process Industries -yksikölle. Työn tarkoituksena oli kartoittaa ja parantaa turvatoimintojen testaukseen liittyvää dokumentaatiota.</p> <p>Aluksi työssä tutkittiin turvallisuuteen ja turvatoimintoihin liittyviä lakeja ja direktiivejä, jotta saataisiin parempi kokonaiskuva siitä, mitä paperikoneiden turvallisuusprosessilta vaaditaan. Kehityskohtia olivat dokumentaation yhtenäistäminen ja selkeyttäminen.</p> <p>Työssä käytiin läpi myös erilaisia turvatoimintoja, joita Process Industries -yksikössä käytetään turvallisuuden takaamiseksi. Turvatoimintoihin perehdyttiin käyttöohjeiden ja muun teknisen dokumentaation avulla. Lisäksi niiden toimintaan tutustuttiin toimistotiloista löytyvällä testilaitteistolla.</p> <p>Lopputuloksena saatiin toimivampi raporttipohja, jossa testattavat ominaisuudet on eritelty selkeämmin. Aikaisemmin hajallaan oleva dokumentaatio saatiin yhdistettyä yhdeksi kattavaksi kokonaisuudeksi.</p>	
Avainsanat	Turvatoiminnot, Paperikone, Prosessiautomaatio

Author	Jenny Markkola
Title	Verification and Documentation of Drives Safety Functions
Number of Pages	37 pages
Date	31.May.2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical- and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Jouni Palojarvi, Service Manager Eero Kupila, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis is to examine safety functions of the paper machine control system including its testing and documentation. The thesis was made for ABB's Industrial Automation Process Industries unit. The goal was to map and improve the documentation related to testing of safety functions.</p> <p>Initially, safety and security-related laws and directives were examined to gain overall understanding about requirements for the paper machines safety process. The identified areas for development were the harmonization and clarification of the documentation.</p> <p>The thesis work also covered various safety functions that are used in the Process Industries unit. They were familiarized with the help of operating instructions and other technical documentation. Safety functions were also examined using test equipment provided by ABB.</p> <p>As a result, an improved report template with a clearer breakdown of the features was produced. Previously scattered documentation was also combined into one comprehensive entity.</p>	
Keywords	Safety functions, Paper machine, Process automation

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Paperikone	2
3	Moottorien ohjaus ja linjakäytöt	3
3.1	Linjakäytön syöttöpuoli	5
3.1.1	Diodisyöttöyksikkö	5
3.1.2	IGBT -Syöttöyksikkö	5
3.1.3	Regeneratiivinen tasasuuntaajayksikkö	6
3.2	Linjakäytön käyttöpuoli	6
4	Konedirektiivi	7
4.1	Ohjausjärjestelmät	8
4.1.1	Ohjauslaitteet	8
4.1.2	Käynnistäminen	8
4.1.3	Pysäyttäminen	8
4.1.4	Ohjaus	9
4.1.5	Tehosyöttö	10
4.2	Mekaaniset vaarat	10
4.2.1	Vakuuden menettäminen	10
4.2.2	Rikkoutuminen	10
4.2.3	Muut mekaaniset vaarat	11
4.3	Vaatimuksia suojaukselle ja turvalaitteille	11
4.3.1	Suojaukset	11
4.3.2	Turvalaitteet	12
4.4	Muut huomiotavat vaaratekijät	12
4.5	Varoitukset	13
5	Turvatoiminnot	13
5.1	Turvallinen vääntömomentin poisto	16
5.2	Odottamattoman käynnistuksen esto	17
5.3	Turvapysäytys 1	18
5.3.1	Turvapysäytys 1 aikavalvonnalla	19
5.3.2	Turvapysäytys 1 ramppivalvonnalla	20
5.4	Turvallinen hätäpysäytys	21

5.5	Turvarajoitettu nopeus	21
5.6	Turvallinen enimmäisnopeus	23
5.7	Turvallisen nopeuden valvonta	24
5.8	Turvallinen liikesuunta	25
5.9	Turvajarrutus	27
5.10	Turvatoimintojen välinen riippuvuus	27
6	Turvatoimintojen testaus	28
6.1	Turvatoimintojen suunnittelu- ja testausprosessi	30
6.1.1	Drive composer	32
6.2	Testauspöytäkirjat	34
6.3	Nykyisten testauspöytäkirjojen parantaminen	34
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	37

## Lyhenteet

ACU	Auxiliary control unit, apuohjauskenttä.
DCU	Drive control unit, taajuusmuuttajan ohjausyksikkö.
DSU	Diode Supply Section, diodisyöttöyksikkö.
ICU	Incoming unit, syöttöyksikkö.
ISU	IGBT supply unit, Insulated-Gate Bipolar Transistor syöttöyksikkö.
RRU	Regenerative rectifier unit, regeneratiivinen tasasuuntaajayksikkö.
SIL/TET	Turvallisuuden eheyden taso, joka määritetään arvioimalla toiminnon riskien sekä vahingon suuruus.
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä.
STO	Safe Torque-off-turvatoiminto, turvallisen vääntömomentin poisto, jolla estetään odottamaton uudelleenkäynnistyminen.

## 1 Johdanto

Työ tehdään ABB:llä Process Automation Process Industries -yksikölle, joka toimittaa paperikonekäyttö-, energianhallinta-, sähköistys- ja tehdastietojärjestelmäratkaisuja, prosessitiedon hallintajärjestelmiä sekä tämän lisäksi myös näihin liittyviä palveluja teollisuusasiakkaille ympäri maailmaa. Yksikkö on vastuussa myös prosessien mittausjärjestelmien tuottamisesta ja huoltamisesta.

ABB eli Asea Brown Boveri on kansainvälinen automaatio- ja sähkövoimatekniikkaan keskittynyt yrityskonserni, jolla on toimintaa yli sadassa maassa. Se jakaantuu neljään liiketoiminta-alueeseen, jotka ovat Electrification, Process Automation, Motion ja Robotics ja Discrete Automation. Nämä alueet jakaantuvat eteenpäin useampiin eri divisiooihin. ABB sai alkunsa, kun kaksi yritystä ruotsalainen ASEA ja sveitsiläinen BBC yhdistyivät. Nykyään ABB:llä on toimintaa yli 100 maassa, joissa se työllistää n. 110 000 työntekijää. (1.)

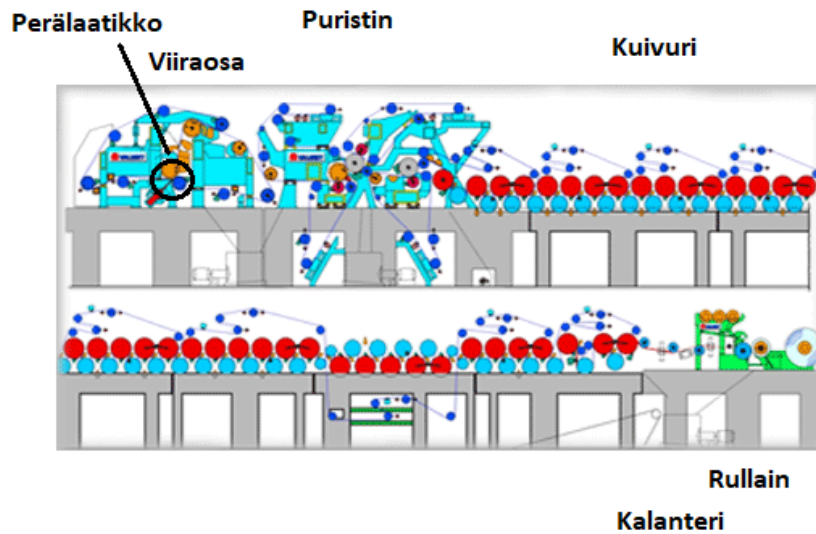
Suomessa ABB:llä työskentelee yli 5000 henkilöä noin 20 paikkakunnalla. Näistä kunnista tehdastoimintaa on Helsingissä, Porvoossa, Vaasassa sekä Haminassa. Yritys on Suomen suurimpia työnantajia teollisuusalalla. (2.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on todentaa ja testata taajuusmuuttajien turvatoimintoja. Työn tavoitteena on yhdenmukaistaa ja parantaa turvatoimintojen testauksesta saatavia raportteja, niin että ne olisivat selkeämpiä ja yksi raportti voisi kulkea koko prosessin läpi. Tämä tehostaa raporttien tuottamista ja vähentää siihen kuluvaan aikaa. Lisäksi tavoitteena on ymmärtää paremmin alaa koskevia standardeja ja niiden kautta turvatoimintojen toimintaa ja roolia prosessissa.

## 2 Paperikone

Paperikone on suuri ja monivaiheinen yksikkö, joka tuottaa sellumassasta paperia. Sen ensimmäinen vaiheessa perälaatikko levittää massan viiran leveydelle, josta massa jatkaa matkaa jakopillien lävitse välikammioon ja siitä viiraosalle. Perälaatikolta tullut massa on vetistä, viiraosa sihtaa paperirainaa kudoksen läpi. Rainan tullessa puristinosalle, siitä on kuivaa ainetta noin viidesosa. Yleensä puristus tehdään yhdellä tai kahdella puristushuovalla ja toisiaan vasten puristetuilla teloilla. Paperiraina siirtyy huopien mukana telojen muodostaman nipin läpi. Puristimella rainaa tiivistetään ja sen vesipitoisuudesta poistetaan mahdollisimman suuri osa, niin että vesi ei mahdu puristimen väliin, vaan siirtyy puristihuopaan. Paperimassalla on oltava noin 50 %:n kuiva-ainepitoisuus, jotta se on mahdollista siirtää puristusosalta kuivausvaiheeseen. Kuivaus tapahtuu niin, että vettä poistetaan haihduttamalla joko sylinteri-, puhallus-, tai säteilykuivatuksella. Lopuksi paperi kalanteroidaan kahden tai useamman telan läpi, jolloin siitä tulee sileämpää ja tiiviimpää. Paperikoneen käyttöryhmiä ovat viira-, puristin- ja kuivausryhmä. Edellä mainitut ryhmät sijaitsevat paperikoneen märkápäässä. Kuivapäässä oleviin ryhmiin kuuluvat päällys-, kalanteri- ja rullainryhmät. Nämä ryhmät saavat käyttövoimansa taajuusmuuttajien ohjaamilta sähkömoottoreilta. Moottorien määrä vaihtelee paljon riippuen paperikoneesta. Eräässä tätä työtä varten tukitussa projektissa oli 90 moottoria. Moottorien määrä johtui tässä tilanteessa koneessa olevista useasta apukäytöstä. (3.)

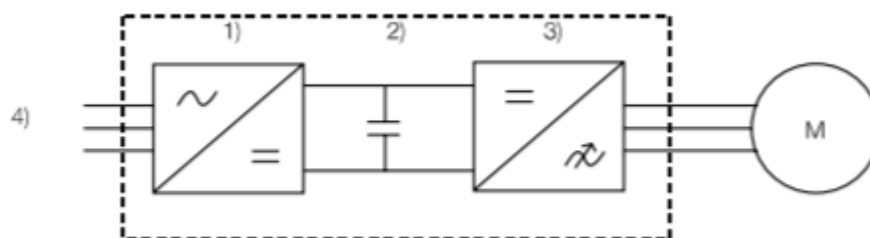




Kuva 1: Paperikone (3.)

### 3 Moottorien ohjaus ja linjakäytöt

Tässä luvussa tarkastellaan taajuusmuuttajien toimintaa ja lopulta päädytään siihen, miten linjakäytöt rakentuvat ja toimivat. Taajuusmuuttajilla ohjataan esimerkiksi sähkömoottoreiden nopeutta, ylös- ja alasramppausta sekä kiihdytys- ja hidastustilanteita yksinkertaisimmillaan muuttamalla vaihtojännitteen taajuutta ja tehollisarvoa. Taajuusmuuttajilla tavoitellaan ensisijaisesti energiansäästöä, parempaa tehokkuutta, koneiden eliniän pidentämistä sekä parempaa hallintaa nopeuteen ja vääntömomenttiin. Taajuusmuuttaja tasasuuntaa sähköverkon vaihtojännitteen, ja vaihtosuuntaajaysikkö muuntaa moottorin syötön halutunlaiseksi vaihtojännitteeksi. (4.) Kuvassa 2 on esitetty taajuusmuuttajan rakenne.

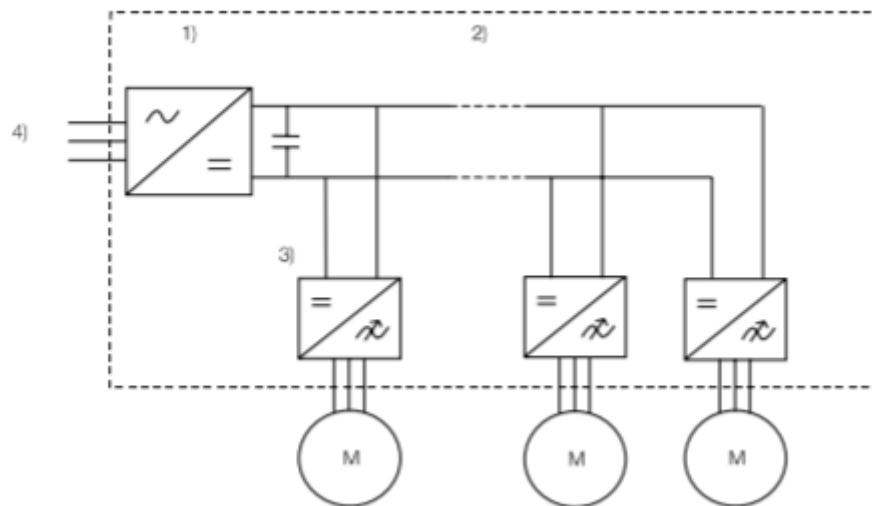


Kuva 2: Taajuusmuuttajan rakenne (5.)

1. Tasasuuntaaja muuttaa vaihtovirran tasavirraksi.

2. Tasajännitevälipiiri on energiavarasto, joka syöttää tasavirtaa vaihtosuuntaajalle.
3. Vaihtosuuntaaja eli invertteri muuttaa tasavirtaa vaihtovirraksi.
4. Sähkön syöttönä toimii useimmiten valtakunnallinen sähköverkko.

Sähköt käyttö rakentuu useammasta sähkönsyötöstä, taajuusmuuttajasta, vaihtovirta-moottorista sekä kuormasta. Siinä on usein myös erillinen tasasuuntaajayksikkö. Sähköt käyttöön tehtävä on muuttaa sähköenergiaa moottorin kautta mekaaniseksi energiaksi. Sähköt käytöt voidaan luokitella erilliskäytöiksi, ryhmäkäytöiksi ja linjakäytöiksi.



Kuva 3: Sähköt käyttö (5).

1. Erillinen vaihtosuuntaajille yhteinen syöttöyksikkö. Syöttöyksiköt on eritelty luvussa 3.1.
2. Yhteinen tasajännitevälipiiri on energiavarasto, jonka tasavirta muutetaan uudelleen vaihtovirraksi.
3. Vaihtosuuntaajayksikkö muuttaa tasavirtaa vaihtovirraksi.
4. Tässä kohtaa on sähkönsyöttö.

Erilliskäytössä on yksi syöttöyksikkö, tasasuuntaaja sekä vaihtosuuntaaja. Ryhmäkäyttö taas on useamman erilliskäytön yhdistelmä. Linjakäytössä kaikilla käyttöryhmillä on oma vaihtosuuntaaja, mutta syöttö niille tulee ryhmille yhteiseltä syöttöyksiköltä. Erona ryhmäkäyttöön on myös se, että linjakäytöissä käytöt ovat mekaanisesti kiinni toisissaan ja niitä ohjataan samalla ohjauslogiikalla. Kuvassa 4 on havainnollistettu linjakäytön rakennetta.

ABB:n valmistamilla ACS880-linjakäyttöillä ohjataan esimerkiksi teollisuuden tuotantolaitteiden moottoreita. Process Industries -yksikössä suunnitellaan käyttöjä ja ohjauksia paperikoneisiin. ACS880-sarjan linjakäyttö jakautuu syöttö- sekä käyttöpuoleen ja sillä on yhteinen DC-väylä, joka mahdollistaa yhden virransyötön koko laitteelle. Tällä on tarkoitus esimerkiksi pienentää komponenttien määrää ja säästää energiaa. Paperikoneissa yksittäiset vaihtosuuntaajamoduulit mahdollistavat nopean vääntömomentin sekä nopeussignaalit moduulien välillä. Tämä auttaa hallitsemaan paperirainan jännitystä.

### 3.1 Linjakäytön syöttöpuoli

Syöttöpuoleen kuuluvat apuohjauskenttä ACU, syöttökenttä ICU sekä tilanteen mukaan valittava syöttöyksikkö. Syöttöyksiköitä ovat DSU, ISU ja RRU, joita käytetään vaihtojännitteen muuttamisessa tasajännitteeksi. (6.)

#### 3.1.1 Diodisyöttöyksikkö

DSU tulee sanoista Diode Supply Unit. Saatavilla on kahdenlaisia syöttöyksiköitä. Toisessa on puoliksi ohjattu silta, jossa toisella puolella sijaitsevat tyristorit ja toisella diodit. Toisessa taas 6-pulssinen diodisilta. Näissä rakenteissa DSU muuttaa kolmivaiheista vaihtojännitettä tasajännitteeksi. Tasavirta kulkee taajuusmuuttajan DC-kiskoon, joka toimii välipiirinä. Välipiiristä virta kulkee vaihtosuuntaajille, jotka ohjaavat moottoria. DSU-yksikköä käyttäessä tehoa ei voida syöttää takaisin verkkoon. (7.)

#### 3.1.2 IGBT -Syöttöyksikkö

ISU on lyhenne IGBT Supply Unitista. IGBT on jänniteohjattu puolijohde. Sen etuja ovat helppo ohjattavuus sekä korkea kytkentätaajuus. ISU muuttaa vaihtojännitettä ta-

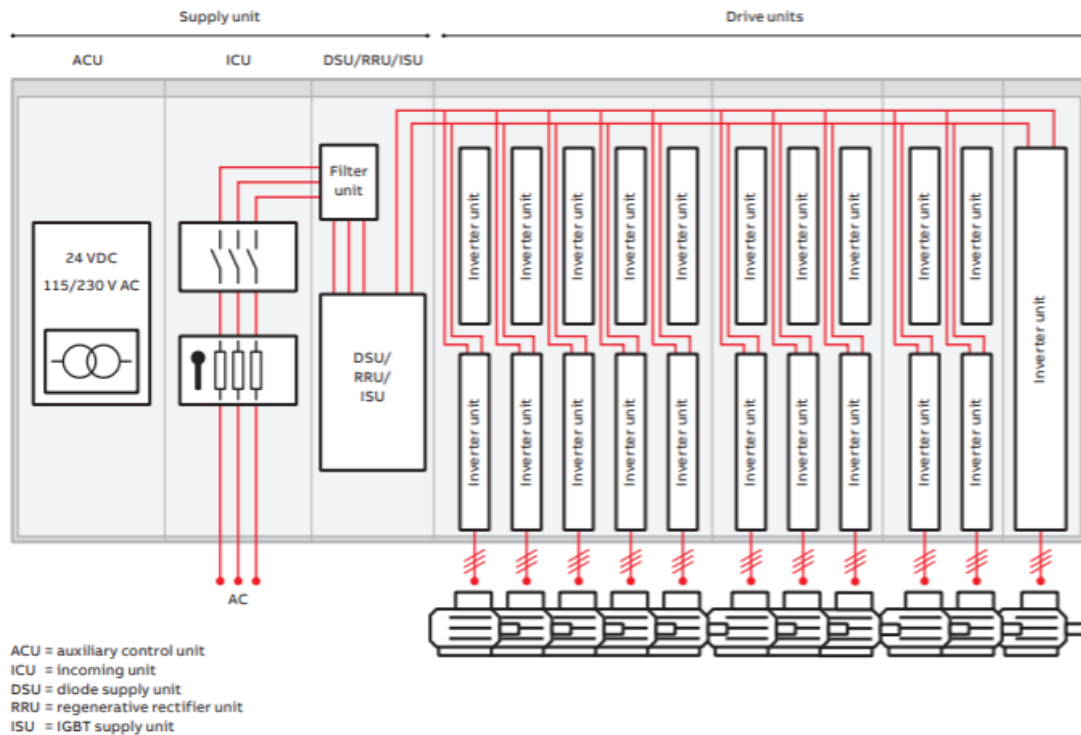
sajännitteeksi. Virta ohjautuu tasajännitevälipiiriin ja sieltä taas vaihtosuuntaajille moottorien ohjausta varten, kuten aikaisemmassakin yksikössä. Yksikössä oleva LCL-suodin suodattaa korkean taajuuden yliaaltoja. LCL-suodin koostuu yhdestä kondensaattorista ja kahdesta käämistä. Kun vaihtosuuntaajassa on IGBT-transistoreja, regeneraatiossa suodin suodattaa takaisin verkkoon syötettävän jännitteen korkeita taajuuksia. Tämän takia LCL-suodinta ei tarvita diodeista tai tyristoreista koostuvissa syöttöyksiköissä. (8.)

### 3.1.3 Regeneratiivinen tasasuuntaajayksikkö

RRU eli Regenerative Rectifier Unit koostuu yhdestä tai useammasta tasasuuntaajamoduulista sekä L-suodattimesta. Tasasuuntaajamoduulit koostuvat kuudesta IGBT-transistorista ja kuudesta vastakkain kytketystä diodista. Normaalissa käyttötilassa jolloin tehoa otetaan syöttöverkosta, vaihtovirta kulkee diodien kautta DC-väylään. Jarrutus- eli regeneraatiotilanteessa virta kulkee DC-väylästä ohjattujen IGBT-kytkimien läpi ja sieltä takaisin verkkoon. Myös ISU-yksikössä on IGBT-transistoreja, jolloin nekin pystyvät syöttämään tehoa takaisin verkkoon. RRU:ssa IGBT-komponentit kytketään johtamaan jokainen verkon jännitteen puolijakso vain kerran. Tällä pystytään vähentämään kytkentähäviötä. IGBT on mahdollista kytkeä pois päältä koska tahansa. (9.)

## 3.2 Linjakäytön käyttöpuoli

Käyttöpuoli rakentuu INU-, DCU- ja OPU-kentistä. Inverter unit eli INU-kentät rakentuvat vaihtosuuntaajamoduuleista, jotka muuttavat tasavirtaa vaihtovirraksi. Niissä on sisäänrakennetut kondensaattorit jännitteen tasoittamiseksi. Sähköliitäntä yhteiseen DC-väylään on suojattu sulakkeilla ja yksittäinen vaihtosuuntaajayksikkö voidaan irrottaa väylästä sulake-erottimella tai DC-kytkimellä. DCU tulee sanoista drive control unit. Se on kenttä, jossa invertterin ohjauskortit sijaitsevat. OPU on lyhenne termistä Output unit. Se on erillinen moottoriliitäntäkenttä. (10.)



Kuva 4: Linjakäyttö (10.)

## 4 Konedirektiivi

Tässä luvussa käydään läpi konedirektiiviä, jonka tarkoitus on yhtenäistää EU:n alueen koneisiin liittyviä lakeja sekä helpottaa kaupankäyntiä maiden välillä. Alun perin konedirektiivi julkaistiin vuonna 1989. Kolmas ja uusin versio julkaistiin vuonna 2006. Tämän luvun alaotsikoihin on eritelty ja tiivistetty tärkeimpiä kohtia koneen valmistajan näkökulmasta, joita direktiivi edellyttää.

Euroopan unionin sisällä koneiden pitää täyttää konedirektiivin 2006/42/EY määrittämät vaatimukset. Tämä direktiivi on toimeenpantuna Suomessa koneasetuksella, eli asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008. Sillä määritetään turvallisuuteen liittyvät velvollisuudet koneiden valmistajalle, vaatimukset niiden suunnittelusta ja rakentamisesta sekä se, miten vaatimusten täyttyminen osoitetaan ja miten kone tuodaan markkinoille.

(11.)

Valmistajalla tarkoitetaan koneen suunnittelijaa, valmistajaa tai osittaista valmistajaa. Se voi olla joko luonnollinen- tai oikeushenkilö. Oikeushenkilöllä tarkoitetaan esimerkiksi osakeyhtiötä, kuten ABB (12). Valmistajan täytyy tehdä riskin arviointi ja varmistaa, että kone vastaa vaadittuja terveys- ja turvallisuusvaatimuksia

## 4.1 Ohjausjärjestelmät

Teollisuudessa ohjausjärjestelmän käyttötarkoitus on hallita ja ohjata koneen osia ja järjestelmiä. Järjestelmässä voidaan käyttää tiedon keräämiseen erilaisia mittalaitteita, kuten antureita.

### 4.1.1 Ohjauslaitteet

Ohjauslaitteet on sijoitettava niin, että käyttäjä voi helposti ja turvallisesti nähdä ja käyttää laitteita. Sijoittaminen ei saa lisätä riskiä. Laitteet on suunniteltava niin, että niillä on helppo suorittaa haluttu toiminto ja ne kestävät tarvittavan voimankäytön. Myös käyttöohjeiden on oltava selkeät.

Ohjauslaitteiden käyttö on oltava ergonomista ja loogista, ne eivät saa käynnistyä, jos henkilö tai henkilöt on vaarallisella vyöhykkeellä tai ennen käynnistymistä on tullava varoitusmerkki. Koneita pitää olla mahdollista ohjata vain ennalta määritetyistä pisteistä, jos pisteitä on useampi, ei niitä saa pystyä käyttämään yhtä aikaa. Tämä ei koske pysähdys- ja hätäpysähdystoimintoja.

### 4.1.2 Käynnistäminen

Kone saa käynnistyä vain sille tarkoitetusta ohjauslaitteesta. Uudelleenkäynnistyminen saa kuitenkin tapahtua toisesta laitteesta, jos käynnistyminen ei aiheuta vaaraa. Kone saa käynnistyä ollessaan automaattisessa tilassa, jos tämä ei aiheuta vaaraa. Jos koneessa on useampia käynnistysohjaimia, pitää vaaratilanteet estää lisälaitteilla.

### 4.1.3 Pysäyttäminen

Ohjauslaite, josta kone pysähtyy kokonaan, on pakollinen. Työpisteillä on tilanteen mukaan oltava toiminto, josta kone pysähtyy kokonaan tai osittain. Pysähtymisen pitää

aina olla priorisoitu käynnistymistoimintojen edelle. Koneen pysähtyessä on energiasyötön itse koneeseen tai sen toimilaitteisiin katkettava.

Hätäpysäytystoiminnon on pysäytettävä kone mahdollisimman nopeasti niin, ettei se aiheuta uusia vaaratilanteita. Toiminto ei ole ehdoton, jos se ei vähennä vaaratilanteiden riskiä, esimerkiksi niissä tilanteissa, joissa koneen pysähtyminen olisi yhtä hidasta tai hitaampaa.

Hätäpysähdyslaitteiden on oltava selkeästi merkittyjä ja sijoitettu näkyvälle paikalle. Laitteessa on oltava mekanismi, josta hätäpysähdyslaite lukkiutuu pysähdyksen jälkeen. Lukitus pitää vapauttaa, ennen kuin kone voi käynnistyä uudelleen. Vapauttaminen ei saa käynnistää konetta.

Koneyhdistelmissä on huomioitava, että kaikkien pysäytykseen liittyvien laitteiden on toimittava niin, että ne pysäyttävät sekä kyseisen koneen että myös muut siihen yhdistelmässä mukana olevat laitteet silloin, kun pysäyttämättä jättäminen voi aiheuttaa riskitilanteen.

#### 4.1.4 Ohjaus

Valittaessa jonkin ohjauskomennon sen on oltava korkeimmalla prioriteetilla kaikkiin muihin, paitsi hätäpysäytykseen nähden. Jos konetta on mahdollista käyttää eri tavoilla, on siihen lisättävä toimintatavan valitsin. Valitsimen pitää olla selkeä ja suunnattu vain valitulle käytötavalle.

Jos suojaus tai turvalaite poistetaan, on valitsimen poistettava käytöstä toiset ohjaus- ja toimintamenetelmät. Tällöin vaaraa aiheuttavia toimintoja ei saa olla mahdollista suorittaa ilman jatkuvaa aktiivista ohjauslaitteen käyttöä. Vaarallisia toimintoja voidaan suorittaa vain, jos riskiä on pienennetty. Toisiinsa liittyvien toimintajaksojen vaaratilanteet ja suoraan vaarallisen toiminnon on estettävä. Tällaisia tilanteita voi aiheutua, jos antureihin vaikutetaan tahallisesti tai vahingossa.

Jos edellä mainittuja ei voida toteuttaa, on ohjauksen aiheutettava muita turvatoimenpiteitä.

#### 4.1.5 Tehosyöttö

Tehosyötön katkaisu, keskeytys ja palauttaminen eivät saa aiheuttaa vaaraa. Koneen odottamaton käynnistys on estettävä. Tämä toteutetaan POUS-kytkimellä (Prevention of unexpected start-up eli odottamattoman käynnistykseen esto), jonka toiminnasta kerrotaan lisää kohdassa 6.2. Myöskään ominaisarvot eivät saa muuttua tarkoituksettomasti. Koneen pitää pysähtyä, jos pysäytyskomento on annettu, eikä sitä saa olla mahdollista enää estää. Koneen mikään osa ei saa tahattomasti lentää tai lähteä irti. Kaikkien liikkuvien osien pysäyttämisen pitää silti onnistua, eikä turvalaitteiden toiminta saa heikentyä. Niiden on joko toimittava normaaliin tapaan tai pysäytettävä kone. (13, Liite 1.)

### 4.2 Mekaaniset vaarat

#### 4.2.1 Vakuuden menettäminen

Koneen osien ei saa olla mahdollista pudota irti missään koneen elinkaaren vaiheessa. Tämä taataan joko koneen muodolla ja asennustavalla tai kiinnitysrakenteilla.

#### 4.2.2 Rikkoutuminen

Koneen ja sen eri osien on kestävä käytöstä syntyvää kuormitusta. Tässä on huomioitava esimerkiksi materiaali. Koneen valmistajan on ilmoitettava kunnossapidon ja tarkastusten kannalta tarpeelliset toimenpiteet ja niiden ajankohdat. Jos nämä tekijät eivät kokonaan estä hajoamista, on vaaratilanteet estettävä sijainnin ja suojaamisen avulla. Huomiota on myös kiinnitettävä nesteiden ja kaasujen säilyttämiseen. Esimerkiksi putkien on kestävä tarvittava rasitus ja ne on kiinnitettävä ja suojattava niin, että rikki meneminen ei aiheuta riskiä.

Niissä tilanteissa, kun jotakin materiaa syötetään sitä käyttävälle työvälineelle ja materiaalin on kontaktissa työvälineen kanssa, on työvälineen oltava normaalissa toimintatilassaan. Työvälineen on myös liikkeelle lähtiessään ja pysähtyessään pystyttävä toimimaan koordinoitusti tilassa työskentelevien henkilöiden turvallisuuden takaamiseksi.



### 4.2.3 Muut mekaaniset vaarat

Turvallisuutta kartoittaessa on huomioitava myös koneesta putoavat ja sinkoavat esineet, sekä esimerkiksi pintojen karkeudesta ja terävistä kulmista johtuva riski. Tällaisia ratkaisuja on käyttötarkoituksen mahdollistaessa vältettävä. Suunnittelussa ja käytössä on myös huomioitava koneen käyttöolosuhteet.

Koneen toiminnalliset osat, joita ei ole suojattu, on oltava mahdollista pysäyttää ja käynnistää erikseen. Tällä varmistetaan, että silloin kun koneita on liitetty yhteen ja työstettävä kappale siirretään käsin, eivät muut koneiden osat aiheuta vaaraa käyttäjälle.

Jos koneen liikkuvien osien koskettamiseen liittyviä riskejä ei saa estettyä suunnittelulla ja rakentamisella, ne on estettävä erilaisilla suojauksilla tai turvalaitteilla. Koneen juuttumisen mahdollisuus on pyrittävä estämään. Jos tämä kuitenkin on mahdotonta, on juuttumisen vapauttamiseksi oltava optimaaliset työkalut. (13, Liite 1.)

## 4.3 Vaatimuksia suojaukselle ja turvalaitteille

Turvalaitteilta ja muilta suojalaitteilta vaaditaan kestävyyttä ja paikallaan pysyvyyttä. Ne eivät saa aiheuttaa lisää riskejä, eikä niitä saa olla mahdollista ohittaa tai kytkeä pois päältä vahingossa. Niiden sijoittamisessa on huomioitava riittävä etäisyys vaaravyöhykkeestä ja se, etteivät ne estä tarpeettomasti prosessin havainnointia. Kun koneeseen tehdään kunnossapittoa liittyviä toimenpiteitä ja vaihdetaan osia, pitää sallia pääsy vain tarvittavalle alueelle, eikä suojausta saa kytkeä pois päältä ilman pakottavaa tarvetta. Tässä yhteydessä käytetään turvaportteja.

### 4.3.1 Suojaukset

Kiinteiden suojausten kiinnityksiä ei saa olla mahdollista avata ilman työkalujen käyttöä. Suojaukset eivät saisi pysyä paikallaan, jos kiinnittimet irrotetaan.

Toimintakytkettyjen avattavien suojauksien on oltava sellaisia, että niitä pystyy hallinnoimaan, ainoastaan tarkoituksellisesti. Niiden on myös auki ollessaan jäätävä koneeseen kiinni. Jos on mahdollista, että henkilö pystyy pääsemään vaaralliselle alueelle

koneen ollessa päällä, on suojaus voitava lukita niin, etteivät vaaraa aiheuttavat toiminnot käynnisty. Suojauksen on pysyttävä kiinni ja lukittuna koko sen ajan, kun riskejä aiheuttavat toiminnot ovat käynnissä. Jos suojauksen jokin osa vikaantuu, on koko koneen pysähdyttävä.

Sellaiset suojukset, jotka estävät pääsyn muualle kuin kohtiin, joihin on työskentelyn kannalta välttämätöntä päästä, kutsutaan aseteltaviksi suojauksiksi. Niiden asettamisen on oltava helppoa, eikä se saa vaatia erillisiä työkaluja.

#### 4.3.2 Turvalaitteet

Turvalaitteiden suunnittelussa on huomioitava, että kun ne kytketään ohjausjärjestelmään, niiden liikkuvat komponentit eivät voi lähteä käyntiin tai liikkua silloin, kun käyttäjä voi osua niihin. Jos jokin osa puuttuu tai on rikki, koneen pitää pysähtyä, eikä se saa lähteä liikkeelle, ennen kuin ongelma on korjattu. Turvalaitteita ei saa olla mahdollista säätää vahingossa. (13, Liite 1.)

#### 4.4 Muut huomioitavat vaaratekijät

Seuraavana on listattu pääosin koneisiin, työvälineisiin ja niiden aiheuttamiin fysikaalisiin vaaroihin liittyviä tekijöitä. Muita vaaratekijöitä ovat haitallista kuormitusta, työympäristöä, kemiallisia ja biologisia seikkoja koskevat riskit.

- Sähkönsyöttö ja staattinen sähkö
- muiden energialähteiden, kun sähköä käyttäminen
- asennusvirheet
- korkeat ja alhaiset lämpötilat
- tulipalo, räjähdys ja salamanisku
- melu ja värinä
- koneesta ja sen ulkopuolelta tuleva säteily, sekä lasersäteily.

- päästöriskit esim. hengitysilmaan
- tapaturmat (esimerkiksi loukkuun jääminen ja kaatuminen).

Turvallisuuden kannalta on myös huomioitava säännölliset kunnossapitotoimenpiteet. Toimenpiteet on voitava suorittaa turvallisesti ja teknisten tekijöiden mahdollistaessa myös koneen ollessa pysähtyneenä. Koneen ollessa automaattinen, on siinä oltava liitännä vianetsintään tarkoitettu laitteelle. Koneen irrottaminen energialähteistä on onnistuttava, niille tarkoitetuilla laitteilla. (13, Liite 1;14.)

## 4.5 Varoitukset

Koneessa on myös oltava varoituslaite, jos sen valvomatta jättäminen voi aiheuttaa käyttäjille tai muille tilassa oleville henkilöille vaaratilanteita. Varoitus voi ilmetä äänenä tai valomerkinä. (13, Liite 1.)

## 5 Turvatoiminnot

Koneen turvatoiminnot päätetään riskien arvioinnin perusteella. Riskit on saatava laskemaan hyväksytylle tasolle. Suojaukset, joita ovat esimerkiksi turvatoiminnot, ovat tähän yksi keino. Suojausten vaatimuksista kerrottiin aikaisemmin luvussa 4.3. Riskien arvioinnissa huomioidaan niiden todennäköisyys sekä se, kuinka voimakkaita seuraukset ovat. (15.) Arviointiin kuluu riskien tunnistaminen, riskianalyysi ja riskien merkityksen arviointi. Yleensä voimakkaampi riski voidaan hyväksyä silloin, kun seuraukset eivät ole vakavat. Valittujen keinojen toimivuutta pitää seurata. (16.)

Koneen turvatoimintoihin liittyvät standardit jaetaan kolmeen ryhmään A-, B- ja C-tyyppisiin. A-tyypin standardissa kerrotaan yleiset lähtökohdat. EN ISO 12100 on ainoa A-tyypin standardi. B-tyypin standardeissa esitetään yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai suojateknistä laitetta, esimerkiksi turvaetäisyyttä tai toimintaankytkentälaitetta. Koneiston sähkölaitteiston turvallisuutta koskeva SFS-EN 60204-1 on B-tyypin standardi. C-tyypin standardi on konekohtainen turvallisuusstandardi. Siinä käydään läpi koneen tarkempia turvallisuusvaatimuksia. Jos koneelle on olemassa C-tyypin standardi, se on ristiriitaisissa tilanteissa aina ensisijainen muihin tyyppisiin verrattuna. Paperi- ja kartonkikoneille C-tyypin standardi on SFS-EN 1034-16, joka antaa ohjeita koneiden käynnistymisvaroitukseen ja ohjaukseen. (17.)

Helmikuussa 2021 julkaistiin uusi, päivitetty versio standardista IEC 62061. Se sisältää vaatimuksia turvallisuuteen liittyville sähköisille ohjausjärjestelmille niiden koko elinkaaren ajalta. Standardissa kerrottiin esimerkiksi muutoksista Safety Integrity Level- eli SIL-tason määrittämiseen. Jokaisen koneen valvontajärjestelmää vaativa vaaratekijä on tunnistettava ja arvioitava. SIL-tason määrittämisessä on otettava huomioon neljä tekijää, joita riskeistä aiheutuu. Nämä tekijät ovat vamman vakavuus, vaarallisen aseman tiheys ja kesto, vaarallisen tapahtuman todennäköisyys sekä mahdollisuus välttää ja rajoittaa vahinkoa. Jokaiselle tekijälle määritellään voimakkuuden perusteella arvo, useimmissa 1-5:n väliltä. Arvojen perusteella määritetään tarvittava SIL-taso. Tasoja on 4, joista viimeinen eli neljäs on vaativin ja vakavin. (18.)

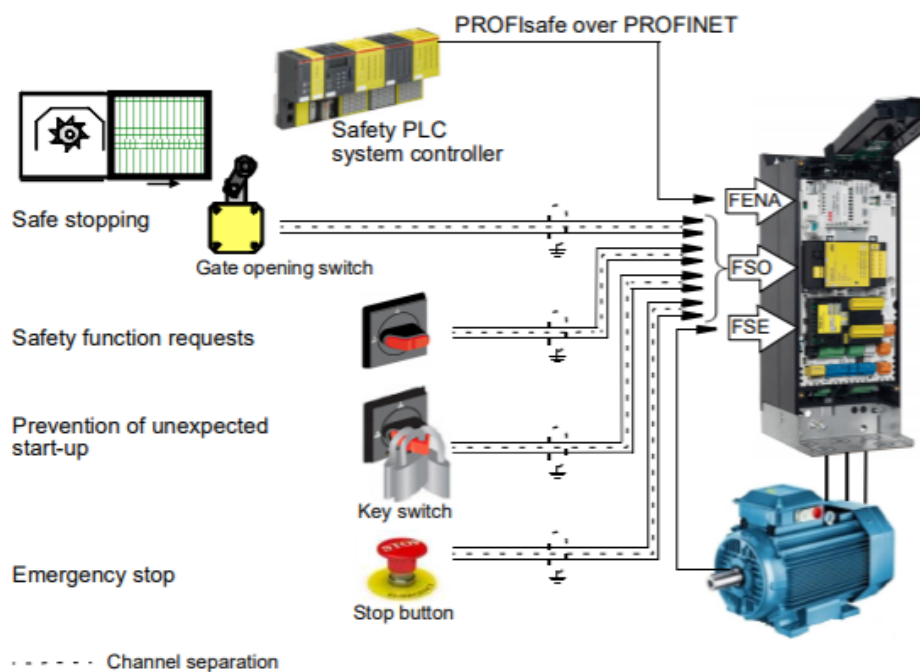
Toinen vaihtoehto turvaluokituksen määrittämiselle on Performance level (PL) eli ohjausjärjestelmän suoritustaso. Se noudattaa standardia ISO 13849-1/-2. Myös tässä menetelmässä arvioidaan erikseen jokaista järjestelmän osaa. Huomioitavia tekijöitä ovat mahdollisten aiheutuvien vammojen vakavuus, altistumisaika vaaralle sekä millainen on mahdollisuus välttää vaaraa tai vähentää sen aiheuttamaa vahinkoa. Ohjausjärjestelmän suorituksen tasolle määritetään arvo kirjaimilla a-e, jossa e on korkein mahdollinen arvo ja vastaa SIL-tasoa kolme. (19.)

Kun käytetään useiden taajuusmuuttajien yksikköä, kuten linjakäyttöä, niiden ohjaukseen voidaan käyttää turvalogiikkaa, esimerkiksi AC500-S:ää. Turvalogiikka on mahdollista yhdistää taajuusmuuttajan sisäänrakennettuihin turvatoimintoihin. Tämä tapahtuu liittämällä AC500-S ja taajuusmuuttaja toisiinsa kenttäväylämoduulilla. Kenttäväylämoduulissa on oltava PROFIsafe-liitäntä. (20.)

Turvamoduuli FSO-21 sisältää useita turvatoimintoja, joita käytetään erilaisissa soveluksissa, kuten hätäpysäyttämiseen ja turvallisen nopeuden rajoittamisen (SLS). FSO-moduuli ei ohjaa taajuusmuuttajia, vaan valvoo sen toimintaa ja panee käyttöön suoritettavia turvatoimintoja. Käsky turvatoiminnon suorittamiselle voi tulla esimerkiksi painikkeelta tai turva PLC:ltä. Yhteys FSO-21:n, turvalogiikan ja taajuusmuuttajien välillä toteutetaan ABB:n omalla Ethernet-moduulilla, FENA-11 tai FENA-21:llä. Kuvassa 5 on FSO-21-turvamoduuli ja kuvassa 6 on esimerkki turvajärjestelmästä, jossa on tämä turvamoduuli sekä taajuusmuuttaja, turvalogiikka, FENA-21 ja kytkimet sekä painikkeet. FENA-21 kortin tilalle on saatavilla myös uudempi FPNO-21 kortti. (21.) Vaihtoehtona FSO-21:lle on turvamoduuli FSO-12. Siihen ei ole mahdollista saada kaikkia turvatoimintoja, joita ensimmäiseksi mainittuun on. (22.)



Kuva 5: FSO-21-turvamoduuli (20.)



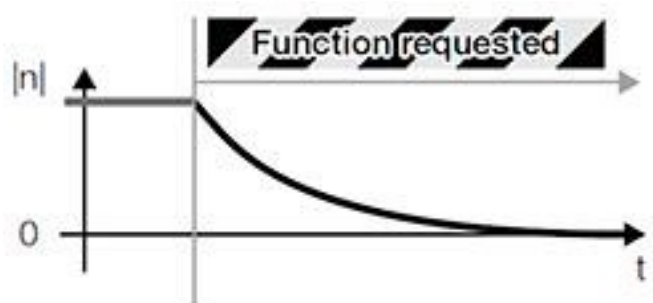
Kuva 6: Turvajärjestelmä FSO-21-moduulin kanssa (20).

## 5.1 Turvallinen vääntömomentin poisto

STO on lyhenne sanoista Safe torque off, sen suora suomennos on turvallinen vääntömomentin poisto, eli sillä estetään taajuusmuuttajan odottamaton uudelleenkäynnistymisen, joka aiheuttaa moottorin käynnistymisen. Sen avulla pystytään toteuttamaan turva- sekä valvontapiirejä. Hyviä esimerkkejä tästä ovat hätäpysäytys ja odottamattoman käynnistyksen estämiseen tarkoitettu kytkin (POUS). Jälkimmäistä käytetään etenkin huoltotilanteissa, joissa huolletaan muita kuin sähköisiä osia, sillä vaihtosuuntaajaan virtaa ei tarvitse katkaista. Syöttöpuolella sijaitsevan vaihtosuuntaajan pääteasteessa on puolijohde. Puolijohde riippuu linjakäytön syöttöpuolen yksiköstä. Näitä yksiköitä ovat DSU, ISU ja RRU, joista kerrottiin tarkemmin kohdassa 4.1. STO-toiminnon ollessa päällä puolijohde ei saa ohjausjännitettä, joten vaihtosuuntaaja ei pysty pyörittämään moottoria. (20.)

Standardi 60204-1:2018 määrittää yleiset vaatimukset koneiden sähkölaitteistoille. (22.) Standardissa kerrotaan, että laitteita, joilla teho poistetaan, odottamaton käynnistymisen estämiseksi, on käytettävä sellaisissa tapauksissa, joissa koneen käynnistymisen voi olla vaarallista. Nämä laitteet on oltava selkeästi sijoitettuja ja merkittyjä, jotta käyttäjän on helppo ymmärtää, mihin ja miten laite vaikuttaa. STO-toiminnolla saadaan aikaiseksi standardin SFS-EN 60204-1 mukainen, luokan 0 hätäpysäytys. (20.)

STO:n aktivointikytkimenä voi toimia esimerkiksi hätäseis-painike, ohjelmoitavan turvalogiikan painikkeet, jotka yhdistävät turvalogiikan IO:lle tai manuaalinen kytkin. Toiminto aktivoituu, kun aktivointikytkin avataan ja ohjausyksikkö katkaisee vaihtosuuntaajan syöttöyksiköiden ohjausjännitteen. Tällöin moottori alkaa pysähtymään, eikä se voi käynnistyä uudelleen, ennen kuin esimerkiksi hätäseis-painike on vapautettu ja kone on saanut uuden käskyn käynnistyä. (23.)

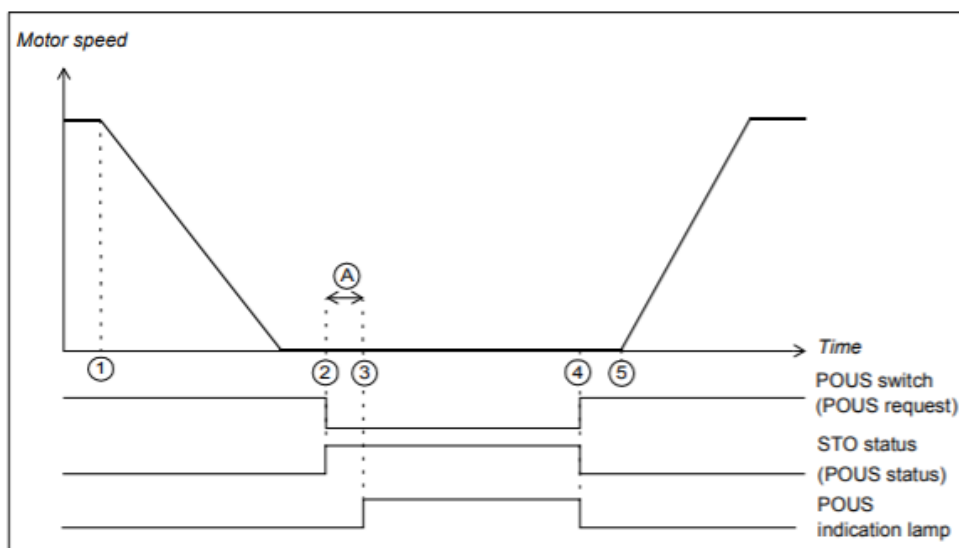


Kuva 7: STO katkaisee käyttöjännitteen taajuusmuuttajalle. Moottori alkaa pysähtyä. (22.)

## 5.2 Odottamattoman käynnistyksen esto

POUS on lyhenne termistä: Prevention of unexpected start-up ja tarkoittaa odottamattoman käynnistyksen estoa. Se estää koneen muiden, kuin sähköosien käynnistymisen. POUS-toiminto asetetaan käyttöryhmille, jotta ne saadaan turvalliseen tilaan. Se on riippumaton muista turvatoiminnoista. Se tarkoittaa sitä, että jos toiminto aktivoidaan toisen turvatoiminnon ollessa aktiivinen, POUS voi häiritä sen toimintaa. Tämän takia ABB ei suosittele sen aktivoimista silloin, kun moottori on käynnissä.

Kuva 8 havainnollistaa POUS:in toimintaa STO-piirissä. Huomioitavaa on, että jos POUS-toiminto kytketään päälle moottorin ollessa käynnissä, FSO-moduuli aktivoi taajuusmuuttajan STO-toiminnon. Tästä seuraa moottorin pysähtyminen ja FSO:n vikailmoitus.



Kuva 8: POUS-toiminto FSO-piirissä (20).

Ylemmän kuvan mukainen POUS-toiminnon kuvaus:

1. Moottorille annetaan pysähtymiskäsky.
2. Kun Moottori on pysähtynyt, kytketään POUS-kytkin pois päältä (auki asentoon). Tästä seurauksena FSO moduuli aktivoi STO-toiminnon.
3. Kun A (indikaatio viive) on kulunut, POUS-merkkivalo syttyy.
4. POUS-kytkin kytketään päälle (kiinni asentoon). Tästä seurauksena FSO-moduuli kytkee STO-toiminnon pois päältä. POUS-merkkivalo sammuu ja moottori on mahdollista käynnistää uudelleen.
5. Moottori käynnistetään. (24.)

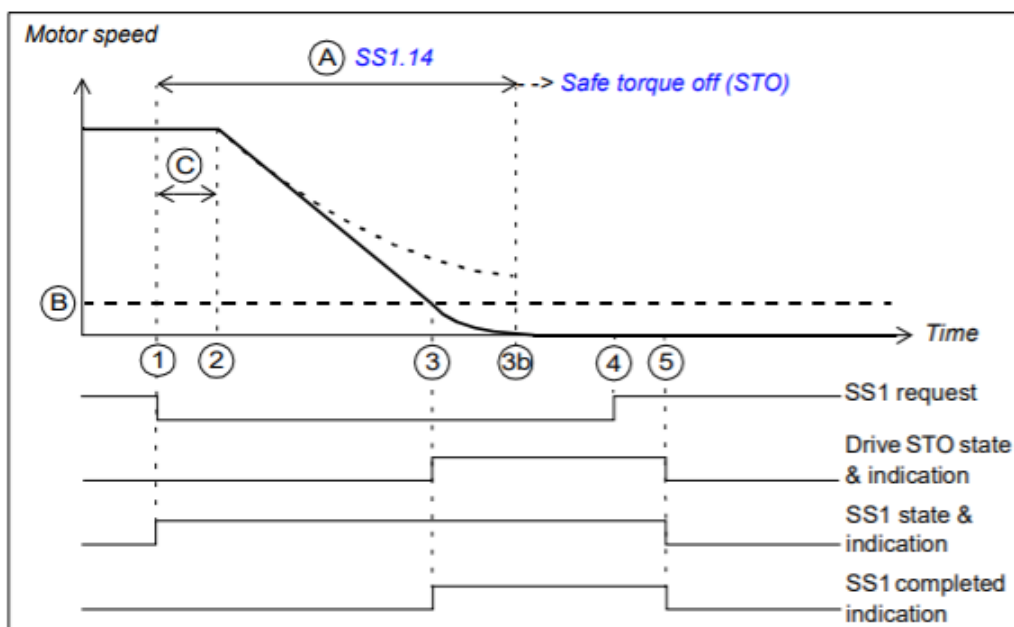
### 5.3 Turvapysäytys 1

Safe stop 1 eli turvallisella pysäytyksellä pysäytetään moottori, laskemalla moottorin nopeus nolnaan. Pysäytystä voidaan valvoa joko ajan (SS1-t) tai ramppivalvonnan avulla (SS1-r). SS1 on käytössä hätäseistoimintona. Jos SS1 on yhtä aikaa aktiivisena STO:n kanssa, STO ohittaa sen. Toiminnolla pystytään toteuttamaan luokan 1 hätäpysäytys standardin SFS-EN 60204-1 mukaisesti.



### 5.3.1 Turvapysäytys 1 aikavalvonnalla

Kuvassa 9 on esitetty turvallinen pysäytys ajanvalvonnalla. Kuvassa A tarkoittaa SS1-t:n viivettä STO:lle, eli aikaa, mikä menee siinä, kun FSO viimeistään aktivoi STO:n. B ilmaisee nopeusrajaa, jolloin STO aktivoituu. C kuvastaa vasteaikaa.



Kuva 9: SS1-t toiminta (21).

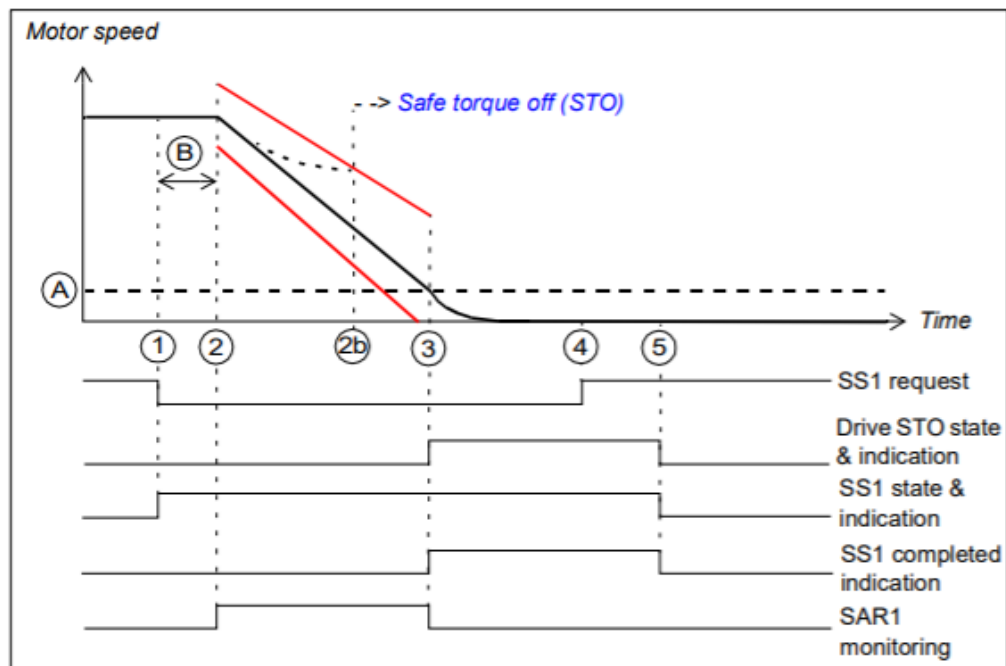
Kuvan 7 mukainen SS1-t toiminnan kuvaus:

1. SS1 käsky vastaanotetaan, ja se aloittaa ajan laskemisen (A).
2. Kun vasteaika (C) on kulunut, taajuusmuuttaja alkaa vähentää moottorin nopeutta.
3. Moottori alittaa nopeusrajoituksen (B), jonka seurauksena FSO aktivoi taajuusmuuttajan STO-toiminnon.
- 3B. Jos käy niin, ettei taajuusmuuttaja ole hidastanut moottoria tarpeeksi, kun aika (A) on kulunut, FSO aktivoi STO-toiminnon.
4. SS1-käsky lopetetaan.

5. Vahvistuksen jälkeen STO- ja SS1- toiminnot kytketään pois päältä ja merkkivalot sammuvat.

### 5.3.2 Turvapysäytys 1 ramppivalvonnalla

Kuvassa 10 on esitetty turvafunktion SS1-r toiminta. Kuvassa A tarkoittaa nopeuden rajoitusta, joka aktivoi STO-toiminnon. B kuvastaa vasteaikaa samalla tavalla, kun aiemman esimerkin (SS1-t) C-kohta. Punaiset viivat asettavat rampin valvonnan rajat. SAR1 suorittaa ramppivalvontaa.



Kuva 10: SS1-r-toiminta (21).

Kuvan 8 mukainen SS1-r-toiminnan kuvaus:

1. SS1-käsky vastaanotetaan.
2. Kun aika (B) on kulunut, taajuusmuuttaja alkaa vähentämään moottorin nopeutta, jolloin SAR1 määrittää hidastusrampin ja FSO aloittaa tämän hidastusrampin seurannan.
- 2B. Jos moottorin nopeus saavuttaa rampin valvonnan rajan, FSO kytkee STO-toiminnon päälle.

3. Moottorin nopeus laskee alle asetetun nopeusrajoituksen (A), joten FSO lopettaa SAR1:n valvonnan ja kytkee päälle STO-toiminnon.
4. SS1 käsky poistetaan.
5. Kun käsky on poistettu, STO- ja SS1-toiminnot kytketään pois päältä, ohjaus palautuu takaisin taajuusmuuttajalle.

## 5.4 Turvallinen hätäpysäytys

SSE on lyhenne termistä Safe stop emergency, eli turvallinen hätäpysäytys. SSE päättyy myös aina STO:hon nollanopeuden saavuttamisen jälkeen. Sen hätäramppitoiminta on myös muuten samalainen SS1:n kanssa, mutta valvontaan käytetään parametreina SAR0- ramppiaikoja. SAR on lyhenne turvallisesta kiihtyvyyalueesta. SSE-toimintoa ei kuitenkaan käytetä yleensä paperikoneissa. Joissain tapauksissa se on käytössä pumppujen virrattomassa pysäytyksessä. (21).

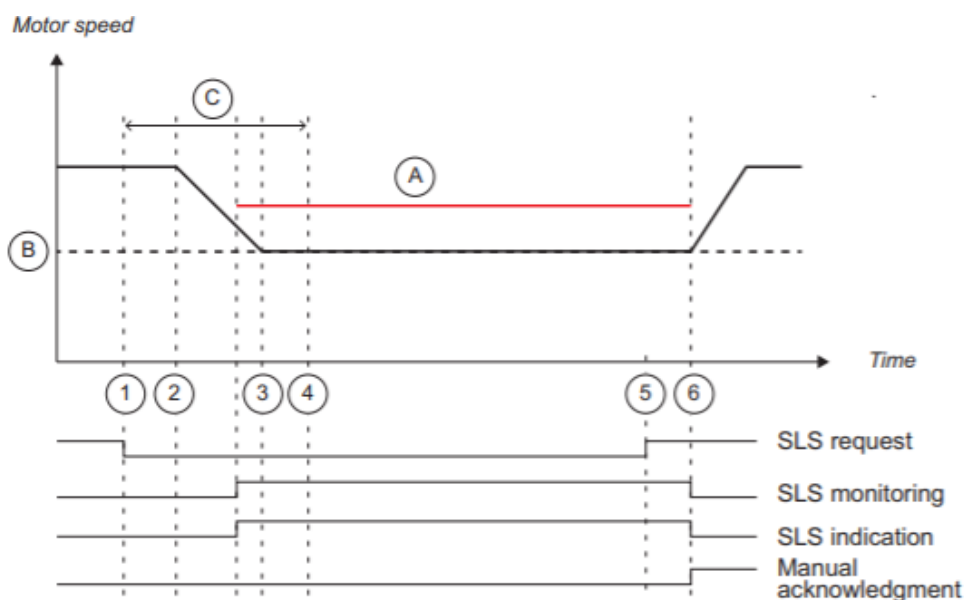
## 5.5 Turvarajoitettu nopeus

Safety-limited speed eli turvarajoitettu nopeus estää moottoria ylittämästä sille määrättyjä nopeuden rajoituksia. Sen lyhenne on SLS. Taajuusmuuttaja rajoittaa moottorin nopeutta niin, että nopeus pysyy SLS:ään asetettujen nopeusrajoitusten sisällä. Jos nopeus ylittää asetetut rajoitukset toiminnon ollessa päällä, moottorin nopeus hidastetaan takaisin asetettujen rajojen sisälle. Käyttäjä pystyy asettamaan valvonnan toimimaan joko ajan perusteella tai ramppivalvontana. SLS-toiminnoille voidaan myös asettaa haluttu vastareaktio, jos taajuusmuuttajan modulaatio menetetään moottoria hidastaessa. Nopeus, jota SLS-turvafunktiolla paperikoneissa yleensä valvotaan, on 15 m/min. Funktiota tarvitaan esimerkiksi viiroja vaihtaessa.

Jos valvonta suoritetaan aikaperusteisesti, moottorin pitää saavuttaa asetettu SLS-raja aikarajan sisällä, muuten hätäpysähdys käynnistyy. Jos nopeus on säädetty suuremmaksi kuin rajat sallivat, taajuusmuuttajan parametrit hidastavat moottorin nopeutta hidastusramppiajan mukaiseksi.

Jos SLS-toiminto suoritetaan ramppivalvonnalla, SAR1-toiminto määrittelee hidastusrampin silloin, kun moottorin nopeus ylittää SLS-ajan. Moottorinnopeuden on laskettava SAR1:n rajojen sisälle; muuten STO menee päälle. Ramppi valvonnan sijasta on käytettävä aikavalvontaa, jos SLS-toiminno on mentävä päälle heti käskyn jälkeen ilman viivettä. Toiminto on käytössä kaikissa uusissa ACS880-linjakäytöissä.

Kuvassa 11 on kuvattu esimerkkinä, miten SLS toimii, jos valvonta suoritetaan aikaperusteisesti ja nopeus ylittää sallitun nopeuden. B kuvaa SLS:lle asetettua maksimiarvoa ja A ”trip limit” -arvoa, jonka nopeuden ylittäessä STO-toiminto menee päälle. A on yleensä 10-15 % suurempi kuin B. C on ajallinen viive, ennen kuin SLS-toiminto pakotetaan päälle.



Kuva 11: SLS:n aikavalvonta, kun nopeus ylittää valvotun nopeuden (20).

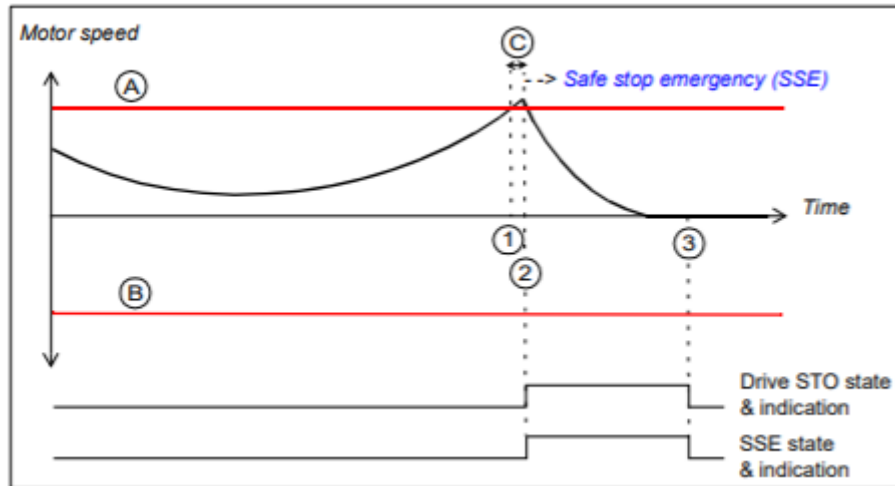
1. SLS-käsky on vastaanotettu ja moottorin nopeus ylittää sallitun rajan (B). FSO alkaa valvoa SLS:n aikaviivettä (C).
2. Taajuusmuuttaja aloittaa moottorin nopeuden hidastamisen ja määrittää hidastusrampin sille ajalle, kunnes nopeus saavuttaa raja-arvon (B). FSO aloittaa valvomaan moottorin nopeutta, kun nopeus on SLS-rajojen keskellä.
3. Moottorin nopeus tulee SLS:n raja-arvolle (B).

- 3-6 Taajuusmuuttaja rajoittaa moottorin pyörimisnopeutta, mutta pyörimisnopeus saavuttaa silti nopeuden, joka laukaisee STO-toiminnon (trip limit). STO katkaisee sähkönsyötön moottorille.
4. FSO aloittaa viimeistään SLS:n valvonnan, kun aikaviive (C) on kulunut loppuun.
5. SLS-käsky poistetaan, mutta valvonta jää edelleen voimaan. Valvonta on kuitattava pois päältä manuaalisesti tai turvalogiikalta.
6. SLS-toiminto kuitataan ja valvonta loppuu.

## 5.6 Turvallinen enimmäisnopeus

SMS eli Safe maximum speed tarkoittaa turvallista enimmäisnopeutta, joka suojaa laitteita liian suurilta nopeuksilta. Siitä on olemassa kaksi versiota. Ensimmäisessä versiossa moottorin nopeuden saavuttaessa sille asetetun ylä- tai alarajan, FSO-moduuli kytkee SSE-toiminnon päälle. Toisessa versiossa SMS:n minimi- ja maksimirajat rajoittavat moottorin nopeutta. Toinen versio on muuten samanlainen kuin SLS-toiminto, mutta se voidaan asettaa pysyvästi päälle tai pois päältä. Haluttu SMS-toiminto valitaan käynnistyksen aikana.

Kuvassa 12 näytetään ensimmäiseksi kuvatun version toiminta. A kuvaa pyörimisnopeudelle asetettua maksiminopeutta positiiviseen pyörimissuuntaan, ennen kuin STO-toiminto kytkeytyy päälle ja B vastaavaa nopeutta negatiiviseen pyörimissuuntaan. C on vasteaika, punaiset viivat osoittavat nopeuden positiivisen ja negatiivisen rajan.



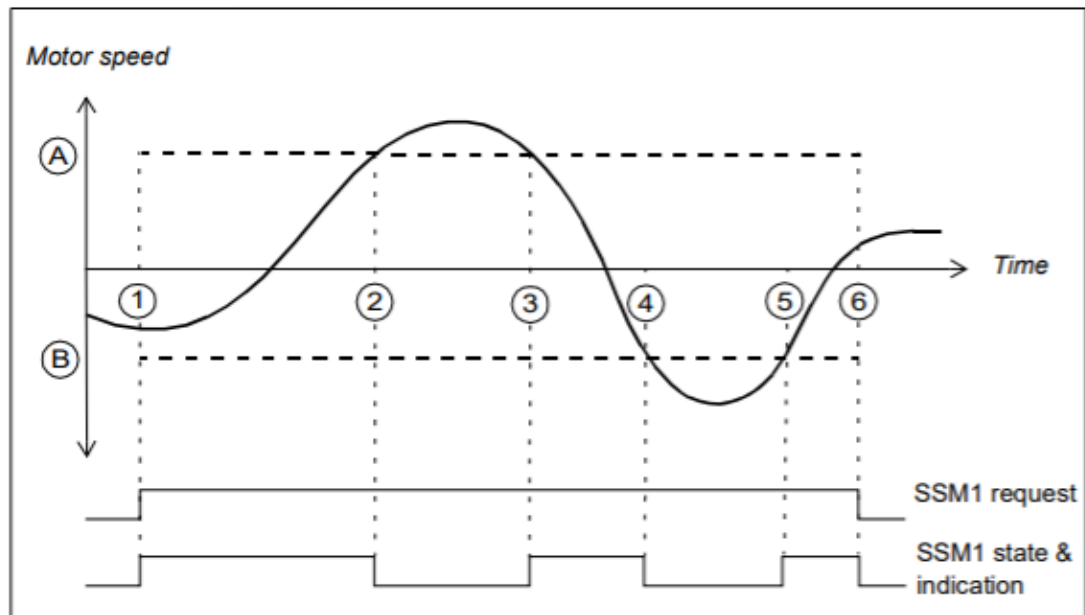
Kuva 12: SMS-funktion toiminta (20).

1. Moottorin nopeus nousee positiivisen pyörimisnopeuden ylärajalle (A).
2. Kun vasteaika (C) on kulunut, FSO katkaisee sähkönsyötön moottorille. Kuvan esimerkissä FSO välittömäksi pysähdykseksi on määritetty SSE-toiminto. Merkkivalot tai muut käytettävät merkit jäävät päälle.
3. Kun pysäyttäminen on suoritettu loppuun, FSO kuittaa pysäyttämiseen käytetyn funktion. Merkkivalot sammuvat.

## 5.7 Turvallisen nopeuden valvonta

SSM eli Safe speed monitoring antaa mahdollisuuden turvallisen lähtösignaalin näyttämään, onko moottorin nopeus ennalta määritettyjen rajojen sisällä. SSM-toimintoja on neljä (SSM1-SSM4), niillä on erilaiset valvontarajat ja -indikaatiot. SSM-toimintoja voi olla päällä yhtä aikaa useita ja ne voidaan määrittää pysyvästi päälle tai pois päältä. Niitä voidaan hallinnoida FSO-moduulista tai turvalogiikalta. Toimintoa voi käyttää yhdessä enkooderin kanssa, jolloin FSO-moduuli saa tiedon tarkasta nopeudesta. Toiminto on mahdollinen vain FSO-21-moduulissa.

Kuvassa 13 näytetään esimerkkinä SSM1-toiminnon toiminnankuvaus. A on positiivisen pyörimisnopeuden raja ja B vastaavasti negatiivisen pyörimisnopeuden raja. Katkoviiva kuvaa A:n ja B:n rajoja.



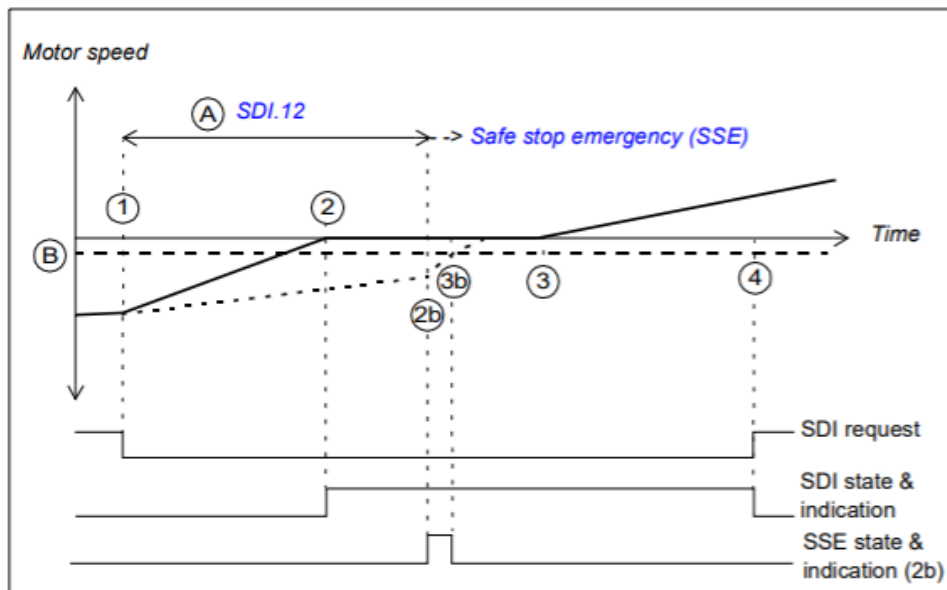
Kuva 13: SSM-toiminnon kuvaus (20).

1. SSM1-käsky on vastaanotettu ja FSO aloittaa sen seuraamisen. Moottori on raja-arvojen (A ja B) välissä.
2. SSM1:n positiivinen raja ylittyy ja merkkivalo sammuu.
3. Nopeus pääsee taas positiivisen rajan alle, joten merkkivalo syttyy.
4. Moottorin nopeus alittaa negatiivisen raja-arvon, merkkivalo sammuu.
5. Nopeus nousee taas yli SSM1:n negatiivisen rajan, merkkivalo syttyy.
6. SSM1-käsky lopetetaan ja FSO-moduuli lopettaa valvomasta SSM1-toimintoa. Merkkivalot tai muut vastaavat merkit sammuvat.

## 5.8 Turvallinen liikesuunta

SDI eli Safe direction edellyttää FSE-31-pulssienkooderin käyttöä. Pulssianturit on kytketty FSE-31:n liitäntämoduuliin. Moduulin avulla saadaan turvanopeus-, suunta- ja sijaintitietoja. Toiminto on mahdollinen vain FSO-21-moduulissa.

SDI-toiminnolla valvotaan, että moottori pyörii oikeaan suuntaan, positiiviseen tai negatiiviseen. Kun toiminto on päällä, käyttäjä ei pysty säätämään moottoria kiellettyyn suuntaan. SDI:llä on toleranssiraja, joka sallii tietyn pyörimismäärän väärään suuntaan. Jos toleranssi ylittyy, FSO-moduuli katkaisee virransyötön moottoriin ja moottori pysähtyy. SDI-valvonta voidaan suorittaa joko aika- tai ramppivalvontana. Kuvassa 14 on esimerkki aikavalvonnalla suoritetusta SDI-toiminnosta. Kuvassa A on SDI-valvonnan viive. B on enkooderin nollanopeus. Se määrittää nopeuden sille, milloin moottori on pysähtynyt ja turvatoiminto viety loppuun.



Kuva 14: SDI aikavalvonnalla (20).

1. Positiivinen SDI-käsky vastaanotetaan. Moottori pyörii kiellettyyn suuntaan, joten taajuusmuuttaja alkaa hidastaa moottoria. Hidastumisen jyrkkyys on määritetty parametrilla.
2. Moottori pysähtyy, FSO-aloittaa valvomaan SDI:tä toleranssirajan asettamien arvojen mukaisesti.
- 2B. SDI-valvonta alkaa viimeistään tässä vaiheessa, kun viive (A) on kulunut. Jo moottori pyörisi edelleen väärään suuntaan, aktivoituisi pysähdystoiminto.
3. Moottorille asetetaan uusi nopeus, se alkaa pyöriä haluttuun suuntaan.



3B. Nopeus saavuttaa nollan (B). Jos 2B-kohdassa hätäpysäytys on mennyt päälle, STO on mahdollista kuitata, jolloin FSO aloittaa SDI-valvonnan.

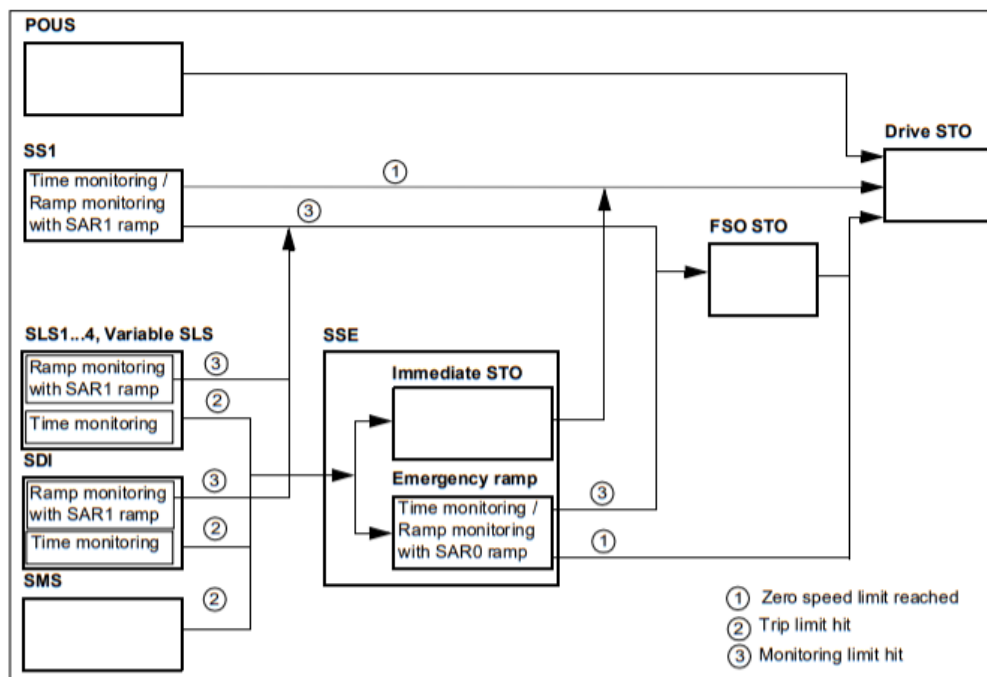
4. SDI-käsä poistetaan, joten FSO lopettaa SDI-valvonnan. Toiminto on kuitattu.

## 5.9 Turvajarrutus

SBC eli Safe brake control mahdollistaa ulkoisten turvajarrujen ohjaamisen. Tätä toimintoa ei kuitenkaan paperikonesovelluksissa käytetä.

## 5.10 Turvatoimintojen välinen riippuvuus

Koneiden turvalaitteissa turvatoiminnot ovat usein riippuvaisi toisistaan. Kuvassa 15 on kuvattu, miten FSO-moduulin turvatoiminnot liittyvät toisiinsa ja taajuusmuuttajan STO-toimintoon.



Kuva 15: Turvatoimintojen riippuvuussuhteiden kuvaus (20).

1. Nollanopeusrajoitus on saavutettu, joten SS1- ja SSE-toiminnot kytkevät STO-toiminnon päälle, eli STO-piiri aukeaa.
2. SMS- ja SLS-toiminnot kytkevät SSE-toiminnon päälle silloin, kun moottorin nopeus kohtaa määritetyn rajan (trip limit).
3. Kun moottorin nopeus saavuttaa valvonnan rajat, SS1-, SSE-, SLS- ja SDI-toiminnot kytkevät STO:n päälle. STO- ja POUS-funktio, sekä SSE-funktio välittömällä STO-toiminnolla aktivoivat, eli avaavat STO-piirin. Kun STO-piiri on auki, se katkaisee virransyötön moottorille ja moottori hidastuu. (20.)

## 6 Turvatoimintojen testaus

Turvatoiminnot testataan aina käyttöönoton sekä muutos- ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä. Testin tekijällä on oltava riittävä osaaminen ja tietopohja turvatoiminnoista. Standardi IEC 61508-1 määrittelee vaatimuksia testaajalle sekä raportoinnille. Standardin kohta 6 määrittelee seuraavia vaatimuksia toiminnalliselle turvallisuudelle. Kohdat koskevat erityisesti sähköisiä, elektronisia ja ohjelmoitavien elektronisia järjestelmiä (S/E/OE).

- Yrityksellä on oltava vastuu henkilö tai henkilöitä, jotka tuntevat sähköisen, elektronisen ja ohjelmoitavan elektronisen järjestelmän ja sen elinkaaren vaiheet ja niiden vaiheiden turvallisuuteen liittyvät kohdat.
- Toiminallisen turvallisuuden saavuttamiseksi on määriteltävä strategia, josta tiedotetaan yrityksen sisällä.
- Organisaatiossa on tunnistettava kaikki eri turvallisuuden vaiheisiin liittyvät henkilöt ja heille on selkeästi kerrottava tarvittavat tieto- ja vastuualueet.
- Asiaankuuluville henkilöille on tiedotettava kaikista tarvittavista asioista. Tiedottamisen onnistumisen varmistamiseksi on kehitettävä selkeät menetelmät.
- Jos turvallisuudessa ilmenee puutteita, on näiden puuteiden korjaamiseksi oltava nopea ja riittävä menetelmä.

- Yrityksellä on oltava menetelmiä, joiden avulla tunnistetut vaaratekijät arvioidaan. Arvioinnin perusteella tehdään ohjeita, joilla minimoidaan riski epäsuotuisalle tapahtumalle.
- Kun määritetään vastaavatko nykyiset toiminnot niiden suunnitelmia, on huomioitava, kuinka usein määrittely toteutetaan, kuinka riippumaton määrittelyn tekijä on sekä millainen dokumentaatio on tehtävä. Jossain tilanteissa on mietittävä jatkotoimien tarpeellisuutta.
- Vaarojen, vaaratilanteiden ja turvatoimintojen merkitsemiseksi on oltava selkeä prosessi, jotta tarvittava tieto löytyy helposti.

Kaikki henkilöt, joilla on vastuullaan jokin S/E/OE-järjestelmään liittyvä kohta, on huomioitava edellä mainitut kohdat ja määritettävä tarvittavat toimenpiteet turvallisuuden aikaansaamiseksi. Lisäksi heidän on kiinnitettävä huomiota siihen, miten riittävän turvallisuuden toteutuminen osoitetaan sitä arvioivalle taholle.

Testauksen suorittajaa valittaessa on huomioitava turvallisuuden eheyden taso, millaiset vikaantumisesta johtuvat seuraukset voivat olla ja kuinka tunnettuja suunnittelumenetelmät ovat. Mitä vastuullisempi tehtävä on, sitä tärkeämpää on testaajan aikaisempi kokemus, koulutus sekä tiedon määrä turvallisuustekniikasta ja säännöistä.

Toiminnallisen turvallisuuden kannalta on tärkeää myös valvoa alihankkijoita ja muita tahoja, jotka vaikuttavat mahdollisiin riskeihin. Laatua on valvottava siihen soveltuvalla hallintajärjestelmällä. (25.)

Standardi SFS-EN ISO 13849-1 antaa määräyksiä turvallisuuteen liittyville ohjausjärjestelmille. Standardin kohdassa 5 käydään läpi vaatimuksia turvatoiminnoille. Pysäytystoiminnon on saatava kone sellaisessa ajassa turvalliseen tilaan toiminnon aktivoimisen jälkeen, ettei se aiheuta vaaraa. Tällaisen pysäytystoiminnon oltava myös korkeammalla priorisoinnilla verrattuna vain käyttöön kohdistuvaan pysähdykseen. Pysäytys-toiminto ei saa mennä pois aktiivisesta tilasta, ennen kuin käsky on kuitattu. Kuittaus-toiminnoille on oltava erillinen laite, eikä sen käyttö saa aiheuttaa vaaratilanteita. Standardissa on myös listattu tekniset asiakirjat, joita ohjausjärjestelmistä on dokumentoitava. Näihin kuuluvat toteutettavat turvatoiminnot, ympäristöolosuhteet, suoritustaso (Performance Level), vikaantumista ehkäisevät toimenpiteet ja muut vikoihin liittyvät

seikat, ennakoitavan väärinkäytön huomioiminen sekä ohjelmiston dokumentaatio.  
(26.)

Standardi SFS-EN ISO 12100 ja SFS-EN 60204-1 esittävät yksityiskohtaisempia kuvauksista vaadituille turvatoiminnoille. Ensimmäiseksi mainittu ohjeistaa kohdassa 6.3.2 turvalaitteiden valinnassa. Turvalaitteita ovat valoverhot, pyyhkäisemistekniikkaan perustuvat laitteet, tuntomatot ja tuntolistat sekä -köydet. Niiden valinnassa on otettava huomioon käyttökohde, ohitettavuus, toimivuus vikatilanteessa ja havaitsemiskyky.  
(27.)

SFS-EN 60204-1 antaa kohdassa 9 ohjeita ohjauspiireihin liittyviin tekijöihin. Se määrittelee pysäytystoiminnoille alla listatut luokat 0-2. Hätäpysähdys suoritetaan joko luokan 0 tai 1 mukaisella vaatimuksella.

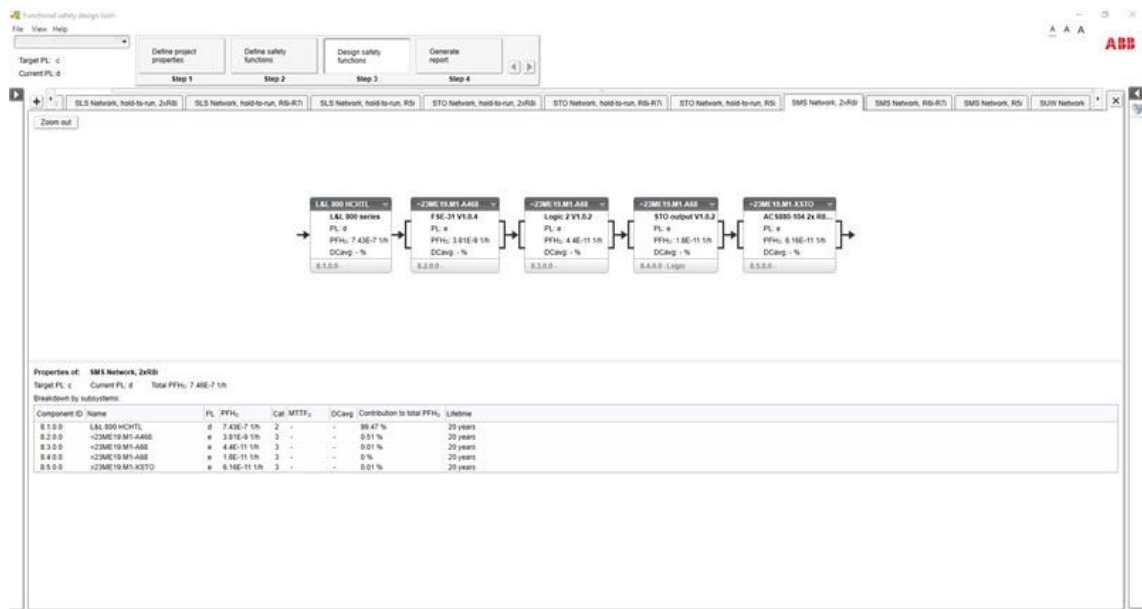
0. Pysäyttämiskomento aiheuttaa tehon välittömän poiston koneen toimilaitteilta. Kyseessä on valvoton pysäyttäminen.
1. Pysäyttäminen aikaansaadaan koneessa olevilla toimilaitteilla ja teho toimilaitteilta poistuu vasta pysähdysten jälkeen. Kyseessä on valvottu pysähtyminen.
2. Pysähtymisen aikana ja sen jälkeen teho toimilaitteilla säilyy. Kyse on myös valvotusta pysähtymisestä.

Pysäytys ja hätäpysäytys eivät kuitenkaan saa olla ensisijaisia keinoja vaaran ehkäisemiseksi. (28.)

## 6.1 Turvatoimintojen suunnittelu- ja testausprosessi

ABB:llä turvatoimintoja suunnittelu alkaa riskinarvioinnista, jota tarvitaan turvatason todentamista varten. Riskinarvioinnin tekee yleensä koneen valmistaja, mutta joissain tapauksissa myös asiakas voi olla mukana prosessissa. Suunnittelussa on konedirektiivin lisäksi otettava huomioon myös asiakkaan maakohtaisen säädökset, sekä koneen valmistajan asettamat vaatimukset.

Turvaluokituksen suunnittelussa käytetään ABB:n FSDT-ohjelmistoa, eli toiminnallisen turvallisuuden suunnittelutyökalua (Functional safety design tool). Sen avulla havainnollistetaan turvatoimintoja ja niiden tarvetta, kuten täyttykö turvaluokituksen taso. Esimerkiksi ohjelmistossa voidaan käyttää kahta eri arviointitapaa SIL ja PL. Näistä tavoista kerrottiin tarkemmin turvatoimintojen yhteydessä luvussa 5. Arviointitavan päättää yleensä koneen valmistaja. FSDT-ohjelman avulla luodaan visuaalinen kuva erilaista ryhmistä. Tällaisia ryhmiä ovat esimerkiksi POUS- ja SMS-verkosto (Kuva 16). Ryhmiin liitetään myös konkreettisia komponentteja, kuten hätäseispainikkeita ja erilaisia kytkimiä. Kun kaikki turvatoiminnot ja niiden verkostot on järjestetty, ohjelma koostaa niistä yhden yhtenäisen kokonaisuuden, jonka perusteella se laskee todennäköisyyttä turvakomponenttien häiriöille ja näyttää saavutetun turvallisuus tason (SIL tai PL). Lopputuloksena syntyy turvallisuuslaskentaraaportti.



Kuva 16: Esimerkki kuva SMS-verkostosta, joka on tehty FSDT-työkalulla.

Kun haluttu turvallisuuden taso on saavutettu, suunnittelijat tilaavat linjakäytöt valituilla turvatoiminnoilla Drivesin tehtaalta. ABB:llä käytetään laajasti SAP-järjestelmää, jonne määritetään jokainen käytettävä osa ja komponentti jo kokoonpano vaiheessa. Myös laitteiden ja niiden toimintojen testaus alkaa jo heti alussa. Kasausvaiheessa suoritetaan joitakin tarkastuksia ja testejä esimerkiksi yleismittarilla. Näiden testien tuloksia ei kuitenkaan yleensä vielä kirjata ylös, vaan niiden tarkoitus on enemmänkin tarkastaa, onko kasauksen aikana tapahtunut virheellisiä asennuksia, jotta ne voidaan korjata ajoissa.

Kokoamisen jälkeen linjakäytöt siirtyvät koestamolle, silloin kun turvatoiminnot ovat to-  
teutettu IO:lla. Koestamolla testataan suunnitellut turvafunktiot ensimmäisen kerran rivi-  
liittimiltä FSO-moduulille. Ohjelmistokomponenttien testauksen tekevät ohjelmiston  
suunnittelijat, mutta varsinaisen turvaohjelmiston (AC500S) testaus prosessin kanssa  
tapahtuu vasta asiakkaan luona, eli SAT:issa (Site Acceptance Test). Asiakkaan luokse  
linjakäytöt kuljetetaan korkeintaan 4200 mm:n mittaisissa osissa. Tämän jälkeen ne  
asennetaan halutulle paikalle, yleensä sähkötilaan, ja kaapelit kytketään kiinni. Mekaa-  
nisen asennuksen suorittavat useimmiten asiakkaan omat asentajat.

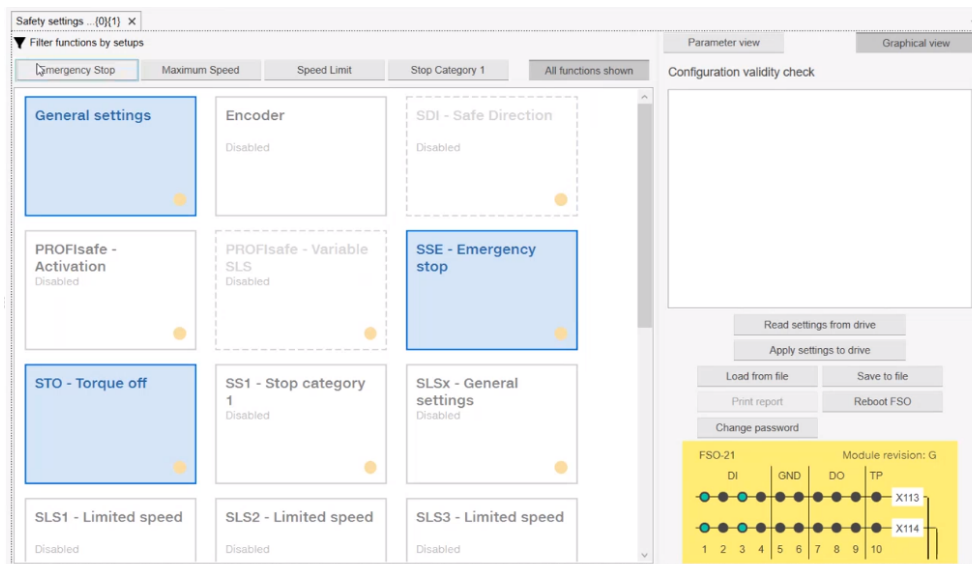
Sähköasennusten käyttöönottotarkistuksen tekee valmistaja eli ABB. Käyttöönototar-  
kistus perustuu sähköturvallisuus lakiin. (29.) Tarkistukseen kuuluu eristysvastuksen  
mittaus, sekä johtimien vastuksen mitta. Tämän jälkeen voidaan kytkeä jännitteet  
päälle, jotta pystytään mittaamaan esimerkiksi pääpiirin ja apupiirin nimellisjännitteet  
sekä tekemään dielektrinen lujuustesti, jossa mitataan vuotovirta, eli laitteen ja maapo-  
tentiaalin välinen sähkövirta. Lujuustestin tulokselle on asetettu kansainväliset rajat. Li-  
säksi testataan, toimivatko oikosulun suojaus sekä vikavirtakytkin. (30.)

Testeihin kuuluvat myös hätäseispiirin testaus sekä komponentti että ohjelmistotasolla.  
Aiemmin Luvussa 5 kerrottiin FSO-moduulin turvatoiminnoista, näiden funktioiden toi-  
miminen tarkastetaan. Lisäksi testataan käynnistyksen hälytykset, joihin on yleensä  
käytetty hälytystorvia.

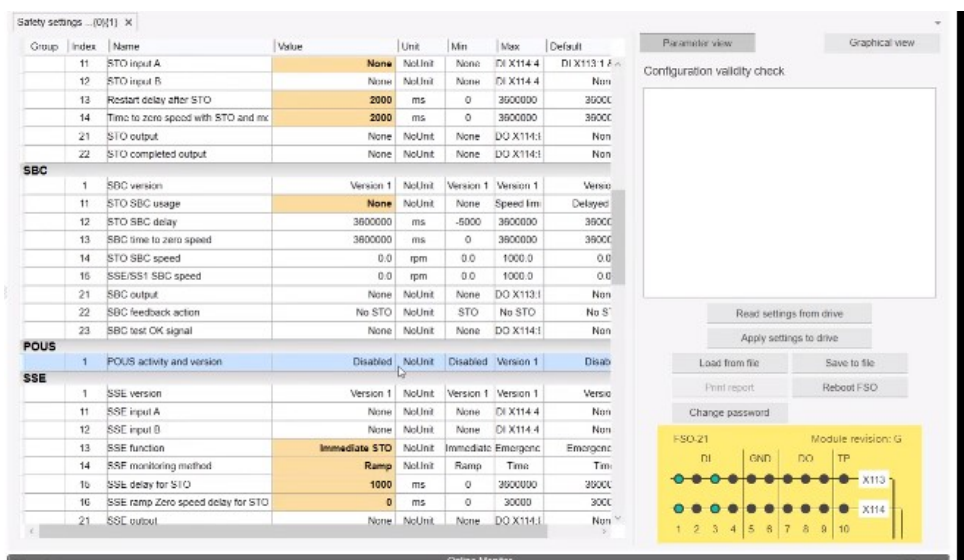
Lopuksi järjestelmä hyväksytään allekirjoittamalla turvaraportit. Tämän jälkeen raportit  
ja laitteisto luovutetaan asiakkaan käyttöön.

### 6.1.1 Drive composer

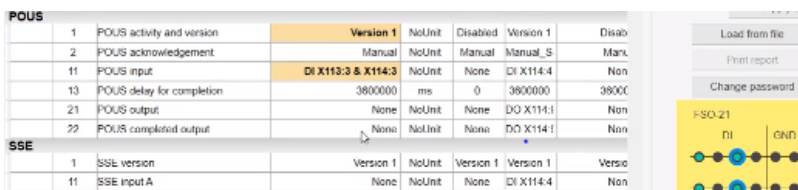
Turvatoiminnot testataan ABB:n omalla Drive composer -ohjelmalla. Sillä voidaan para-  
metroida, valvoa ja ohjata taajuusmuuttajia. Ohjelma on käytössä käyttöönoton tes-  
taustilanteessa. Vikaantumistilanteessa se antaa tietoa siitä, mistä vika mahdollisesti  
johtuu ja kuinka vika voitaisiin ratkaista. Tätä työtä varten Drive composeria käytettiin  
toimistotiloista löytyvällä testikaapilla. Kuvassa 17 on visuaalinen näkymä kaikista vali-  
tuista turvafunktioista. Kuvassa 18 on esimerkkikohta funktioiden parametreista. Kun  
halutut parametrit on asetettu, painetaan kohtaa "Apply settings to drive". Tämä lataa  
turvatoimintojen parametrit taajuusmuuttajalle. Kuvassa 19 POUS-toiminto on asetettu  
päälle ja sille on määritetty input eli tulo.



Kuva 17: Drive composerin näkymä turvafunktiosta.



Kuva 18: Esimerkki turvafunktioiden parametreista.



Kuva 19: Esimerkki POU-toiminon parametroinnista.

## 6.2 Testauspöytäkirjat

Standardi IEC 61508-1 määrittelee kohdassa 5 vaatimuksia dokumentoinnille. Dokumentoinnissa on oltava kaikki tarvittava tieto jokaisesta valmiiksi saadusta kokonaisuudesta. Tämä auttaa ohjelmiston ja S/E/OE-järjestelmän seuraavien vaiheiden toteutuksessa. Dokumentoinnin on sisällettävä asianmukainen tieto toiminnallisen turvallisuuden arvioinnista sekä tietoa, jota sen toteuttaminen vaatii. Sitä laatiessa on sisältö pidettävä tarkkana, tiiviinä ja helposti ymmärrettävänä. Ymmärrettävyyttä edistävät sille annettavat kuvaavat nimet ja otsikot. Dokumenteilla on oltava muutoshakemisto versio-numeroilla niin, että uusin versio on helposti löydettävissä. Niitä on valvottava, tarkistettava ja muutettava asianmukaisesti. Dokumenttien fyysinen rakenne saa vaihdella niin, että ne kuvaavat hyvin dokumentoitavaa järjestelmää. (25.)

Viimeinen vaihe turvatoimintojen valinnan ja testauksen jälkeen on dokumentointi. Dokumentoinnin tarkoitus on varmentaa, että turvatoiminnot ovat toimineet halutulla tavalla ja täyttäneet kaikki niille asetetut vaatimukset. Testauksen aikana löydettyjä vikoja voidaan korjata esimerkiksi vaihtamalla komponentteja. Lopputuote luovutetaan asiakkaalle vasta, kun se on todettu turvalliseksi ja toimivaksi. Testauspöytäkirjoista löytyy jokainen tuote ja toiminto sekä niihin liittyvät testaustoimenpiteet, tulokset ja toimenpiteet.

Testauksen suorittajan on dokumentoitava ja allekirjoitettava testiraportit sekä eriteltyä testausmenetelmät. Dokumenttien on sisällettävä käyttöönottoiminnot, testitulokset, vikaraporttien tiedot sekä se, miten viat on korjattu. Tämän jälkeen ne tallennetaan lokikirjaan.

## 6.3 Nykyisten testauspöytäkirjojen parantaminen

Tässä kappaleessa käydään läpi, millaisia asioita testauspöytäkirjoihin kirjataan ylös, mikä tämänhetkinen tilanne on ja miten niitä kehitettiin. Raportteja lähdettiin kehittämään asiaa tuntevien työntekijöiden mielipiteiden pohjalta. Tällä hetkellä raportit alkavat yleisellä osuudella. Yleisessä osuudessa rastitaan, millaisia testejä kyseisessä projektissa on tehty ja loppuuko hätäpysähdys piirin hätäpysähdysjakso STO-funktion vai syöttöyksikön katkaisijaan. Tässä kohtaa myös varmistetaan, onko asiakkaalle informoitu turvallisuuteen liittyvistä asioista ja käydään läpi turvapiirin validointia eli kelpuutusta.



Seuraavissa turvallisuuteen liittyvissä raportin osissa ovat mukana myös dokumentit turvafunktioista, hätä-seis-piiristä ja siihen liittyvistä funktioista. Esimerkiksi jokaisen hätäpysäytyspainikkeen toimivuus on testattu. Myös hälytyslaitteiden toiminta kirjataan ylös. Hälytyslaitteet ilmoittavat hälytyksestä joko äänellä tai valolla.

Tarkoituksena oli parantaa turvatoimintojen testauksen dokumentointia. Kehityskohteenä oli selvittää, millaisia asioita lait ja standardit edellyttävät, sekä tiivistää ja selkeyttää raportteja. Raporttipohjat muokataan Excelissä olevista pohjista projektikohtaisiksi. Lopputuloksena opinnäytetyölle on ehdotus päivitetystä raporttipohjasta, jossa dokumentointi on tarkastettu ajankohtaisien standardien mukaiseksi. Uusi pohja on selväpiirteisempi, ja kaikki testattavat kohdat on tuotu yhteen selkeämpään muotoon. Dokumentit löytyvät nyt yhdestä tiedostosta, josta projektille voidaan valita tarvittavat raportit ja helposti poistaa sille tarpeettomat osiot.

Uudessa pohjassa dokumentit on jaettu Excelissä seuraaviin välilehtiin: Cover (Kansi), EMC (Sähkömagneettinen yhteensopivuus), Common part of safety (Yleinen osuus turvallisuudesta), E-Stop circuit test (Hätäpysäytyspiirin testi), E-stop function test (Hätäpysäytyksen funktiotesti), POUS (Odottamattoman käynnistyksen esto), SLS (Turvanopeutettu rajoitus), SMS (turvallinen enimmäisnopeus), Start-Warning Test (Käynnistysvaroituksen testi), Installation Commissioning Inspection Report (Asennuksen käyttöönoton tarkastusraportti), Bender Test (Maasulunvalvonta testi) ja viimeisen sivun, joka sisältää allekirjoitukset, tiedot toimituksista, revisiolistan sekä kommenttion.

Aikaisemmassa raporttipohjassa sivuja oli 63 ja uudessa niitä on 20. Vanhassa pohjassa dokumentit olivat erillisiä tiedostoja, jotka uudessa pohjassa yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Samaan asiaan liittyviä testikohtia koottiin samoille sivuille, niin että sivumäärää saatiin pienemmäksi ja kokonaisuus selkeämmäksi. SLS ja SMS testien tuloksen saadaan suoraan FSO:n testipöytäkirjasta. Tämän takia niitä ei tarvitse kirjoittaa raporttiin käsin. Näitä koskevat kohdat poistettiin raportista ja tilalle kirjoitettiin ohje merkata testin tulos käsin, vain jos se eroaa FSO:n testipöytäkirjasta. Muussa tapauksessa tiedot löytyvät kyseisestä pöytäkirjasta, joka laitetaan liitteeksi loppuun.

Käynnistymisvaroitusta käsittelevälle välilehdelle lisättiin vaihtoehto valita, käytetäänkö projektissa PILZ vai AC500S turvalogiikkaohjainta. Käynnistymisvaroituksen testaa-

mista varten on lista asioista, jotka pitää testata tai tarkistaa. Tarkistuksen jälkeen merkitään kohta suoritetuksi. Viimeiselle sivulle koottiin yhteen allekirjoitukset, tiedot toimituksista, revisiolista sekä kommenttiosio. Ennen kyseiset kohdat löytyivät jokaisen osion lopusta. Nyt dokumenttien ollessa yhdessä tiedostossa, nämä ovat kaikille yhteisiä.

## 7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli todentaa ja testata taajuusmuuttajien turvatoimintoja niin, että saataisiin uusi turvatoimintojen testauksesta tulevasta dokumentaatiosta selkeämpi ja yhtenäisempi. Apuna käytettiin aiheen parissa työskentelevien asiantuntijoiden mielipiteitä, standardeja sekä ABB:n toimistolta löytyvää testikaappia.

Työssä käytiin aluksi läpi paperikoneen toimintaa yleisellä tasolla. Sen lisäksi annettiin tarkempaa kokonaiskuvaa sen ohjauksesta linjakäyttöillä. Työssä myös käsiteltiin turvatoimintoja, niiden toimintaa ja turvallisuuteen liittyviä standardeja. Näiden avulla pyritään antamaan parempaa ymmärrystä vaadittavista turvatoiminnoista, niiden toteutuksesta ja loppudokumentaatiosta.

Lopputuloksena saatiin toimivampi raporttipohja, jossa testattavat ominaisuudet on eritelty selkeämmin. Aikaisemmin hajallaan oleva dokumentaatio saatiin yhdistettyä yhdeksi kattavaksi kokonaisuudeksi. Saatua uutta dokumenttipohjaa voitaisiin jatkokehitellä niin, että se ottaisi paremmin huomioon myös muut ABB:n sisäiset toimintayksiköt.

## Lähteet

1. ABB Group. 2021. Verkkoaineisto. ABB. <https://global.abb/group/en>. s.1. Luettu 15.1.2021.
2. ABB Suomessa. 2021. Verkkoaineisto. ABB. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>. Luettu 12.1.2021.
3. Paperinvalmistus. 2021. Verkkoaineisto. Knowpap. [http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces /frontpage.htm](http://intra.corp.storaenso.com/know/KnowPap/suomi/knowpap_system/user_interfaces /frontpage.htm). Luettu 2.2.2021.
4. Mikä on taajuusmuuttaja. 2021. Verkkoaineisto. Danfoss. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>. Luettu 10.4.2021.
5. Sähkökäytön mitoitus. 2001. Verkkoainesto. ABB. [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf). Luettu 10.4.2021.
6. ABB industrial drives. 2020. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000115037&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. Luettu 3.2.2021.
7. ACS880-307, Diode supply units. 2020. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. [https://library.e.abb.com/public/0a98d05828e84c87917bda21eb44282b/EN\\_ACS880-307\\_A003\\_HW\\_C\\_A4.pdf](https://library.e.abb.com/public/0a98d05828e84c87917bda21eb44282b/EN_ACS880-307_A003_HW_C_A4.pdf). Luettu 20.3.2021.
8. ACS880-207 IGBT supply units. 2016. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. [https://library.e.abb.com/public/c892ebd4987e4024a7906f3727054da3/FI\\_ACS880-](https://library.e.abb.com/public/c892ebd4987e4024a7906f3727054da3/FI_ACS880-)

207\_HW\_C\_A4.pdf. Luettu 20.3.2021.

9. ACS880-907 Regenerative rectifier units. 2018. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. [https://library.e.abb.com/public/61535c28d4f84c73abe792a8dd1f279e/EN\\_ACS880\\_907\\_HW\\_B\\_A4.pdf](https://library.e.abb.com/public/61535c28d4f84c73abe792a8dd1f279e/EN_ACS880_907_HW_B_A4.pdf). Luettu 21.3.2021.
10. Industrial drives ACS880, multidrives. 2019. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000115037&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. Luettu 14.3.2021.
11. 2006/42/EC. Machinery Directive. 2006. European Union.
12. Mikä on oikeushenkilö. 2021. Verkkoaineisto. Minilex. <https://www.minilex.fi/a/mik%C3%A4-on-oikeushenkil%C3%B6>. Luettu 12.2.2021.
13. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta, 400/2008. 2008. Verkkoaineisto. Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400#Lidp455303488>. Luettu 12.2.2021.
14. Tyypillisiä vaaroja. 2021. Verkkoaineisto. Työsuojelu. <https://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/vaarojen-arviointi/tyypillisia-vaaroja>. Luettu 14.2.2021.
15. Taajuusmuuttajien toiminnallinen turvallisuus. 2015. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. [https://library.e.abb.com/public/643a674b632645a5952770356ebda3ff/ABB\\_WhitePaper\\_Drive-Based\\_FI\\_3AUA0000188876.pdf](https://library.e.abb.com/public/643a674b632645a5952770356ebda3ff/ABB_WhitePaper_Drive-Based_FI_3AUA0000188876.pdf). Luettu 25.3.2021.

16. Riskienhallintaprosessi. 2021. Verkkoaineisto. Valtiovarainministeriö.  
<https://vm.fi/documents/10623/307569/Liite+4+-+riskienhallintapro-sessi/49bd38d1-1208-450f-bcd3-202c12976d61/Liite+4+-+riskienhallinta-prosessi.pdf>. Luettu 29.3.2021.
17. Perusstandardit. 2020. Verkkoaineisto. Metsta. <https://metsta.fi/koneturval-lisuuden-standardit-metsta/standardisointi/perusstandardit/>. Luettu 27.5.2021
18. Safety Integrity Level (SIL). 2021. Verkkoaineisto. PILZ.  
<https://www.pilz.com/fi-FI/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iec-62061>. Luettu 20.4.2021.
19. Performance Level (PL). 2021. Verkkoaineisto. PILZ.  
<https://www.pilz.com/en-INT/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>. Luettu 20.4.2021.
20. FSO-21 safety functions module user's manual. 2019. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. [https://library.e.abb.com/public/7bd26fd948e64900b29b5a8f95a66626/EN\\_FSO-21\\_UM\\_E\\_A5.pdf](https://library.e.abb.com/public/7bd26fd948e64900b29b5a8f95a66626/EN_FSO-21_UM_E_A5.pdf). Luettu 7.4.2021.
21. FSO-12 safety functions module user's manual. 2019. Sisäinen verkkoaineisto. ABB. [https://library.e.abb.com/public/cc5e3ebd61f34f8badc1af7d1019cf97/EN\\_FSO-12\\_UM\\_H\\_A5.pdf](https://library.e.abb.com/public/cc5e3ebd61f34f8badc1af7d1019cf97/EN_FSO-12_UM_H_A5.pdf). Luettu 2.3.2021.
22. Typical safety functions. 2021. Verkkoaineisto. ABB.  
<https://new.abb.com/drives/functional-safety/typical-safety-functions>. Luettu 12.2.2021.
23. Technical description. 2014. Verkkoaineisto. ABB [https://library.e.abb.com/public/8db8aff5a0a51046c1257dc60055fb10/17362\\_TD-](https://library.e.abb.com/public/8db8aff5a0a51046c1257dc60055fb10/17362_TD-)

POUS\_ACS850\_STO\_EN\_3AUA0000172915\_RevA\_lowres.pdf. Luettu 5.4.2021.

24. Prevention of unexpected start-up (option +Q950) for ACS880 multidrives. 2019. Verkkoaineisto. ABB. [https://library.e.abb.com/public-e466d08d2290444aadc7fb171d47e88f/EN\\_ACS880\\_MD\\_Q950\\_UM\\_F\\_A4.pdf](https://library.e.abb.com/public/e466d08d2290444aadc7fb171d47e88f/EN_ACS880_MD_Q950_UM_F_A4.pdf). Luettu 7.4.2021.
25. SFS-EN 61508-1. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. 2011. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
26. SFS-EN ISO 13849-1. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. 2015. Helsinki: Suomen standarditoimisto SFS.
27. SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 2010. Helsinki: Suomen standarditoimisto SFS.
28. SFS-EN 60204-1. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. 2018. Helsinki: Suomen standarditoimisto SFS.
29. 1135/2016. Sähköturvallisuuslaki. 2016. Helsinki: Finlex.
30. Materials testing Dielectric Strength Testing. 2021. Verkkoaineisto. Element. <https://www.element.com/materials-testing-services/dielectric-strength-testing>. Luettu 28.4.2021.