

# RTG nostotoiminnon ylinopeussuojaus



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö  
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Syksy, 2023

Jani Kärnä

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä Jani Kärnä

Työn nimi RTG nostotoiminnon ylinopeussuojaus

Ohjaaja Mika Oinonen

Tiivistelmä

Vuosi 2023

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa toimintakuvaus RTG:n nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toiminnasta tilaajayritys Konecranes Oyj:lle. Toimintakuvauksen tuottaminen lähti yrityksen tarpeesta lisätä tietoisuutta nosturin toiminnoista ja saada läpinäkyvyyttä. Lisäksi dokumentteja voidaan käyttää jatkossa hyväksi uusien työntekijöiden perehdytyksessä. Opinnäytetyössä olevan nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toiminnan kuvaamisen lisäksi yritykselle tuotettiin varsinainen toimintakuvaus PDF-muodossa, mikä on lisätty opinnäytetyön liitteeksi 1. PDF-muotoinen toimintakuvaus tullaan tallentamaan yrityksen tietojärjestelmään sisäisesti kaikkien saataville.

Työn alussa selvitettiin ensin aiheeseen liittyvää teoriaa, kuten Konedirektiivi 2006/42/EY sekä SFS-EN ISO 12100:2010 *Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen*. Lisäksi käytiin yleisesti läpi riskien pienentämistä ja turvatoiminnon suoritustason arvioimista standardin SFS-EN ISO 13849-1:2023 *Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat* avulla. Myös pukkinosturin valmistukseen liittyvää standardia SFS-EN 15011 – *Nosturit. Silta- ja pukkinosturit* tutkittiin työn alussa.

Työssä käytiin läpi Konecranesissa käytettävien toimintakuvausten rakennetta. Samalla havainnollistettiin kuvien avulla dokumenttien rakenteen muodostumista yrityksen tietojärjestelmässä.

Opinnäytetyön keskeisenä sisältönä tutkittiin, miten noston ylinopeussuojaus toimii. Työssä käytiin läpi ylinopeussuojauksen toiminta nykytilanteessa ja sen jälkeen ylinopeussuojauksen toiminta kahden turvaenkooderin avulla toteutettuna. Myös toteutusten välisiä eroja arvioitiin. Työssä keskityttiin pääasiassa turvaenkooderitoteutukseen, koska sen toimintakuvausta ei aiemmin ole tuotettu.

Olennainen osa työtä oli turvaenkooderin testaus. Turvaenkooderia ei aikataulun vuoksi päästy testaamaan ihan täysimittaisesti. Testivaihe antoi kuitenkin hyvän työelämälähtöisen kuvan siitä, mitä komponentin ja toiminnon testivaiheessa tehdään, mitä se vaatii ja millaisia ongelmia testauksessa voi ilmetä. Testauksessa ilmenneisiin ongelmiin löydettiin ja esiteltiin myös ratkaisut.

---

The purpose of this thesis was to create a functional description of the hoist overspeed protection function of an RTG for the commissioner of this thesis, Konecranes PLC. The creation of the functional description stemmed from the company's need to increase awareness of the crane's functions and to achieve transparency. The documents are also useful in the orientation of new employees. In addition to the description of the hoist overspeed protection in this thesis, a functional description is created in PDF form and included as appendix 1. The functional description PDF will also be stored in the company's internal information system available for all.

Relevant theory, such as the Machinery Directive 2006/42/EY and machine safety standard SFS-EN ISO 12100:2010 – *Safety of machinery. General principles for design. Risk assessment and risk reduction* were explored at the beginning of the work. Risk reduction and performance level assessment were also explored using machine safety standard SFS-EN ISO 13849 – *Safety of machinery. Safety-related parts of control systems. Part 1: General principles for design*. The regulation of bridge and gantry crane manufacturing SFS-EN 15011 is also explored in the first part of this thesis.

The structure of the functional descriptions used in Konecranes were examined. Images were used to help understand the forming of the document structures in the company's information system.

The essential point was to describe how the hoist overspeed function works. The current implementation of the overspeed protection was first investigated and then the implementation using two safety rotary encoders. The differences between the different implementations were assessed. The work focused mainly on the safety encoder implementation functional description, as one had not been written previously.

An essential part of this thesis was the testing of the safety encoder. The safety encoder could not be fully tested due to time constraints. However, the testing provided a practical insight into what is done during the component and function testing phase, what it requires, and the kind of issues that may arise in testing. Solutions to the issues identified during the testing were found and also presented.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Konedirektiivi 2006/42/EY .....	2
2.1	Soveltaminen ja määritelmät .....	2
2.2	Vaatimukset koneen markkinoille saattamisesta ja käyttöön ottamisesta .....	3
3	Standardit .....	3
3.1	Standardin rakenne .....	4
3.2	Standardien hierarkia .....	5
3.3	Standardointi Suomessa ja maailmalla .....	6
3.4	Standardien harmonisointi .....	7
3.5	Satamanostureihin liittyviä oleellisia standardeja .....	8
4	Koneturvallisuus .....	9
4.1	Riskin arviointi .....	9
4.2	Turvatoiminnon suoritustaso .....	10
5	Kumipyöräpukkinosturi RTG .....	11
5.1	RTG:n rakenne .....	11
5.2	Noston rakenne .....	13
6	Toimintakuvaukset Konecranesilla .....	15
6.1	Toimintakuvauksen rakenne .....	16
6.2	Toimintakuvauksen muodostuminen tietojärjestelmässä .....	17
7	Nostotoiminnon ylinopeussuojaus .....	19
7.1	Jarrutyypit .....	20
7.2	Nostotoiminnon ylinopeussuojauksen nykyinen toimintaperiaate .....	20
7.3	Nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toimintaperiaate turvaenkooderilla toteutettuna .....	22
7.4	Toteutustapojen erot .....	26
7.5	Turvaenkooderin testaus .....	27
8	Pohdinta .....	28
	Lähteet .....	31

## **Kuvat, taulukot, kaaviot**

Kuva 1. Esimerkki standardin tunnuksesta (SFS, n.d.-b). .....	4
Kuva 2. Esimerkki standardien hierarkian A- ja B-tyyppien standardien perussisällöstä (SFS, 2016b, s. 3). .....	5
Kuva 3. RTG:n rakenne ja päämoduulit. Muokattu (Konecranes, 2022b).....	12
Kuva 4. RTG:n vaunu, jossa näkyy nostokoneisto. Muokattu (Konecranes, 2023b).....	14
Kuva 5. ALC:n moottorit ja niiden köydet. Muokattu (Konecranes, 2023b). .....	15
Kuva 6. Noston ylinopeussuojauksen rakenne sisällönhallintajärjestelmässä. ....	18
Kuva 7. Dokumentin päätason tärkeimmät parametrit. ....	18
Kuva 8. Turvaenkooderin sijainti köysitelan akselin päässä.....	22
Taulukko 1. Tärkeimmät F-parametrit ja niiden selitykset. ....	24
Taulukko 2. Tärkeimmät ohjelmistoparametrit ja niiden selitykset. ....	25

## **Liitteet**

Liite 1	Hoist overspeed protection functional description
---------	---

## 1 Johdanto

Työn tavoitteena on tuottaa toimintakuvaus RTG:n nostotoiminnon ylinopeussuojauksesta. Toiminnalliset ja tekniset kuvaukset ovat tärkeä osa yrityksen dokumentaatiota. Toimintakuvausten avulla erilaisia toimintoja voidaan esitellä sekä nykyisille, että uusille työntekijöille ja samalla saadaan lisättyä läpinäkyvyyttä ja tietoisuutta RTG:n toiminnoista. Työn toimeksiantaja Konecranes Oyj haluaa saattaa kumipyöräpukkinosturin turvatoimintojen toimintakuvaukset ajan tasalle. Konecranes on nostolaitteisiin erikoistunut yritys, joka valmistaa nostolaitteita konepaja- ja prosessiteollisuudelle, rakennusalalle, telakoille sekä satamille ja terminaaleille.

Opinnäytetyön alussa käydään läpi koneturvallisuuden liittyviä standardeja ja direktiivejä yleisesti. Näistä tärkeimpiä ovat Konedirektiivi 2006/42/EY sekä koneturvallisuusdirektiivi SFS-EN ISO 12100:2010. Lisäksi tutkitaan nosturin suunnitteluun ja valmistukseen liittyviä tärkeitä standardeja SFS-EN 13135 – *Nosturit. Turvallisuus. Suunnittelu. Laitteita koskevat vaatimukset* sekä SFS-EN 15011 – *Nosturit. Silta- ja pukkinosturit*.

Opinnäytetyössä kerrotaan Konecranesin toimintakuvauksista ja niiden tärkeydestä sekä havainnollistetaan toimintakuvauksen rakennetta ja muodostumista tietojärjestelmässä. Yrityksen toimintakuvaukset tuotetaan samoilla työkaluilla kuin käyttö- ja huolto-ohjeet, jolloin dokumenteista saadaan yhdenmukaisia.

Oleellisena osana työssä käydään läpi ensin nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toimintaperiaate nykytilanteessa sekä parametointi lyhyesti, jonka jälkeen kuvataan ylinopeussuojauksen toimintaa kahden absoluuttiturvaenkooderin avulla toteutettuna. Myös toteutustapojen eroja arvioidaan toteutusten kuvaamisen jälkeen. Työssä keskitytään kuitenkin pääasiassa turvaenkooderitoteutuksen toimintaan ja parametointiin, koska sen toimintakuvausta ei ole aiemmin tehty.

Turvaenkooderin testaus on tärkeä osa opinnäytetyötä, koska se antaa hyvän kuvan siitä, mitä komponentin ja sen toimintoon liittyvän PLC-ohjelman testauksessa tehdään. Testauksessa arvioidaan turvaenkooderin ja PLC-ohjelman toimintaa käytännössä.

## 2 Konedirektiivi 2006/42/EY

Konedirektiivi 2006/42/EY on perusta nykyisille koneturvallisuuden standardeille (SFS, 2016a, s. 2). Koneita koskevien vähimmäisvaatimusten mukaisesti koneen suunnittelun ja rakentamisen on vastattava koneasetuksessa määritellyjä olennaisia terveys- ja turvallisuusvaatimuksia. Valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008 säädetään eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2006/42/EY mukaisesti. (Tukes, n.d.)

Koneen valmistaja vastaa koneen vaatimustenmukaisuudesta. Maahantuojien ja jakelijoiden on osaltaan varmistettava koneiden vaatimustenmukaisuus. Työsuojeluviranomaisen tehtävä on valvoa ammattikäyttöön tarkoitettuja koneita. (Tukes, n.d.)

### 2.1 Soveltaminen ja määritelmät

Konedirektiivin soveltamisala ja tuotteet on määritelty konedirektiivissä. Konedirektiiviä sovelletaan direktiivin mukaan seuraaviin tuotteisiin:

- koneisiin
- vaihdettaviin laitteisiin
- turvakomponentteihin
- nostoapuvälineisiin
- ketjuihin, köysiin ja vöihin
- nivelakseleihin
- puolivalmisteisiin. (Konedirektiivi 2006/42/EY)

Konedirektiivissä (2006/42/EY) on määritelty, että:

koneella tarkoitetaan toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten.

Konedirektiivi määrittelee turvakomponentiksi komponentin, joka:

- toteuttaa turvatoiminnon
- on itsenäisesti saatettu markkinoille
- vikaantuessaan ja/tai toimintahäiriön takia vaarantaa henkilöiden turvallisuuden
- voidaan korvata tavanomaisella komponentilla ilman vaikutusta koneen normaaliin toimintaan. (Konedirektiivi 2006/42/EY)

## **2.2 Vaatimukset koneen markkinoille saattamisesta ja käyttöön ottamisesta**

Konedirektiivissä on määritelty koneen valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan vastuut ennen koneen markkinoille saattamista ja/tai käyttöönottoa. Koneen tulee täyttää olennaiset turvallisuus- ja terveysvaatimukset, joiden määrittelemiseksi on suoritettava riskin arviointi. (Konedirektiivi 2006/42/EY)

Koneesta on oltava käytettävissä tekninen rakennetiedosto, joka sisältää muun muassa koneen yleiskuvauksen, yleis- ja yksityiskohtaiset piirustukset, selvityksen riskin arvioinnista, käytetyt standardit sekä tekniset selosteet. Koneelle tulee suorittaa asianmukainen vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely sekä laatia EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus. (Konedirektiivi 2006/42/EY)

Koneeseen kiinnitetään näkyvälle paikalle CE-merkintä, joka osoittaa koneen vastaavan direktiivin vaatimuksia. CE-merkintä takaa koneelle vapaan liikkuvuuden ja käyttöön ottamisen EU:n ja ETA:n jäsenvaltioiden alueella. (Konedirektiivi 2006/42/EY)

## **3 Standardit**

Standardit kokoavat yhteen yhteisesti sovittuja vaatimuksia, suosituksia tai ominaisuuksia tuotteesta, sen valmistuksesta tai testauksesta. Standardien synty on yleensä seurausta markkinoiden toiveista ja tarpeista. Standardi perustuu yhteisymmärrykseen ja sen on hyväksynyt tehtävään tunnustettu elin. (SFS, n.d.-a)

Standardit pyrkivät parantamaan tuotteiden ja palveluiden laatua. Samalla tuotteiden turvallisuus ja yhteensopivuus kasvaa. Standardeja käyttävät kaikkialla niin pienet kuin isotkin yritykset ja organisaatiot, eivätkä standardit ole pelkästään viranomaisia varten, vaan ne hyödyttävät niin kuluttajia kuin yrityksiäkin. (SFS, n.d.-c)

Standardit voivat muodostaa sarjoja. Läheisesti toisiinsa liittyvät standardit muodostavat standardisarjan. Sarjojen avulla lukija löytää helposti samaan aiheeseen liittyvät standardit. (SFS, n.d.-a)

### 3.1 Standardin rakenne

Standardien pituus voi vaihdella, mutta rakenne pysyy aina samana. Standardin sisältöä on avattu esipuheessa ja johdannossa. Alun yleiskuvauksen jälkeen on kerrottu standardin soveltamisala sekä muut aiheeseen liittyvät standardit. Käytetyt termit ja niiden määritelmät listataan termit-osiossa. Lopuksi kerrotaan tarkat vaatimukset eli standardin ydin.

Vaatimusten jälkeen on vielä opastavaa sisältöä. (SFS, n.d.-a)

Kaikilla standardeilla on oma tunnus. Tunnuksen rakenne on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1. Esimerkki standardin tunnuksesta (SFS, n.d.-b).



Tunnuksen alussa on kirjaimin kerrottu millä alueella standardi on voimassa. Suomessa vahvistetussa standardissa on tunnus SFS, Eurooppalaiseksi vahvistetussa standardissa EN ja kansainvälisesti vahvistetussa tunnus ISO. Mikäli kirjainyhdistelmiä on tunnuksesta useita, standardi on voimassa kaikilla näillä alueilla. Alueen jälkeen tulee standardin yksilöivä numero. Standardin tunnuksen lopussa oleva vuosiluku kertoo standardin vahvistamisvuoden. (SFS, n.d.-a)

### 3.2 Standardien hierarkia

Koneita suunniteltaessa turvallisuussuunnittelun ja riskin pienentämisen perusperiaatteet tulee olla yhtäläiset. Koneturvallisuuden standardit voivat koskea koneen tai sen osajärjestelmän rakennetta, tai niissä voidaan esittää menetelmiä mittausten tai mittaustulosten raportoimiseksi yksityiskohtaisesti turvallisuusvaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi. Standardien laadintaprosessin nopeuttamiseksi konedirektiiviin liittyvät turvallisuusstandardit on jaoteltu kolmeen portaaseen hierarkian mukaan. Standardien hierarkian A- ja B-tyyppien standardien perussisältö on esitetty kuvassa 2. (SFS, 2016a, ss. 3-4)

Kuva 2. Esimerkki standardien hierarkian A- ja B-tyyppien standardien perussisällöstä (SFS, 2016b, s. 3).



A-tyyppien standardeissa määritellään koneturvallisuuden perusterminologia sekä riskin arvioinnin ja turvallisuussuunnittelun periaatteet. Tärkeä A-tyyppien standardi on SFS-EN ISO 12100 – Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen, jota soveltamalla voidaan noudattaa edellä mainittuja vaatimuksia. (SFS, 2016a, ss. 3-4) Standardia SFS-EN ISO 12100 käytetään konesuunnittelun yleisenä perustana ja se auttaa yhdenmukaistamaan B- ja C-tyyppien standardeja (SFS, 2010, s. 5).

B-tyyppin standardeissa käsitellään suunnittelijoiden tarvitsemia perustietoja. Näihin kuuluvat muun muassa melun ja värinän hallinta ja mittaus, ergonomia, turvalaitteet, suojaukset, kulkutiet sekä turvaetäisyydet. (SFS, 2016a, s. 3)

C-tyyppin standardeissa käsitellään koneiden tai koneryhmien yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia. Nämä turvallisuusvaatimukset toteutetaan osittain viittaamalla A- tai B-tyyppin standardeihin. (SFS, 2016a, s. 3)

Koneen suunnitteluvaiheessa tulee aina ensin selvittää, löytyykö suunniteltavaa konetta koskevaa C-tyyppin standardia valmiiksi. Olemassa oleva C-tyyppin standardi ohjaa viittausten avulla suunnittelussa mahdollisesti tarvittaviin A- ja B-tyyppin standardeihin C-tyyppin standardeissa olevien vaatimusten lisäksi. Terveys- ja turvallisuusvaatimusten täyttymiseksi C-tyyppin standardi esittää yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset tuotekohtaisesti. (SFS, 2016a, s. 3)

Konedirektiivin 2006/42/EY mukaan riskin arvioinnin tekeminen on pakollista. C-tyyppin standardia noudatettaessa riskin arvioinnin laajuus on suppeampi, koska C-tyyppin standardia laadittaessa riskin arviointi on jo suoritettu. Tällöin tulee varmistaa, että suunniteltavaa tuotetta koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset täyttyvät C-tyyppin standardissa. Riskin arviointi tehdään vain sellaisten vaarojen osalta, joita C-tyyppin standardi ei kata. C-tyyppin standardin puuttuessa käytetään suoraan A- ja B-tyyppin standardeja ja riskin arvioinnissa sovelletaan A-tyyppin standardeja. (SFS, 2016a, ss. 3-4)

### **3.3 Standardointi Suomessa ja maailmalla**

Suomessa standardoinnin keskusjärjestönä toimii Suomen standardisoimisliitto SFS ry. SFS jakaa standardointityötä eri toimialojen standardointiryhmille. Suomessa valtaosa standardeista, noin 97 %, on kansainvälistä alkuperää. Suomalaisilla standardeilla voidaan tukea kansainvälisiä standardeja, tai niitä voidaan tehdä pelkästään Suomessa käytettäviksi. Mikäli suomalaisella standardilla nähdään tarvetta Suomen ulkopuolella, standardista voi tulla myös kansainvälinen. (SFS, n.d.-e)

SFS seuraa eurooppalaista standardointiorganisaatiota (CEN = European Committee for Standardization) sekä maailmanlaajuisia standardointijärjestöä (ISO = International Organization for Standardization). Kaikkien CEN:iin kuuluvien jäsenmaiden tulee vahvistaa kansallisesti kaikki eurooppalaiset standardit eikä mikään standardi saa olla niiden kanssa ristiriidassa. Suomalaisia standardointiryhmiä osallistuu myös eurooppalaiseen standardointiryhmään, jossa toimii yli 300 teknistä komiteaa. (SFS, n.d.-e)

Euroopan sähköalan standardoimisjärjestö (CENELEC = European Committee for Electrotechnical Standardization) laatii eurooppalaiset sähköalan standardit. Eurooppalaisista sähköalan standardeista 75 % perustuu kansainvälisen sähköalan standardointijärjestön (IEC = International Electrotechnical Commission) laatimiin standardeihin. IEC:n ja CENELEC:in kansalliskomitea SESKO vastaa sähköalan standardoinnista Suomessa. (SFS, n.d.-e)

ISO on maailman laajin standardointijärjestö, jolla on jäsenenä kansallisia standardointijärjestöjä yli 160 maasta. Teknisiä komiteoita järjestöllä on noin 250:tä. Suomessa kansainvälisten ISO-standardien vahvistaminen on vapaaehtoista. ISO-standardeja tulee kuitenkin vahvistetuksi myös Suomessa, sillä eurooppalainen CEN vahvistaa osan ISO-standardeista eurooppalaisiksi EN-standardeiksi. Kuten aiemmin jo mainittiin, CEN:iin kuuluvien jäsenmaiden tulee vahvistaa kaikki eurooppalaiset standardit. ISO-standardin vahvistuksen jälkeen siitä tulee Suomessa SFS-EN ISO -standardi. (SFS, n.d.-e)

### **3.4 Standardien harmonisointi**

Harmonisoidut eli yhdenmukaistetut standardit ovat eurooppalaisia standardeja, jotka ovat Euroopan komission pyynnöstä eurooppalaisten standardointijärjestöjen CEN:in ja CENELEC:in vahvistamia. Yhdenmukaistamisella pyritään soveltamaan EU:n yhdenmukaistamislainsäädäntöä. (SFS, n.d.-d)

Yhdenmukaistetut standardit julkaistaan EN-standardeina ja ne saatetaan voimaan kansallisella tasolla, jolloin ristiriidassa olevat kansalliset standardit kumotaan.

Yhdenmukaistettujen standardien on tarkoitus kattaa kyseisen standardin olennaiset vaatimukset. (SFS, n.d.-d)

### 3.5 Satamanostureihin liittyviä oleellisia standardeja

Kappaleessa 3.2 *Standardien hierarkia* on mainittu A-tyyppin standardi SFS-EN ISO 12100 – *Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen*, joka on standardiryhmän perusta. Standardi määrittelee muun muassa seuraavaksi esiteltävät C-tyyppin standardit, jotka käsittelevät konekohtaisia turvallisuusstandardeja. (SFS, 2010, s. 5)

Standardin EN ISO 12100 tarkoittama C-tyyppin standardi SFS-EN 13135 – *Nosturit. Turvallisuus. Suunnittelu. Laitteita koskevat vaatimukset* määrittää kaikentyyppisten nostureiden vaatimukset, jotka koskevat sähkötekniikan, mekaanisten, hydraulisten ja pneumaattisten laitteiden suunnittelua ja valintaa. Standardi tarjoaa yhden toteutustavan konedirektiivin olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi, kun tavoitteena on henkilöstön suojaaminen vaaratekijöiltä. (SFS, 2013, ss. 4-5) Standardin kappaleessa 5 *Turvallisuusvaatimukset ja/tai suojaavat toimenpiteet* luvussa 5.7.2 *Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän toiminnot* mainitaan, että vaadittavaa suoritustasoa määriteltäessä muun muassa nostoliikkeeseen kuuluvien liikkeiden rajoitusta sekä nopeussäätöisten käyttöjen ylinopeuden hallintaa on käsiteltävä turvallisuuteen liittyviä toimintoja käsiteltäessä. (SFS, 2013, s. 42)

Konedirektiivin olennaisten terveyttä ja turvallisuutta koskevien vaatimusten täyttämiseksi on laadittu standardi SFS-EN 15011 – *Nosturit. Silta- ja pukkinosturit*, joka on standardissa EN ISO 12100 tarkoitettu C-tyyppin standardi. Standardia SFS-EN 15011 sovelletaan pyörillä kiskoja, ajoratoja tai ajoteitä pitkin liikkuviin silta- ja pukkinostureihin. Standardi määrittää vaatimukset vaarojen, vaaratilanteiden ja vaarallisten tapahtumien varalta kaikille silta- ja pukkinostureille valmistajan ennakoituissa olosuhteissa ja valmistajan tarkoittamalla tavalla. (SFS, 2020, ss. 4-5) Standardin SFS-EN 15011 kappaleessa 5 *Turvallisuusvaatimukset ja/tai suojatoimenpiteet* luvussa 5.3.4 *Ohjauspiirit ja ohjaustoiminnot* kerrotaan, että toimintojen, jotka liittyvät ohjausjärjestelmien turvallisuuteen on vähintään täytettävä standardin EN ISO

13849-1:2015 mukaisesti suoritustaso c, kun ohjausjärjestelmä on toteutettu elektroniikalla tai ohjelmoitavilla komponenteilla (SFS, 2020, s. 24).

## 4 Koneturvallisuus

Koneturvallisuudella tarkoitetaan koneiden ja laitteiden suunnittelua niin, että ne ovat tarkoitettussa käytössään turvallisia ja kykenevät suorittamaan niille tarkoitettut toiminnot elinkaarensa aikana. Standardi SFS-EN ISO 12100 määrittelee peruskäsitteet, periaatteet ja menetelmät, joiden avulla saavutetaan turvallisuus koneita suunniteltaessa. (SFS, 2010, ss. 5-6)

Standardi määrittelee ne periaatteet, joiden avulla riskit arvioidaan ja niitä voidaan pienentää turvallisia koneita suunniteltaessa. Aiempi kokemus koneiden suunnittelusta, tapaturmista ja riskeistä sekä normaalista käytöstä yhdessä tietämyksen kanssa ovat standardin periaatteiden perusta. (SFS, 2010, s. 6)

### 4.1 Riskin arviointi

Riskin arviointi on iteratiivinen prosessi, jossa suoritetaan seuraavat toimenpiteet järjestyksessä:

1. määritetään koneen raja-arvot sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö
2. tunnistetaan vaarat ja vaaratilanteet
3. arvioidaan riskin suuruus sekä vamman tai terveyshaitan vakavuus ja todennäköisyys
4. arvioidaan tarve riskin pienentämisen tarpeesta
5. sovelletaan suojaustoimenpiteitä vaarojen poistamiseksi tai pienentämiseksi.

Riskin arvioinnin loogisesti etenevät vaiheet mahdollistavat koneisiin liittyvien riskien järjestelmällisen analysoinnin ja riskien merkityksen arvioinnin. (SFS, 2010, s. 14)

Riskin merkityksen arvioinnin lisäksi riskin arviointiin kuuluu riskianalyysi, joka sisältää:

- koneen raja-arvojen määrittämisen
- vaarojen tunnistamisen
- riskien suuruuden arvioinnin.

Riskianalyysin avulla voidaan päättää riskin pienentämisen tarpeesta ja päätöksen tueksi tarvitaan määrällinen ja laadullinen arvio koneen aiheuttamiin vaaroihin liittyvistä riskeistä. (SFS, 2010, s. 17)

## 4.2 Turvatoiminnon suoritustaso

Koneiden turvallisuutta koskevat standardit perustuvat toiminnalliseen turvallisuuteen, joita on valmisteltu ja edelleen valmistellaan eri aloille. Toiminnallisen turvallisuuden vaatimustaso kaikissa standardeissa riippuu pienennettävän riskin suuruudesta. Turvallisuuden varmistamisen menetelmät antavat hyvät lähtökohdat turvallisen koneen suunnitteluun sekä riittävät perusteet vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen. (METSTA, 2019, s. 18)

Toiminnallisen turvallisuuden vaatimustason (SIL = Safety Integrity Level) mittaamiseksi on luokiteltu neljä tasoa SIL1...4, joista SIL 1 on matalin ja SIL 3 korkein. Neljättä tasoa ei käytetä koneiden yhteydessä. Konejärjestelmien turvallisuuden mittaamiseksi käytetään viisiportaista suoritustasoa PL a...e (PL = Performance Level), jossa PL a on matalin ja PL e korkein. (METSTA, 2019, ss. 18-19)

Koneiden vikatarkastelut perustuvat vika-analyyseihin ja luotettavuuslaskenta perustuu valmiisiin luotettavuuslaskennan kaavoihin, jotka esiintyvät standardissa IEC 61508. Näistä hyötyvät sähköisten ja elektronisten ohjausjärjestelmien ja niiden komponenttien sekä ohjelmistojen suunnittelijat ja toteuttajat, sillä standardi ISO 13849-1 sisältää valmiiksi laskettuja malleja tyypillisille turvatoimintoja toteuttaville arkkitehtuureille yksinkertaistetun menetelmän avulla. (METSTA, 2019, ss. 19-20)

## 5 Kumipyöräpukkinosturi RTG

RTG (Rubber Tired Gantry = kumipyöräpukkinosturi) on konttien siirtoon suunniteltu nosturi, jota käytetään satamissa ja konttiterminalleissa (Konecranes, 2023a). RTG:tä valmistetaan 8- ja 16-pyöräisinä versioina. RTG voi olla leveydeltään 5–8 konttiriviä, jonka lisäksi on kaista kuorma-autolle. (Konecranes, 2022a, s. 6)

RTG:n korkeus ilmoitetaan konttien määränä, jonka yli nosturi pystyy vielä nostamaan yhden kontin. Tyypillinen korkeus vaihtelee yksi-yli-kolmesta (1-over-3) yksi-yli-kuuteen (1-over-6) konttiin, jolloin nosturi kykenee nostamaan kontin kuuden kontin korkuisen konttipinon yli. (Konecranes, 2022a, s. 2) Suurin nostokapasiteetti voi olla jopa 65 tonnia (Konecranes, 2023a).

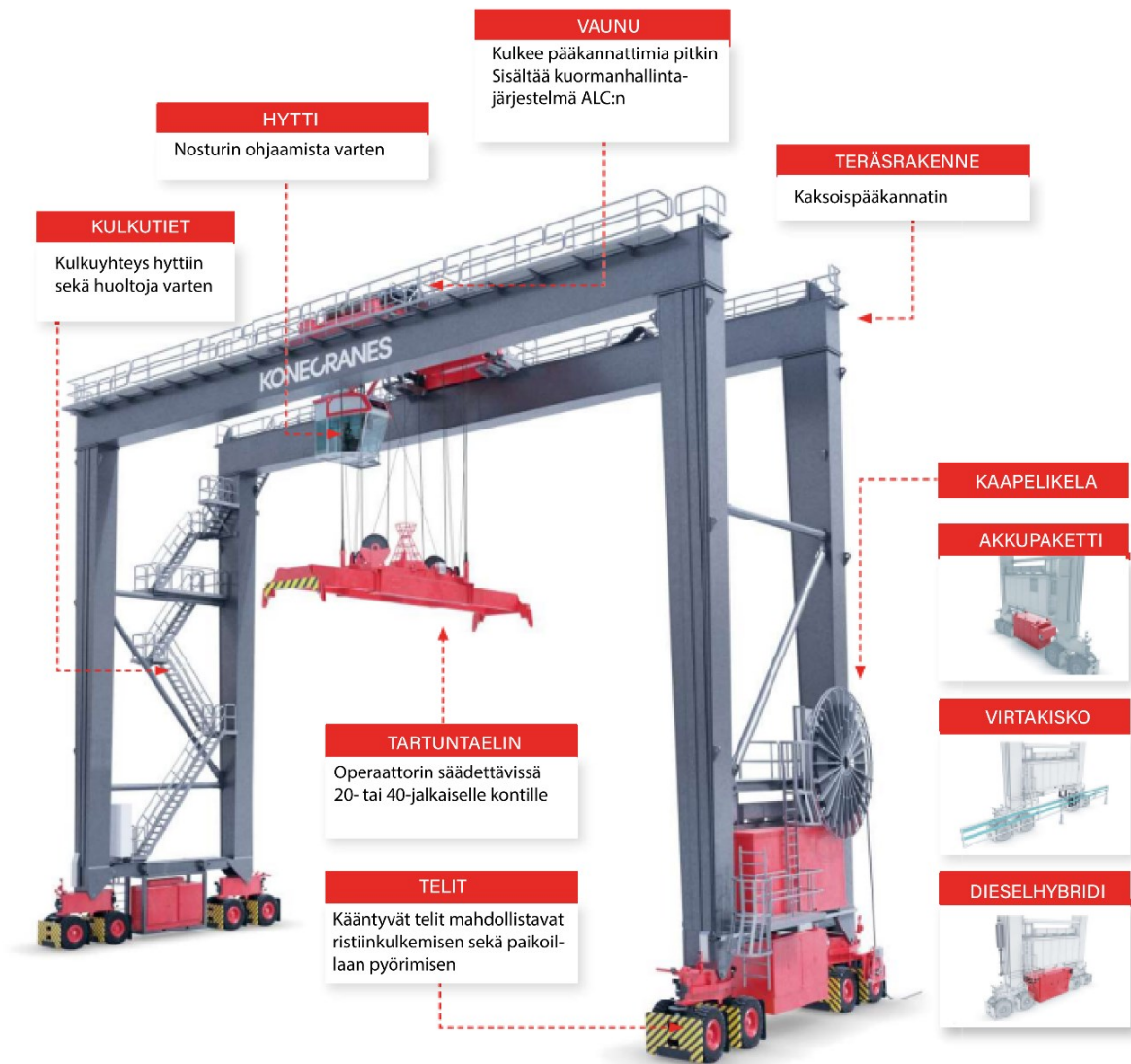
### 5.1 RTG:n rakenne

RTG:n rakenne koostuu seuraavista päämoduuleista:

- teräsrakenne ja kulkutiet
- vaunu ja hytti sekä tartuntaelin
- telit
- voimanlähde.

Voimanlähteenä RTG:ssä voi olla dieselgeneraattori, kaapelikela, virtakisko eli busbar. Myös akkukäyttöisiä dieselhybridejä valmistetaan. RTG:n rakenne ja päämoduulit on havainnollistettu kuvassa 3. (Konecranes, 2022a)

Kuva 3. RTG:n rakenne ja päämoduulit. Muokattu (Konecranes, 2022b).



Nosturin perustana on teräsrakenne. Nosturi liikkuu teleissä olevien kumipyörien varassa, joita on normaalisti 16 kappaletta. Nosturin telit voidaan kääntää poikittain (cross-driving mode), jolloin nosturia voidaan ajaa ristisuunnassa. Telit voidaan myös kääntää pyörimisasentoon (turning mode), jolloin nosturi voi pyöriä paikoillaan keskipisteensä ympäri. Pysäköintitilassa (parking mode) joka toinen teli käännetään poikittain. (Konecranes, 2023a)

RTG:n teräsrakenteessa on kaksi pääkannatinta, joiden varassa kulkee vaunu. Vaunussa sijaitsee kaikki noston pääkomponentit, sekä hytti, josta nosturia ohjataan. (Konecranes, 2023a)

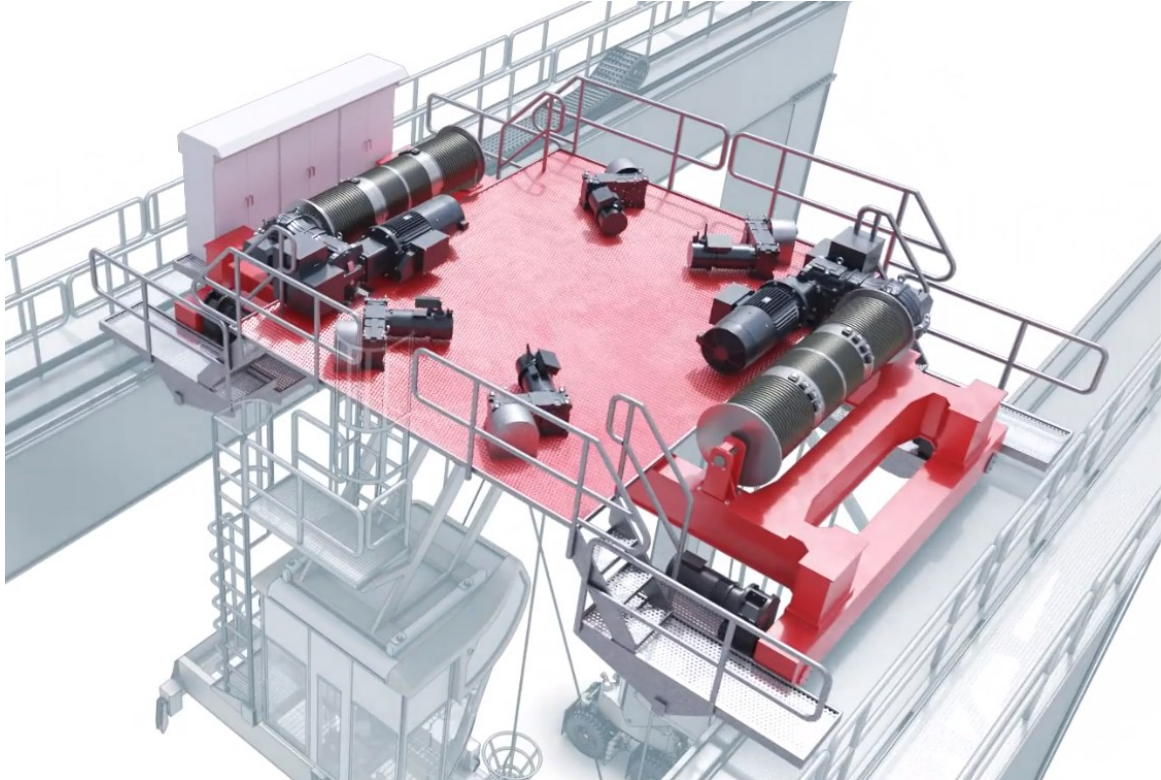
Käyttövoiman nosturi saa yleisimmin kaapelikelasta, dieselgeneraattorista tai virtakiskosta. Kaapelikelasta tai virtakiskosta käyttövoimansa saavassa nosturissa voi olla lisäksi myös dieselgeneraattori, jonka avulla nosturi saa käyttövoimansa esimerkiksi silloin, kun nosturia siirretään alueelta toiselle, tai huoltoalueelle. (Konecranes, 2012)

Teräsrakenteissa olevia kulkuteitä pitkin operaattori nousee hyttiin, josta nosturia ohjataan ajon aikana. Kulkuteitä pitkin myös huoltohenkilöstö pääsee suorittamaan huolto- ja kunnossapitotöitä eri puolille nosturia. (Konecranes, 2023a)

## **5.2 Noston rakenne**

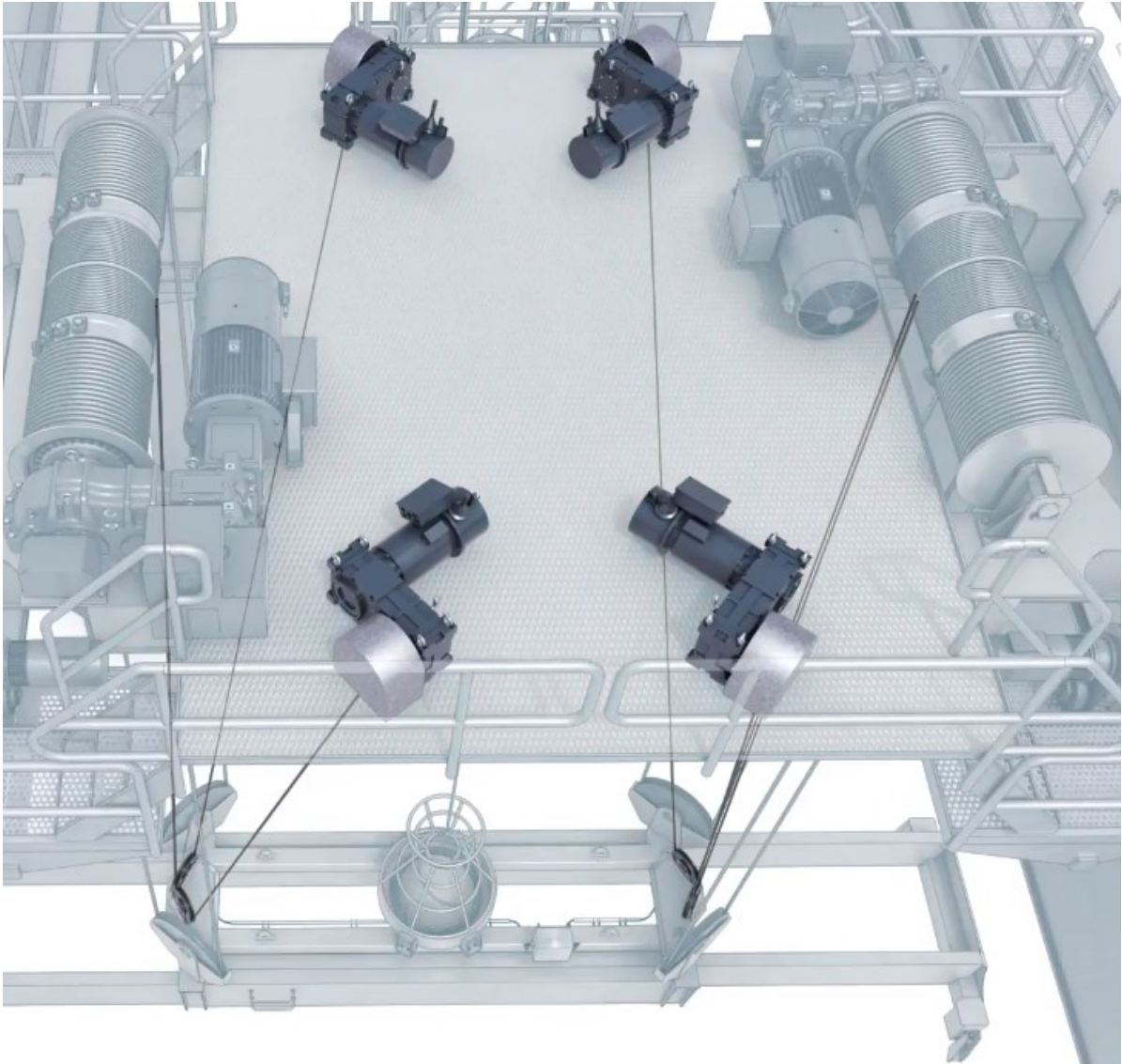
Nostoköysiä liikutetaan kahden sähkömoottorin avulla, jotka ovat vaihdelaatikoiden kautta kytketty kahteen köysitelaan. Kuvassa 4 nähdään RTG:n vaunun yleiskuva, jossa näkyy köysitelat ja niiden moottorit sekä vaihdelaatikot. Toinen tela nostaa kuormaa vasemmasta ja toinen tela oikeasta reunasta hyttistä katsottuna. Nostoköysillä liikutellaan tartuntaelintä, jolla tartutaan kiinni konttiin. (Konecranes, 2023a)

Kuva 4. RTG:n vaunu, jossa näkyy nostokoneisto. Muokattu (Konecranes, 2023b).



Nostoelimeen on yhdistetty myös aktiivisen kuormanhallinnan (ALC = Active Load control) neljä moottoria omilla köysillään. ALC:n moottorit ja niiden köydet on havainnollistettu kuvassa 5. ALC estää kontin huojuntaa nosturin tai vaunun liikkuesssa ja sen avulla voidaan hienosäätää kontin asentoa liikuttamatta vaunua tai nosturia. (Konecranes, 2022a)

Kuva 5. ALC:n moottorit ja niiden köydet. Muokattu (Konecranes, 2023b).



## 6 Toimintakuvaukset Konecranesilla

Toimintakuvauksen tarkoitus on selittää mitä jokin prosessi, projekti tai toiminto pitää sisällään. Se auttaa organisaatiota tai tiimejä sen sisällä ymmärtämään, miten tietty toiminto suoritetaan ja mitä resursseja ja vaiheita siihen liittyy. Toimintakuvaus tarjoaa selkeän ja yksityiskohtaisen kuvauksen toiminnosta.

Toimintakuvauksilla on keskeinen rooli organisaation tehokkuuden, yhtenäisyyden ja läpinäkyvyyden varmistamisessa. Se auttaa myös uusia työntekijöitä sisäistämään tiedon nopeammin. Konecranesilla toimintakuvauksia on tuotettu toiminnoista, joiden tekemiseen

on löytynyt aikaa ja resursseja. Tämän työn ja jatkossa tehtävien toimintakuvausten myötä tietoisuus organisaatiossa tulee lisääntymään.

## 6.1 Toimintakuvauksen rakenne

Toimintakuvauksen rakenne voi vaihdella kohteen mukaan. Kuvauksessa on yleensä sama perusrakenne, mutta monimutkaisempien toimintojen kohdalla rakenteeseen voi tulla lisää sisältöä. RTG:n yksittäisiin toimintoihin liittyvien toimintakuvausten perusrakenne on yleensä seuraava:

- etusivu
- sisällysluettelo
- versiohistoria
- esittelykappale
- komponentti tai komponentit
- toiminnon kuvaus.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä on tuotettu noston ylinopeussuojauksen toimintakuvaus Hoist overspeed protection functional description (liite 1). Liitteestä nähdään varsinaisen toimintakuvauksen rakenteen noudattavan RTG:n toimintakuvauksen rakennetta.

Dokumentin etusivulla (Cover page) on otsikko, joka kertoo dokumentin aiheen. Lisäksi etusivulla voi olla aiheeseen sopiva kuva. Dokumentin sisällysluettelo (TOC = Table Of Contents) muodostuu automaattisesti dokumentissa käytettyjen otsikoiden mukaan. Versiohistoriaan (Revision history) kirjataan dokumentin ensimmäisen vedoksen luontipäivä, valmiin version valmistumispäivä sekä jatkossa mahdolliset muutokset, joita dokumenttiin tehdään valmistumisen jälkeen.

Esittelyosa (Introduction) tutustuttaa lukijan dokumentissa käsiteltävään aiheeseen ja kuvaa lyhyesti, mitä esimerkiksi jonkin toiminnon on tarkoitus tehdä. Esittelyosan jälkeen voidaan kertoa kyseiseen toimintoon liittyvistä komponenteista, tai käydään läpi muita oleellisia tietoja, joiden avulla lukija ymmärtää toimintakuvauksen paremmin.

Dokumentissa yleensä viimeisenä löytyy varsinainen toiminnon kuvaus (Functional description), jossa käydään läpi jonkin toiminnon toimintaperiaate yksityiskohtaisesti. Monimutkaista toimintoa kuvaillessa osio voi olla pitkäkin. Toimintakuvausten sisällön ymmärtämiseksi kuvaukseen pyritään lisäämään havainnollistavia kuvia, mikäli se on mahdollista.

## 6.2 Toimintakuvausten muodostuminen tietojärjestelmässä

Dokumenttien yhdenmukaisuuden varmistamiseksi toimintakuvausten tekemiseen käytetään samaa sisällönhallintajärjestelmää kuin käyttö- ja huolto-ohjeissakin. Dokumentin sisältö muodostetaan rakenteisen XML:n avulla ja se noudattaa DITA-standardia (Darwin Information Typing Architecture), joka on teknisen dokumentaation tuottamiseen, hallintaan ja julkaisemiseen tarkoitettu arkkitehtuuri.

Rakenteinen XML mahdollistaa dokumentin sisällön muodostamisen pienempinä aihekokonaisuuksina, joita voi uudelleen käyttää toisissa dokumenteissa. Dokumentin yksittäisiä osia kutsutaan otsikoiksi (topic). Otsikoita voi suoraan ottaa käyttöön toisissa dokumenteissa, jolloin kaikki muutokset näkyvät jokaisessa dokumentissa, jossa kyseinen otsikko on käytössä. Dokumentin otsikoita, tai koko dokumentin (DITA map) voi myös kopioida (duplicate) toiseen dokumenttiin. Kopioidessa kyseisen otsikon sisältö liitetään sellaisenaan toiseen dokumenttiin, mutta muutokset jatkossa vaikuttavat ainoastaan kopioituun otsikkoon. Koko dokumentin (DITA map) voi myös kopioida. Koko dokumentin kopiointi on hyödyllistä silloin, kun sitä halutaan käyttää pohjana luotaessa uutta dokumenttia.

Kuvassa 6 on havainnollistettu, miltä noston ylinopeussuojauksen toimintakuvausten (liite 1) rakenne näyttää sisällönhallintajärjestelmässä. Vasemmalla on otsikoiden nimet rakenteessa, oikealla on otsikoita vastaavat nimet, jotka näkyvät valmiissa dokumentissa.

Kuva 6. Noston ylinopeussuojauksen rakenne sisällönhallintajärjestelmässä.

Publication Line	Document Title
X987500/A;1-Hoist overspeed protection (FD)	Hoist overspeed protection
X903656/A;1-Tech/Funct Description cover page	FD/TD description
X772212/F;1-New support topic	New support topic
X1006806/A;1-Revision history	Revision history
X987506/A;1-Hoist overspeed protection (FD)	Hoist overspeed protection
X987507/A;1-Introduction (Hoist overspeed protection)	Introduction
X987678/A;1-Safety encoder (Hoist overspeed protection)	Safety encoder
G10145736/A;1-po_rtg_hoist_overspeed_protection_encoder	
X1003647/A;1-Parameterization (FD) (hoist overspeed protection)	Parameterization
X987684/A;1-Functional description (Hoist overspeed protection)	Functional description

Kuvassa *Publication Line* näyttää dokumentin päätason (DITA map) ja sen alla olevat otsikot (topicit). Dokumentin päätaso toimii eräänlaisena varastona, johon koko dokumentti kerätään. Oikeassa yläkulmassa oleva *Document Title* näyttää kyseisen otsikon valmiissa dokumentissa näkyvän otsikon nimen. Valmiissa dokumentissa näkyy kaikki kuvassa *Publication Line* alla näkyvät otsikot, pois lukien ylimpänä näkyvä päätaso sekä *New support topic*, joka liitetään mukaan tuomaan dokumenttiin oikeat muotoilut. *Safety encoder (Hoist overspeed protection)* -otsikon alla oleva objekti on kyseisen otsikon alla dokumentissa näkyvä kuva.

Dokumentin pääotsikko sekä muita oleellisia tietoja määritetään päätason ominaisuuksissa parametreina. Kuvassa 7 nähdään osa noston ylinopeussuojauksen dokumentin päätason parametreista.

Kuva 7. Dokumentin päätason tärkeimmät parametrit.

Revision: A  
Name: Hoist overspeed protection (FD)  
Type: DITA Dynamic Map Revision  
Topic Type Reference: DITA Dynamic Map  
Document Title: Hoist overspeed protection  
Master Language Reference: English US  
Document Type: Functional Description  
Legacy ID:  
Is Internal (Y/N)?: True

Tärkeimmät parametrit ovat dokumentin pääotsikko (Document title), versio (Revision), kieli (Master Language reference), *Functional Description* -parametri, joka kertoo dokumentin tyyppin sekä *Is Internal* -parametri, jolla määritellään dokumentin sisältö ainoastaan organisaation sisäiseen käyttöön tarkoitetuksi. Liitteen 1 ensimmäisellä sivulla näkyy *Is internal* -parametrin asettama teksti "INTERNAL USE ONLY". *Name*-parametri on ainoastaan päätason nimi, jonka avulla esimerkiksi sisällönhallintajärjestelmän hakukone löytää dokumentin. *Name*-parametri ei näy valmiissa PDF-julkaisussa.

Koko dokumentista, tai vain sen yhdestä otsikosta voi muodostaa PDF-tiedoston. Ennen kuin dokumentti on julkaistu, PDF-tiedostossa on joka sivun taustalla draft-merkintä (vedos) sekä teksti *DO NOT DISTRIBUTE*. Draft-merkintä kertoo, että dokumenttia voi muokata, eikä sitä saa keskeneräisyyden takia jakaa käyttöön. Vedosta voidaan kuitenkin jakaa määritetyille henkilöille sisällön tarkistamista varten. Sisällöltään hyväksytty valmis dokumentti julkaistaan sisällönhallintajärjestelmän kautta ja julkaistaessa siitä muodostuu PDF-tiedosto.

Julkaistaessa dokumentin tila vaihtuu julkaistuksi eikä sitä enää pysty muokkaamaan. Samalla julkaistun dokumentin PDF-tiedostosta poistuu draft-merkintä. Julkaisun jälkeen muutosten tekeminen dokumenttiin onnistuu vain tekemällä dokumentista uusi versio, eli revisio, jolloin dokumentti aukeaa jälleen muokattavaksi. Revisioitu dokumentti pitää valmistumisen jälkeen julkaista uudelleen.

## 7 Nostotoiminnon ylinopeussuojaus

Nostotoiminnon ylinopeussuojauksen tarkoitus on estää kuorman vapaapudotus.

Molemmilla köysirummuilla on omat koneistot, joita ohjataan omilla taajuusmuuttajilla.

Noston moottoreiden vaihdelaatikoihin on kytketty käyttöjarrut. Valinnaisena lisävarusteena on saatavilla suoraan köysitelaan kytketyt hätäjarrut.

Kun nostoa ei liikuteta hetkeen, noston käyttöjarrut menevät kiinni. Ennen jarrujen kiinni menemistä nosto on parametroidun ajan verran niin sanotussa kelluvassa tilassa (Load Float function), jolloin kuorma pysyy paikoillaan pelkästään moottorien oman momentin avulla. Kellutus säästää jarrumekanismia turhalta kulumiselta, kun jarruja ei aktivoida lyhyiden nostoliikkeen pysähtymisien ajaksi.

Ylinopeustilanteessa jarrut aktivoidaan, jolloin ne pysäyttävät köysirummut. Mikäli nosturiin on asennettu lisävarusteena hätäjarrut, myös ne aktivoituvat ylinopeustilanteessa. Samalla pysäytetään noston moottorit asettamalla noston taajuusmuuttajien nopeuspyyntö nolnaan.

Parametrit ja parametrisointi ovat oleellinen osa komponentin toimintaa. Parametrien tarkempi käsittely ei yleensä kuulu yrityksessä tuotettaviin toimintakuvauksiin. Liitteenä 1 olevassa nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toimintakuvauksessa parametrintia käsitellään vain lyhyesti yleisellä tasolla. Tarkemmin parametrit käsitellään toiminnosta tehtävässä teknisessä kuvauksessa, mutta sitä ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

Parametrinti on kuitenkin otettu tähän työhön mukaan, koska se auttaa oleellisesti ymmärtämään työn sisältöä.

## **7.1 Jarrutyypit**

Käyttöjarruina käytetään kahta erilaista jarrutyyppiä: sähkömagneettinen levyjarru (electromagnetic disc brake) tai sähköhydraulinen työnninjarru (electrohydraulic thruster brake). Sähkömagneettiset levyjarrut ovat yleensä vakioratkaisu noston käyttöjarruiksi. Sähkömagneettiset levyjarrut ovat jousikuormitteiset ja ne aktivoituvat, kun niitä auki pitävältä sähkömagneetilta katkaistaan virta. Jarrujen aktivoituessa jousikuorma painaa jarrut jarrulevyä vasten.

Toisena jarrutyyppinä voidaan käyttää sähköhydraulisia työnninjarruja, jotka ovat myös jousikuormitteiset. Kun työnninjarruille syötetään virtaa, sähköhydraulinen mäntä työntyy ulos ja pitää jarrut auki. Työnninjarrut aktivoituvat, kun niitä auki pitävältä sähköhydrauliselta männältä katkaistaan virta. Tällöin männän varsi vetäytyy jousikuorman voimasta sisään painaen jarrut kiinni. Lisävarusteena saatavat hätäjarrut ovat tyyppisesti sähköhydrauliset työnninjarrut.

## **7.2 Nostotoiminnon ylinopeussuojauksen nykyinen toimintaperiaate**

Nostotoiminnon ylinopeussuojaus on toteutettu kahdella itsenäisesti toimivalla fyysisellä komponentilla, joissa on relelähtöjä. Käytetään jatkossa näistä komponenteista nimitystä

*ohjausyksikkö* tai *ohjausyksiköt*. *Ohjausyksiköt* ovat PROFinetin kautta yhteydessä ohjelmitavaan logikkaan, PLC:hen (PLC = Programmable Logic Controller). Kumpaankin köysitelan akseliin on kytketty absoluuttienkooderit, jotka ovat PROFinet-yhteydellä yhdistetty *ohjausyksiköihin*.

Toteutuksessa on kaksi erilaista ylinopeuden valvontaa: ylinopeusraja sekä suhteellinen nopeusvalvonta eli nopeusikkuna. Ylinopeusraja on parametreissa asetettu arvo, jonka ylityksestä ylinopeussuojaus aktivoituu. Suhteellisessa nopeusvalvonnassa kummankin köysitelan absoluuttienkooderilta saatavaa nopeustietoa verrataan *ohjausyksiköissä* PLC:ltä tulevaan nopeuspyyntöön. Ylinopeussuojaus aktivoituu, jos nopeusero on suurempi kuin parametroitu arvo. Sekä ylinopeusrajan ylitys, että suhteellisen nopeusvalvonnan arvon ylitys aktivoi ylinopeussuojauksen, jolloin noston jarrut sekä mahdollinen hätäjarru aktivoidaan katkaisemalla jarruilta virransyöttö. Samalla pysäytetään moottorit turvallisesti poistamalla niiltä momentti taajuusmuuttajan avulla (STO = Safe Torque Off) sekä asetetaan nopeuspyyntö nolnaan.

*Ohjausyksikkö* on relelähdestä kovajohdotettu suoraan turvalogiikalle. Ylinopeustilanteessa relelähtö antaa suoraan signaalin turvalogiikalle. Turvalogiikka pysäyttää moottorit turvallisesti poistamalla niiltä momentin taajuusmuuttajan avulla sekä aktivoi noston jarrut sekä mahdollisen hätäjarrun katkaisemalla jarruilta virransyötön. Ylinopeustilanteessa nostotoiminto on estetty kumpaankin suuntaan, kunnes ylinopeussuojaus on operaattorin toimesta kuitattu. Kuittaus tapahtuu painamalla vaunussa sijaitsevaa fyysistä painiketta.

Käydään seuraavaksi läpi lyhyesti *ohjausyksiköllä* toteutetun ylinopeussuojauksen parametointia. Koska tämä opinnäytetyö keskittyy pääasiassa nostotoiminnon ylinopeussuojauksen turvaenkooderitoteutukseen, käydään turvaenkooderin parametointia syvällisemmin läpi turvaenkooderitoteutuksesta kertovassa luvussa 7.3.

*Ohjausyksikkö* parametroidaan PLC:llä halutun nopeuden ja köysirummun halkaisijan mukaan. Köysirummun halkaisija lasketaan millimetreinä ja nopeus millimetreinä sekunnissa. Lisäksi määritetään seuraavat parametrit:

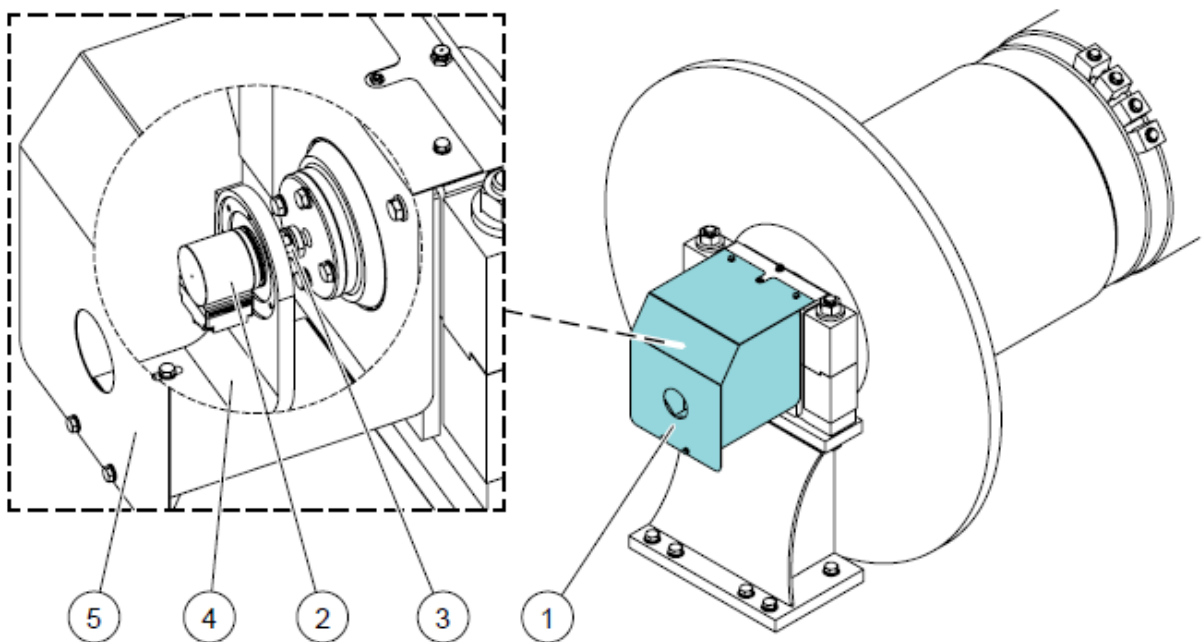
- ylinopeusarvo: nopeusarvo, jonka ylityksestä ylinopeussuojaus aktivoituu.

- nopeusikkuna: ylinopeussuojaus aktivoituu, jos mitattu nopeus ylittää nopeuspyynnön.
- seisonta-aika: aika pysähtyneenä, jonka jälkeen nosto tulkitaan paikoillaan olevaksi.
- seisonta-ajan hystereesi: suurin sallittu määrä liikettä ennen kuin nostoa ei enää tulkita paikoillaan olevaksi.

### 7.3 Nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toimintaperiaate turvaenkooderilla toteutettuna

Kummankin köysitelan akseliin on kytketty absoluuttiturvaenkooderi. Käytetään absoluuttiturvaenkooderista jatkossa nimitystä turvaenkooderi. Kuvassa 8 on havainnollistettu turvaenkooderikokoonpanon kiinnitys köysitelan akselilla. Molemmat turvaenkooderit ovat PROFIsafe-yhteydellä suoraan yhteydessä turvalogiikkaan.

Kuva 8. Turvaenkooderin sijainti köysitelan akselin päässä.



Kuvan 8 numeroiden selitykset:

1. enkooderikokoonpanon sijainti köysitelalla
2. turvaenkooderi

3. enkooderin ja akselin välinen kytkentä (coupling)
4. tukirauta
5. suojakotelo.

Turvaenkooderitoteutuksessa on kaksi erilaista ylinopeusvalvontaa: ylinopeusraja sekä dynaaminen nopeusvalvonta. Ylinopeusrajan valvonnassa PLC saa nopeusreferenssin noston moottoreiden taajuusmuuttajilta ja todellisen nopeuden turvaenkoodereilta. Jos noston nopeus saavuttaa asetetun ylinopeusrajan, turvalogiikka aktivoi noston jarrut nostoteloilla ja pysäyttää noston moottorit poistamalla niistä momentin taajuusmuuttajien avulla (STO = Safe torque Off) sekä asettamalla noston nopeuspyynnön nolnaan. Jos nosturi on varustettu hydraulisilla hätäjarruilla, myös ne aktivoituvat ylinopeustilanteessa.

Dynaamisessa ylinopeusvalvonnassa nostomoottorien taajuusmuuttajilta saatua nopeustietoa verrataan köysitelojen turvaenkoodereilta saatavaan todelliseen nopeuteen. Tästä nopeuksien erotuksesta käytetään laskennassa itseisarvoa, jota verrataan nopeusrajoitusarvoihin. Jos nopeusero taajuusmuuttajien nopeuspyynnöllä ja turvaenkooderien antamalla todellisella nopeudella on liian suuri, turvalogiikka aktivoi noston jarrut nostoteloilla ja pysäyttää noston moottorit poistamalla niistä momentin taajuusmuuttajien avulla (STO = Safe Torque Off) sekä asettaa noston nopeuspyynnön nolnaan. Ylinopeustilanteessa nostotoiminto on estetty kumpaankin suuntaan, kunnes ylinopeussuojaus on operaattorin toimesta kuitattu. Kuittaus tapahtuu painamalla vaunussa sijaitsevaa fyysistä painiketta.

Noston turvaenkooderit kalibroidaan PROFInetin kautta. Kalibroidessa nostoelin liikutetaan tasan yhden metrin korkeudelle ja varmistetaan, että se on täysin vaakatasossa. Kalibrointi tapahtuu painamalla ohjausjärjestelmän kalibrointinappia. Kalibroidessa turvaenkooderin paikkatietoarvoksi asetetaan parametreissa määrätty esiasetuspaikka.

Turvaenkooderit parametrisoidaan PLC:n kautta. Turvaenkooderissa on kolmenlaisia parametreja:

- F-parametrit

- I-parametrit
- ohjelmistoparametrit.

F-parametrit liittyvät turvaenkooderin kommunikointiin turvalogiikan kanssa. Taulukossa 1 on kerrottu tärkeimmät F-parametrit ja niiden selitykset.

Taulukko 1. Tärkeimmät F-parametrit ja niiden selitykset.

Parametri	Selite
F_SIL	Turvataso (SIL = Safety Integration Level)
F_Source_Add	Lähdelaitteen osoite. PROFIsafe-kommunikaatiossa kaikilla kenttälaitteilla tulee olla yksilöllinen osoite. Lähdelaitte on PLC:n osoite.
F_Dest_Add	Kohdelaitteen osoite. Kohdelaitteen osoitteen tulee olla yksilöllinen ja sen tulee vastata turvaenkooderissa olevaa fyysistä osoitevalitsinta.
F_iPAR_CRC	CRC-tarkistussumma (CRC = Cyclic Redundancy Check). I-parametrien tarkistussumma, joka lasketaan turvaenkooderin valmistajan tarjoamalla sovelluksella.

I-parametrit, jotka vaikuttavat turvaenkooderin ulostuloarvoihin kuten skaalaukseen, pyörimissuuntaan ja mittaustarkkuuteen. Tärkein I-parametri on Rotational direction, pyörimissuunta, joka määrittää turvaenkooderin positiivisen pyörimissuunnan, eteenpäin tarkoittaa myötäpäivään ja taaksepäin tarkoittaa vastapäivään.

Lisäksi turvaenkoodereita varten on vielä erikseen ohjelmistoparametrit, joita käytetään PLC-ohjelmassa. Nämä ohjelmistoparametrit määntyvät nosturin toimintojen ja määritysten mukaan ja ne tallennetaan PLC-ohjelmiston tietolohkoihin. Tärkeimmät ohjelmistoparametrit ja niiden selitykset on kerrottu taulukossa 2.

Taulukko 2. Tärkeimmät ohjelmistoparametrit ja niiden selitykset.

Parametri	Selite
mm_per_rev	Noston liikemäärä millimetreinä jokaista täyttä turvaenkooderin kierrosta kohti.
steps_per_rev	Turvaenkooderin askeleiden (steps) määrä yhtä täyttä kierrosta kohti.
preset_position	Esiasetuspaikka, joka asetetaan turvaenkooderin paikkatietoarvoksi, kun nosto kalibroidaan.
rope_mm10_per_rev	Nostoköyden liikemäärä, jonka nostoköysi liikkuu kymmenesosamillimetreinä jokaista täyttä turvaenkooderin kierrosta kohti.
max_spd_mm_s	Nostoköyden määritelty maksiminopeus millimetreinä sekunnissa.
overspeed_limit	Nostoköyden maksiminopeus ennen kuin noston ylinopeussuojaus aktivoi noston jarrut ja mahdolliset hätäjarrut.
standstill	Seisonta-aika millisekunteina, jonka jälkeen nosto tulkitaan paikoillaan olevaksi.
standstill_hysteresis	Seisonta-ajan hystereesi millimetreinä, eli suurin määrä liikettä, mikä sallitaan ennen kuin nostoa ei enää tulkita paikoillaan olevaksi.

Parametrejä vaihdettaessa niille tulee aina laskea uusi CRC-tarkistussumma käyttäen valmistajan tarjoamaa sovellusta. Tarkistussumman avulla todennetaan, että parametreissä käytetyt arvot ovat hyväksytyjä. Virheelliset kommunikoinnin parametriarvot estävät turvaenkooderin ja PLC:n välisen kommunikoinnin ja virheelliset ulostuloarvoihin liittyvät parametrit pysäyttävät turvalogiikan toiminnan. CRC-tarkistussumma asetetaan turvaturvaenkooderin parametreihin PLC:llä.

## 7.4 Toteutustapojen erot

Nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toteutustavoissa on jonkin verran eroja.

Turvaenkooderilla toteutettuna kokonaisuudessa on vähemmän laitteita, jolloin mahdollisten vikaantuvien laitteiden määrä vähenee. Nykyisessä toteutuksessa on enemmän laitteita, mutta sen konfigurointi ja parametointi on yksinkertaisempaa, koska parametreja ei logiikan puolesta tarkasteta. Virheiden määrä kuitenkin kasvaa, koska logiikka ei tarkista parametrien oikeellisuutta.

Yksi merkittävä ero toteutustapojen välillä on ulostulevan tiedon skaalaus. Nykyisessä toteutustavassa laskenta suoritetaan *ohjausyksikössä* ja skaalaus voidaan toteuttaa niin, että jokainen absoluuttienkooderin pulssi on yksi millimetri. Laskenta on tällöin helppoa.

Turvaenkooderista saadut ulostuloarvot ovat turvaluokiteltuja ja laskenta tapahtuu turvalogiikassa. Tämä aiheuttaa laskentaan hieman ylimääräistä monimutkaisuutta, sillä turvalogiikassa laskenta tapahtuu kokonaisluvuilla eikä liukulukuja voi käyttää. Tästä syystä esimerkiksi turvaenkooderin parametreista löytyvä nostoköyden liikemäärä lasketaan kymmenesosamillimetreinä jokaista turvaenkooderin täyttä kierrosta kohti, jotta luvusta saadaan kokonaisluku.

Nykyisessä toteutuksessa komponenteilla ei ole turvaluokitusta eivätkä ne valvo omaa toimintaansa. Turvaenkooderitoteutuksessa turvalogiikka pysäyttää toimintansa, jos turvaenkooderin arvot menevät ulos lukualueelta tai ne muutoin tulkitaan virheellisiksi. Turvalogiikka pysähtyy myös, jos turvaenkooderin ja turvalogiikan välisessä kommunikaatiossa on virhe.

Turvaenkooderin parametreja muutettaessa uusille parametreille on aina laskettava uusi CRC-tarkistussumma. Turvalogiikka pysähtyy virheeseen, mikäli parametroinnissa on virhe tai tarkistussumma ei ole oikea.

## 7.5 Turvaenkooderin testaus

Komponentin ja ohjelmiston testaus on tärkeä vaihe ennen käyttöönottoa. Testivaiheessa varmistetaan, että komponentti toimii odotetusti ja täyttää laatuvaatimukset. Testaus varmistaa, että komponentti ja ohjelmisto suorittavat tarvittavat toiminnot oikein ja luotettavasti. Komponentin ja ohjelmiston tulee toimia luotettavasti kaikissa olosuhteissa ja kuormituksissa. Testauksen avulla voidaan tunnistaa mahdollisia virheitä, jotka pystytään korjaamaan ennen käyttöönottoa.

Turvaenkooderin testaus suoritettiin Konecranesin sähkölaitetehtaalla. Turvaenkooderi kytkettiin erään valmistumassa olevan nosturin sähköhuoneen turvalogiikkaan.

Ensimmäisessä vaiheessa testattiin ensin turvaenkooderin ja PLC:n välinen kommunikointi. Tätä varten sähköhuoneen PLC:hen asennettiin väliaikainen testiohjelmisto. Testiohjelmistoon asetettiin turvaenkooderin PROFI-safe-kohdelaitenumero, jolloin PLC tunnisti turvaenkooderin oikein. Tämän jälkeen törmättiin ongelmaan, jossa kommunikointiin liittyvät turvaparametrit eivät suoraan toimineet eikä näin ollen kommunikointi turvaenkooderin ja PLC:n välillä toiminut. Ongelmaksi paljastui turvaenkooderin parametroinnissa käytettävä CRC-tarkistussumma, joka oli unohtunut päivittää parametroinnin jälkeen. Tarkistussumman päivityksen jälkeen kommunikointi alkoi toimimaan.

Tämän jälkeen päästiin testaamaan itse turvaenkooderin toimintaa ja näkemään ulostuloarvoja. Turvaenkooderi oli tarkoitus kytkeä suoraan sähköhuoneen taajuusmuuttajaan kytketyn sähkömoottorin akseliin, mutta tarkoitukseen sopivaa telinettä ei vielä ollut saatavilla. Sen sijaan väliaikaisesti turvaenkooderi kiinnitettiin tavallisen akkukäyttöisen porakoneen istukkaan, jotta turvaenkooderin akselia pystyi pyörittämään eri nopeuksilla. Testiohjelma oli automaatioinsinöörin toimesta tehty jo melko pitkälle, joten sillä pystyttiin testaamaan useita ohjelmiston osia, kuten ylinopeuden tunnistusta, paikan ja nopeuden muuttumista sekä seisonta-ajan toimimista.

Koska kyseessä on absoluuttienkooderi, se kykenee tietämään paikkalukemansa, vaikka turvaenkooderia pyörittäisi ilman, että se on kytketty virtalähteeseen. Turvaenkooderin paikkatietolukema lasketaan turvaenkooderin askelten mukaan ja sillä on yläraja. Koska paikkatietolukema kerrotaan toisella vakioluvulla, tulos voi ylittää lukualueen ylärajan johtaen ylivuotoon. Paikkatietolukema on tämän vuoksi PLC-ohjelmassa määrätty nollaantumaan, kun turvaenkooderin yläraja tulee vastaan. Tämä on toteutettu sen takia, että turvalogiikassa ohjelmavirheen aiheuttama ylivuoto pysäyttää koko turvalogiikan toiminnan. Käytössä olevan turvaenkooderin tapauksessa yläraja on oletuksena 65536 kierrosta. Tällä ei nosturin normaalissa käytössä ole merkitystä, sillä noston liikealue on rajattu molemmista päistä. Erikoistapauksia, kuten esimerkiksi nostoköysien vaihdossa tapahtuvaa ylimääräistä liikettä varten suojaus on kuitenkin olemassa. Testausvaiheessa törmättiin ongelmaan, jossa turvalogiikan paikkatietolukema aiheutti ylivuodon, ja pysäytti koko turvalogiikkaohjelman ajamisen, jonka seurauksena koko PLC asetti itsensä STOP-tilaan. PLC asettaa itsensä STOP-tilaan ohjelmavirheen, kuten ylivuoto, vuoksi ja estää näin mahdollisten epäluotettavien tai virheellisten arvojen käytön. Ongelma ratkaistiin muuttamalla turvaenkooderin parametroinnissa paikkatietolukeman yläraja pienemmäksi.

PLC-ohjelmasta löydettiin lisäksi virhe seisonta (standstill) -tilan käsittelystä. Standstill toimii nostossa niin, että noston lakattua liikkumasta tallennetaan sen nykyinen paikka muistiin. Jokaisella ohjelmakierrolla muistiin tallennettua paikkaa verrataan mitattuun paikkaan, josta selviää, onko nosto liikkunut vai ei. Virhe oli siinä, että ohjelmassa määrättiin paikan tallennus muistiin, kun nopeus laskee nolleen. PLC:n käynnistyksen yhteydessä nopeus on jo valmiiksi nolla, joten se ei voi koskaan laskea nolleen. Tämän takia nostoa piti ensin liikuttaa ja pysäyttää, jotta nopeus laskee nolleen ja standstill-tila tallennettiin. Ohjelmistovirhe korjattiin niin, että standstill -tila kirjoitetaan muistiin noston pysähtymisen lisäksi kertaalleen PLC:n käynnistyksen yhteydessä.

## 8 Pohdinta

Monimutkaisten järjestelmien tai jopa yksittäisten toimintojen toteutusten ymmärtäminen voi olla aloittelevalla automaatioinsinöörille alkuun hankalaa, koska toimintojen ymmärtäminen vaatii PLC-koodin ymmärtämistä sekä standardien ja direktiivien tuntemusta.

Toteutusten ymmärtämistä varten yritys tarvitsee laadukkaita dokumentteja, joista sekä aloittelija, että jo kokenut insinööri pystyy löytämään tarvitsemansa tiedon.

Tämän opinnäytetyön toteutus lähti tilaajayrityksen Konecranes Oyj:n tarpeesta saattaa dokumenttejaan ajan tasalle, tai tuottaa dokumentteja niiden puuttuessa kokonaan. Lopputuloksena opinnäytetyössä kerrotaan noston ylinopeussuojauksen toimintaperiaate ja opinnäytetyön lisäksi yritykselle luotiin varsinainen noston ylinopeussuojauksen toimintakuvaus Hoist overspeed protection functional description (liite 1). Nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toiminnan ymmärtämisen tueksi otettiin mukaan tärkeimmät parametrit ja kerrotaan lyhyesti niiden käyttötarkoitukset. Sekä opinnäytetyössä kerrottu noston ylinopeussuojauksen toiminta, että liitteenä 1 oleva nostotoiminnon ylinopeussuojauksen toimintakuvaus vastaavat asetettuja tavoitteita ja ovat jatkossa yritykselle hyödyllisiä.

Liitteenä 1 olevaan noston ylinopeussuojauksen toimintakuvaukseen turvaenkoodereilla toteutettuna ei ole sisällytetty parametointia kuin yleisellä tasolla. Parametointi kuuluu yrityksen dokumenteissa tekniseen kuvaukseen, jota ei tässä opinnäytetyössä käsitellä. Parametroinnin tarkastelu on kuitenkin olennainen osa tämän opinnäytetyön sisällön ymmärtämistä ja on siksi käsitelty erityisesti turvaenkooderilla toteutetun ylinopeusvalvonnan osalta tarkemmin.

Opinnäytetyön hyödyllisin osa itselle oli osallistuminen turvaenkooderin testaukseen Konecranesin sähkölaitetehtaalla. Testausvaiheen valmistelut antoivat hyvän kuvan ennen testausta tehtävästä PLC-testiohjelman tekemisestä sekä testauksen alussa vaadittavista toimenpiteistä, kuten turvaenkooderin ja PLC-laitteiston kommunikoinnin toiminnan varmistamisesta. Tärkeää oli testausvaiheessa päästä näkemään PLC-ohjelma toiminnassa, miten turvaenkooderilta tulevat lukuarvot muuttuivat ja muuttujien tilat vaihtuivat. Erittäin hyödyllistä oli myös nähdä, miten virheiden ilmaantuessa niiden syyt pystyttiin selvittämään ja miten ongelmat lopulta korjattiin. Erityisesti turvaenkooderin testausvaihe lisäsi haluani päästä itse jatkossa enemmän tekemisiin automaation kanssa.

Toimintakuvausten luonti on itselle tuttua. Haasteelliseksi eri toimintojen kuvaamisesta tekee aiemman kirjoitetun tiedon vähäinen määrä. Jatkossa tilanne paranee tämän opinnäytetyön ja myöhemmin tuotettavien toimintakuvausten ansiosta. Noston ylinopeussuojauksen toimintoa työstänyt automaatioinsinööri piti minut hyvin ajan tasalla ja tarjosi koko ajan tuoretta tietoa sekä jakoi työn ohessa kirjoittamaansa dokumentointia. Tämä helpotti ja nopeutti työn etenemistä huomattavasti.

## Lähteet

Konecranes. (2012). *Power options for RTGs*.

<https://www.konecranes.com/sites/default/files/download/poweroptionsforrtgs.pdf>

Konecranes. (2022a). *Features and technical information*.

[https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN\\_Final\\_EN.pdf](https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN_Final_EN.pdf)

Konecranes. (2022b). *Features and technical information* [kuva].

[https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN\\_Final\\_EN.pdf](https://www.konecranes.com/sites/default/files/2022-06/Konecranes%20RTG%20Typical%20Tech%20Spec%20EN_Final_EN.pdf)

Konecranes. (2023a). *Rubber-Tired Gantry Cranes*.

<https://www.konecranes.com/port-equipment-services/container-handling-equipment/rubber-tired-gantry-cranes>

Konecranes. (2023b). *Rubber-Tired Gantry Cranes* [kuva].

<https://www.konecranes.com/port-equipment-services/container-handling-equipment/rubber-tired-gantry-cranes>

Konedirektiivi 2006/42/EY. (n.d.). *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi koneista*.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=FI>

METSTA. (2019). *Turvallisuuden liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelu*.

<https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Turvallisen-koneen-suunnittelu-osa-4.-Turvallisuuden-liittyvien-ohjausj%C3%A4rjestelmien-suunnittelu.pdf>

SFS. (2010). *SFS-EN ISO 12100:2010 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen*. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/164706.html.stx>

- SFS. (2013). SFS-EN 13135:2013+A1:2018 *Nosturit. Turvallisuus. Suunnittelu. Laitteita koskevat vaatimukset*. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS. Vaatii käyttöoikeuden.  
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/723478.html.stx>
- SFS. (2016a). *Koneturvallisuuden standardit*. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS.  
<https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Koneturvallisuusesite2016.pdf>
- SFS. (2016b). *Koneturvallisuuden standardit* [kuva]. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS.  
<https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Koneturvallisuusesite2016.pdf>
- SFS. (2020). SFS-EN 15011:2020 *Nosturit. silta- ja pukkinosturit*. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS. Vaatii käyttöoikeuden.  
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1093633.html.stx>
- SFS. (n.d.-a). *SFS Mikä on standardi?* Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS.  
<https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>
- SFS. (n.d.-b). *Mikä on standardi?* [kuva]. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS.  
<https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>
- SFS. (n.d.-c). *Standardeista on hyötyä meille kaikille*. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS.  
<https://sfs.fi/standardeista/standardien-hyodyt/>
- SFS. (n.d.-d). *EU ja standardointi*. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS.  
<https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/eu-ja-standardointi/>
- SFS. (n.d.-e). *Standardointi Suomessa ja maailmalla*. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS.  
<https://sfs.fi/osallistu-ja-vaikuta/standardointi-suomessa-ja-maailmalla/>
- Tukes. (n.d.). *Koneita koskevat vaatimukset*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.  
<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>

## Liite 1: Hoist overspeed protection functional description

**KONECRANES**

# **FUNCTIONAL DESCRIPTION**

**Hoist overspeed protection**

**INTERNAL USE ONLY**

**ORIGINAL INSTRUCTIONS**

**Document ID: DOC1638737A / en-US**

This document and the information contained herein, is the exclusive property of Konecranes and represents a non-public, confidential and proprietary trade secret that may not be reproduced, disclosed to third parties, altered or otherwise employed in any manner whatsoever without the express written consent of Konecranes. Copyright 2023 © Konecranes. All rights reserved.

**TABLE OF CONTENTS**

REVISION HISTORY.....	3
<b>1</b> <b>HOIST OVERSPEED PROTECTION.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b> <b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2</b> <b>Safety encoder.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3</b> <b>Parameterization.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4</b> <b>Functional description.....</b>	<b>5</b>

**REVISION HISTORY**

Rev	Date	Description of changes	Author
A	29.06.2023	First draft	Jani Kärnä
A	06.09.2023	Final version	Jani Kärnä

## 1 HOIST OVERSPEED PROTECTION

### 1.1 Introduction

The hoist overspeed protection is designed to prevent load free fall. If the load supporting force of the hoist motor is lost, the hoist brake control or the hoist speed measuring system is not working properly, the hoist brakes are activated to stop the load from freefalling. When the PLC detects hoist overspeed, the hoist brakes are activated stopping the load from freefalling. If the crane is equipped with backup brakes, they are also activated in addition to the hoist brakes if the PLC detects hoist overspeed.

### 1.2 Safety encoder

The hoist overspeed detection system uses two TR Electronic CDS582M safety encoders that are attached to each rope drum shaft. The encoders detect the hoist drum rotations and pass the information to the safety PLC system via PROFIsafe connection.

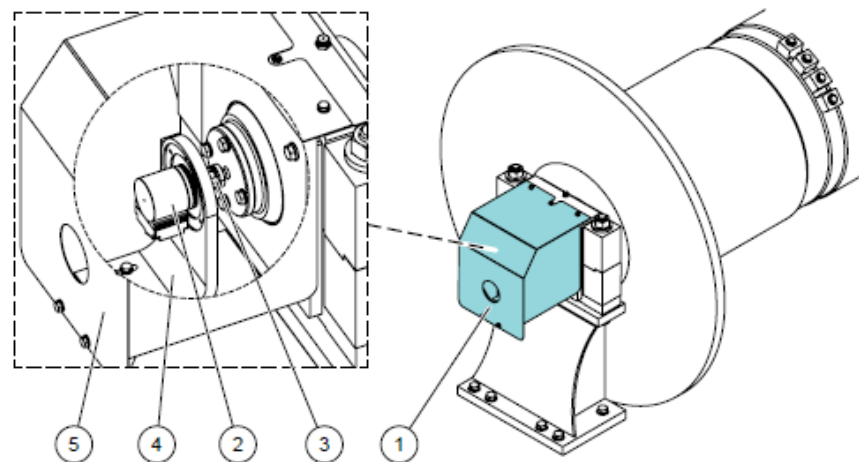


Figure 1. Absolute encoder on the rope drum

1. Absolute encoder structure
2. Absolute encoder
3. Coupling between the absolute encoder and the rope drum shaft
4. Support plate
5. Protective cover

#### Connections:

- M12 connector for power
- M12 connector for PROFIsafe

There is a threaded cap next to the connections. A switch can be found under the cap when removed. This is used for parameterization.

The encoder is an absolute rotary encoder that measures steps and rotations. These can be parameterized, but in this case the default values are used, one encoder turn is 8192 steps and the maximum amount of encoder rotations is 65536. The rotation information is used to calculate the hoist movement in millimetres by calculating how many millimetres the hoist moves in one full rotation of the encoder.

In addition to position information, the encoder also outputs speed information. The speed information is also calculated in millimetres by calculating how many tenths of a millimetre the hoist ropes move in one full rotation of the encoder.

### 1.3 Parameterization

The encoder has two sets of parameters. The F-Parameters, which relate to the safe communication via PROFI-safe, and the iParameters, which affect the encoder output values, such as scaling, rotation direction & measuring range.

There are also the software parameters that are used in the PLC software. They are calculated according to the crane features & specifications and are stored in data blocks within the PLC software.

When changing the parameters in the PLC, a new CRC checksum needs to be calculated using the software provided by the manufacturer. The new parameters are entered to the software and the software calculates the new CRC checksum. The CRC checksum is then changed to the PLC parameters. This prevents any invalid values to be used in the parameterization.

### 1.4 Functional description

The PLC gets the speed reference information from the hoist motor inverters and the actual speed from the safety encoders. The hoist speed has a 1100 mm/s overspeed limit. When the hoist speed reaches 1100 mm/s, the safety PLC system activates the hoist primary brakes on the hoist drums and also removes the momentum from the hoist motors by inverter STO (Safe Torque Off).

If the crane is equipped with hydraulic emergency brakes, they will activate in addition to the hoist primary brakes if the overspeed limit is reached.

The safety encoder also functions as a dynamic overspeed protection. The speed information from the inverters is compared to the actual speed from the safety encoders on the hoist drums. An absolute (unsigned) value is used as the speed difference value and that value is compared to the speed limit values. If the speed difference between the inverter speed reference and the actual speed from the encoders is too high, the safety PLC activates the hoist primary brakes on the hoist drums and the inverter speed reference is dropped to zero.

If the overspeed protection is activated, lifting or lowering the hoist is disabled until the overspeed protection is reset. The resetting is done by pressing the **Hoist safety reset** button on the trolley.