

---

# LOGISTIikkakeskuksen tuotantokoneiden turvallisuuden parantaminen



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Valkeakoski, kevät 2014

*Aleksi Kaurto*

Aleksi Kaurto



**VALKEAKOSKI**  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

---

<b>Tekijä</b>	Aleksi Kaurto	<b>Vuosi</b> 2014
<b>Työn nimi</b>	Logistiikkakeskuksen tuotantokoneiden turvallisuuden parantaminen	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä suunniteltiin, rakennettiin, ohjelmoitiin, testattiin ja käytönotettiin turvapiirejä olemassa oleviin tuotantokoneisiin. Työ pohjautui Saarioinen Oy Keskuslähettämössä aikaisemmin toteutettuun turvallisuuskartoitukseen. Kartoituksen perusteella logistiikkakeskuksesta valittiin kolme erilaista kohdetta, joiden turvallisuudessa oli havaittu puutteita.

Työn suunnitteluosuus sisälsi turvapiirien suunnittelun, laskennan, piirikaaviot, kokoonpanopiirustukset, kaapeli- ja kytkentäluettelot sekä osaluettelot. Suunnitteluvaiheessa perehdyttiin konedirektiiviin ja SFS-EN ISO 13849-1 koneturvallisuuden standardiin. Määräyksiin perehtyminen oli välttämätöntä turvapiirien suunnitteluvirheiden välttämiseksi. Suunnitteluosuus pohjautui muilta osin aikaisempaan työkokemukseen.

Työn rakennusosuudessa tilattiin turvapiireissä tarvittavat komponentit, rakennettiin keskus, kaapeloitiin sekä asennettiin kaikki laitteet paikoilleen suunnitelmien mukaisesti. Komponenttien valinnassa huomioitiin niiden soveltuvuus turvapiireihin ja niillä saavutettavat turvallisuuden suoritusastot.

Työn ohjelmointiosuudessa ohjelmoitiin elevaattorin automaatiokeskukseen asennettuun Sickin ohjelmitavaan turvaohjaimen ohjelma. Turvaohjaimella valvotaan ja ohjataan elevaattorin turvapiiriä. Ohjelmointiosuudessa ohjelmoitiin myös olemassa oleviin Siemensin logiikoihin ohjelmat, jotka liittyivät lavanpurkajan lavamakasiinin ja sivuttaissiirtäjien turvapiireihin. Olemassa olevaan WinCC-käyttöliittymään tehtiin ohjelmamuutoksia turvapiirien tilojen havainnollistamiseksi.

Työn tavoite oli suunnitella ja toteuttaa turvapiirit valittuihin kohteisiin.

**Avainsanat** Turvapiiri, koneturvallisuus, ohjelmointi, SFS-EN ISO 13849-1

**Sivut** 32 s. + liitteet 24 s.

VALKEAKOSKI

Degree programme in Automation Engineering

---

<b>Author</b>	Aleksi Kaurto	<b>Year</b> 2014
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Safety improvement of production machinery at a logistic center	

---

## ABSTRACT

In this bachelor's thesis safety circuits for existing production machines were designed, built, programmed, tested and commissioned. The work was based on a previously implemented safety survey commissioned by Saarioinen Oy keskuslähettämö. Three different kinds of machines were chosen from the logistics center, because those were found to be deficient as to safety.

The planning of the work included planning of the safety circuits, design values, circuit diagrams, board layouts, wiring-, connection-, and part lists. In the design phase the author familiarized himself with the Machinery Directive and SFS-EN ISO 13849-1 standard for machine safety. An orientation to the regulations was necessary for avoiding errors in the safety circuit design. The author had internalised this knowledge through previous work experience in another field.


At the construction stage the parts for the safety circuits were ordered, an automation board was constructed, the cabling was conducted and installation of all the devices was conducted as planned. Selecting the components required taking into consideration the suitability of the safety circuits and the safety performance levels achieved through them.

At the programming stage of the work a software was programmed to the Sick programmable safety controller which was mounted in the Elevator automation board. The safety Controller is monitored and controlled by the elevator safety circuits. At the programming stage a software was also programmed into the existing Siemens PLCs in connection with the pallet magazine and pushers safety circuits. Changes in the programming were implemented to the existing WinCC interface to illustrate the facilities of the safety circuits.

The objective of this project was to plan and implement a safety system for the chosen targets.

**Keywords** Safety circuit, machinery safety, programming, SFS-EN ISO 13849-1

**Pages** 32 p. + appendices 24 p.



# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	SAARIOINEN OY .....	1
2.1	Keskuslähettämö .....	2
2.2	Turvallisuuspolitiikka.....	2
3	KONETURVALLISUUS .....	2
3.1	Riskien arviointi .....	2
3.1.1	Vaarojen tunnistaminen.....	2
3.1.2	Vahinkojen vakavuus .....	3
3.1.3	Vahinkojen toteutumisen todennäköisyys .....	3
3.1.4	Riskin suuruus .....	4
3.1.5	Tarvittavat toimenpiteet.....	4
3.2	Koneen käynnistäminen .....	5
3.3	Koneen pysäyttäminen .....	5
3.4	Odottamaton käynnistyminen ja sen estäminen .....	5
3.5	Suojusten ja turvalaiteiden yleiset vaatimukset .....	6
3.6	Turvalaitteet .....	7
4	SFS-EN ISO 13849-1 KONETURVALLISUUS.....	8
4.1	Vaadittavan suoritustason $PL_r$ määrittäminen.....	8
4.1.1	Vamman vakavuus, S1 ja S2.....	8
4.1.2	Vaaralle altistumisen taajuus, F1 ja F2.....	8
4.1.3	Mahdollisuus välttää vaaraa, P1 ja P2.....	8
4.2	Suoritustaso, PL .....	9
4.2.1	Vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika, $MTTF_d$ .....	10
4.2.2	Diagnostiikan kattavuus, DC.....	11
4.2.3	Luokat.....	11
4.2.4	Yhteisvikaantuminen, CCF .....	13
5	TOTEUTUS .....	14
6	TURVAPIIRIT .....	16
6.1	Elevaattorin sisäänmenon ja ulostulon valvonta .....	16
6.2	Elevaattorin oven valvonta.....	17
6.3	Elevaattorin hätä-seis .....	18
6.4	Lavamakasiinin ulostulon valvonta.....	19
6.5	Sivuttaissiirtäjän paineenpoisto.....	19
7	AUTOMAATIOSUUNNITTELU .....	20
7.1	Komponenttien valinta .....	20
7.2	Kokoonpanopiirustus .....	21
7.3	Piirikaavio .....	21
7.4	Kaapeli- ja kytkentäluettelo .....	23
7.5	Osaluettelo.....	23

8	RAKENTAMINEN .....	24
9	OHJELMOINTI .....	25
9.1	Step 7.....	25
9.2	WinCC.....	26
9.3	Flexi soft designer .....	27
9.4	Sick CDS .....	29
9.5	ProTool.....	29
9.6	Testaus ja käyttöönotto.....	30
10	POHDINTA.....	31
	LÄHTEET .....	32

Liite 1	MTTF <sub>d</sub> ja B10 <sub>d</sub> keskimääräinen vikaantumisaika
Liite 2	Diagnostiikan kattavuus, DC
Liite 3	Luokat
Liite 4	Yhteisvikaantuminen, CCF
Liite 5	Sistema-Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden arviointiin
Liite 6	Elevaattorin turvapiiri AK1
Liite 7	Lavamakasiinin turvapiiri
Liite 8	Miniload siirtäjän paineenpoisto PZ3

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Saarioinen Oy, joka on markkina-johtaja valmisruokien tuotannossa Suomessa. Työn tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa Keskuslähettämössä käytössä olevien tuotantokoneiden joukosta valittuihin kohteisiin turvapiirit. Kohteiden valinta perustui aikaisemmin Keskuslähettämössä toteutettuun turvallisuuskartoitukseen, jonka perusteella elevaattorin, lavanpurkajan lavamakasiinin ja sivuttaissiirtäjien turvallisuudessa oli havaittu puutteita.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saattaa valitut tuotantokoneet tilaan, missä niiden käytöstä ei aiheudu vaaraa työntekijöille. Tarkoituksena oli tehdä turvapiireistä niin varmatoimisia että niistä ei aiheudu haittaa tuotannolle.

Työssä keskityttiin vain valittujen tuotantokoneiden turvapiireihin, eikä tuotantokoneita käsitellä muilta osin. Osaan turvapiireistä tehtiin muutoksia lisäämällä olemassa olevaan turvapiiriin laitteita. Aiemmin olemassa olevia turvapiirejä ei käsitelty tässä työssä, koska ne täyttivät asetetut vaatimukset muilta osin.

Opinnäytetyön teoriaosa koostuu johdannosta ja teoriasta. Työn suunnitteluvuorossa käydään läpi turvapiirit, niiden määrittäminen ja automaatio-suunnittelu. Rakennusluvussa esitetään keskuksen ja turvapiirien rakentaminen. Työn ohjelmointiluvussa selvitetään työssä tehdyt ohjelmistomuutokset, turvaohjaimen ohjelmointi sekä visuaaliseen käyttöliittymään tehtävät muutokset. Opinnäytetyön pohdintaosassa kootaan yhteen tulokset ja päätelmät.

## 2 SAARIOINEN OY

Saarioinen on yli 50-vuotta vaikuttanut suomalaisten ruokapöytien tarjontaan. Toiminta alkoi 1940-luvulla Sahalahdella Saarioisten kartanossa ja osakeyhtiömuotoinen toiminta alkoi vuonna 1955. Pienimuotoisesta alusta yhtiö on kasvanut nykyisiin mittoihinsa määrätietoisella työllä ja innovatiivisella otteella. Saarioisten tuotteisiin ovat aina kuuluneet perinteiset, tutut arkiruuat, joista monet olisivat jo saattaneet unohtua ilman teollista valmistusta. Osana suomalaista elintarviketeollisuutta Saarioinen pitää yllä ruokakulttuuriamme. (Saarioinen-konserni n.d.)

Konserni työllistää keskimäärin 1 970 henkilöä kuudella paikkakunnalla kotimaassa, lisäksi Saarioisilla on tehdas Virossa. Konsernin pääkonttori valmistui Tampereelle vuonna 1991. Pääkonttorissa hoidetaan muun muassa hallinto, myynti ja markkinointi, talous, palkanlaskenta, ostot, vienti, viestintä ja it-toiminnot. (Saarioinen-konserni n.d.)

### 2.1 Keskuslähettämö

Keskuslähettämö on Saarioinen Oy:n nykyaikaisin ja suurin investointi. Logistiikkakeskus aloitti toimintansa syksyllä 2003 ja se työllistää keskimäärin 146 henkilöä. Lähettämö on noin 11 000 neliömetrin suuruinen ja sinne mahtuu kerrallaan noin 150 000 laatikkoa. Lähettämössä käsitellään lähes kaikki Saarioisten tuoretuotteet ja sinne on keskitetty niiden keruu- ja lähetystoiminta. Lähettämön kapasiteetti on noin 370 tonnia tuotteita vuorokaudessa.

### 2.2 Turvallisuuspolitiikka

Saarioinen panostaa turvallisuustyössä ennaltaehkäisevään toimintaan. Turvallisuus perustuu riskien arviointiin, riskien hallintaan ja luotettavaan viestintään. Turvallisuuteen kuuluu sekä oma toiminta että yhteistyö yhtiön ulkopuolisten tahojen kanssa. Henkilöstölle tarjotaan turvallinen työympäristö ja sitä kehitetään yhdessä koko henkilöstön kanssa. Henkilöstön perehdytyksessä ja opastuksessa korostetaan jokaisen velvollisuutta huolehtia turvallisesta työympäristöstä ja turvallisuusohjeiden noudattamisesta. Työtä tehdään onnettomuuksien estämiseksi ja niiden aiheuttamien vahinkojen minimoimiseksi. Onnettomuuksien torjunnassa painotetaan henkilöturvallisuutta. Turvallisuuteen panostetaan sekä henkilöstön turvallisuustietoisuutta ja -osaamista kehitetään. (Turvallisuuspolitiikka n.d.)

## 3 KONETURVALLISUUS

Tässä luvussa käsitellään muutamia koneturvallisuuden keskeisimpiä asioita. Tässä työssä keskeisimmiksi koneturvallisuuden osa-alueiksi valittiin riskien arviointi, koneen käynnistäminen ja pysäyttäminen, odottamaton käynnistyminen ja sen estäminen sekä suojukset ja turvalaitteet. Koneturvallisuutta käsitteleviä standardeja ovat SFS-EN ISO 13849-1, SFS-EN ISO 13849-2, SFS-EN 62061 sekä SFS-EN 60204-1. Näissä standardeissa määritellään automaattisten koneiden turvallisuus vaatimukset. SFS-EN ISO 13849-1 ja SFS-EN 62061 -standardeissa käsitellään turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmiä.

### 3.1 Riskien arviointi

Riskien arviointiin on useita erilaisia menetelmiä, mutta yhtä standardoitua menetelmää ei ole olemassa. Riskien arvioinnissa ja pienentämisessä on määritettävä koneen raja-arvot, tunnistettava koneen aiheuttamat vaarat, arvioitava mahdollisten vammojen vakavuus ja terveyshaitat sekä poistettava tunnistetut vaarat tai pienennettävä vaaroihin liittyviä riskejä. (Siirilä 2009, 39.)

#### 3.1.1 Vaarojen tunnistaminen

Koneiden yhteydessä riskillä tarkoitetaan mahdollisten seurausten vakavuuden ja seurausten toteutumisen todennäköisyyden yhdistelmää. Riskien

arviointi aloitetaan vaarojen tunnistamisella. Tunnistaminen on tärkeää, koska riskiä ei voida poistaa tai pienentää, mikäli vaaratekijöitä ei ole tunnistettu. (Siirilä 2009, 40–42.)

### 3.1.2 Vahinkojen vakavuus

Vahinkojen vakavuuden arviointia varten ei ole olemassa yhtä standardoitua menetelmää. Lähes kaikissa riskinarviointimenetelmissä seurausten vakavuuden arviointi asteikot ovat erilaisia. Koneen fyysinen koko ja muut ominaisuudet vaikuttavat seurausten vakavuuteen. Pienen koneen liikkuvien osien väliin voi jäädä sormi, kun taas suuren koneen liikkuvien osien väliin voi puristua esimerkiksi vartalo tai pää. Taulukossa 1 lukuarvo C kuvaa vammojen vakavuutta. Mitä isompi C:n arvo on, sitä suuremmat arvioidut vahingot ovat. (Siirilä 2009, 43–44.)

Taulukko 1. Riskianalyysi, mahdolliset pahimmat seuraukset (Siirilä & Kerttula 2009, 36.)

<b>Kuvaus</b>	<b>C</b>
Naarmu tai mustelma	1
Haava, hankautuma, huonoa oloa	5
Pieni luunmurtuma tai pienehkö sairaus (palautuva)	20
Suuren luun murtuminen tai vaikea sairaus (palautuva) tai pysyviä lieviä vammoja	30
Raajan, Silmän, kuulon menetys tai vastaavia pysyviä vammoja	40
Kahden raajan menetys, sokeutuminen tai muita vastaavia pysyviä vammoja	50
Kuolema tai hyvin vakavia vammoja (esim. pysyvä tajuttomuus tai aivo-vaurio)	100

### 3.1.3 Vahinkojen toteutumisen todennäköisyys

Mahdollisiksi havaittujen vahinkojen toteutumisen todennäköisyyttä on vaikeaa arvioida luotettavasti. Useiden henkilöiden tekemät arviot yhdestä koneesta vaihtelevat yleensä suuresti esimerkiksi kokemuksen perusteella. Ihmisten erehtyväisyys ja käyttövirheet tulee huomioida arvioinnin yhteydessä. Lähes kaikissa riskinarviointimenetelmissä riskin toteutumisen todennäköisyyden arviointi asteikot ovat erilaisia. Taulukossa 2 (s. 4) lukuarvo P kuvaa tapaturman tapahtumisen todennäköisyyttä, mitä suurempi arvo on sitä todennäköisemmin tapaturma tapahtuu. Käytännön tapaturman todennäköisyyden erot ovat todellisuudessa suuremmat, kuin mitä taulukossa 2 (s. 4) on esitetty. (Siirilä 2009, 45.)



Taulukko 2. Riskianalyysi, tapaturman todennäköisyys (Siirilä & Kerttula 2009, 37.)

<b>Kuvaus</b>	<b>P</b>
Äärimmäisen epätodennäköinen, lähes mahdoton	0,1
Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa	0,2
Epätodennäköinen	0,3
Mahdollinen, mutta epätavallinen	0,4
Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen ovat	0,5
Suunnilleen yhtä epätodennäköisiä	0,6
Todennäköinen, tapahtuminen ei ole yllättävää	0,7
Hyvin todennäköinen	0,8
Tapahtuu lähes varmasti, tapahtumatta jääminen olisi yllättävää	0,9
Tapahtuminen on varma	1

### 3.1.4 Riskin suuruus

Riskin suuruus määräytyy laskemalla lukuarvo C:n ja lukuarvo P:n tulo. Lukuarvojen tulon perusteella voidaan lukea riskin suuruus taulukosta 3.

Taulukko 3. Riskianalyysi, riskin suuruus (Siirilä & Kerttula 2009, 47.)

<b>Lukuarvojen C ja P tulo</b>	<b>Riski</b>
0,1–5	Vähäinen
6–15	Siedettävä
16–28	Kohtalainen
29–48	Merkittävä
49–100	Sietämätön

### 3.1.5 Tarvittavat toimenpiteet

Kun riskin suuruus on selvitetty, voidaan taulukosta 4 lukea tarvittavat toimenpiteet riskin vähentämiseksi tai poistamiseksi.

Taulukko 4. Riskianalyysi, tarvittavat toimenpiteet (Siirilä & Kerttula 2009, 44.)

<b>Tarvittavat toimenpiteet</b>	<b>Riski</b>
Ei tarvitse toimenpiteitä.	Vähäinen
Seuranta ja valvonta, myöhemmin tehtävä uudelleen arviointi on tarpeellinen.	Siedettävä
Riskejä on vähennettävä. Suunniteltujen toimenpiteiden toteuttamiselle on tehtävä aikataulu.	Kohtalainen
Työtä ei saa aloittaa ennen kuin riskiä on vähennetty ainakin kohtalaiseksi. Jos meneillään olevassa työssä havaitaan riski, on harkittava työn keskeyttämistä. Jos työtä jatketaan, riskien poistamiseen on varattava riittävästi voimavaroja ja toteutettava riskien vähentäminen kiireellisesti.	Merkittävä
Työtä ei saa aloittaa ja mahdollisesti käynnissä oleva työ on keskeytettävä. Ellei riskiä saada vähennettyä, työn teon on pysyttävä kiellettyinä.	Sietämätön

### 3.2 Koneen käynnistäminen

Koneen käynnistäminen on mahdollista vain, kun tarkoituksellisesti käynnistyksen hallintaelimeen vaikutetaan. Esimerkiksi kone ei saa käynnistyä, kun se kytketään energian syöttöön tai kuittauspainiketta painetaan. (Siirilä & Kerttula 2009, 131.)

Käynnistyksen hallintaelimeen vaikuttaminen saa käynnistää koneen vain koneen ollessa turvallisessa tilassa. Koneen turvallisella tilalla tarkoitetaan esimerkiksi turvalaitteiden oikeata tilaa. (Siirilä 2009, 263.)

### 3.3 Koneen pysäyttäminen

Siirilän ja Kerttulan (2009) mukaan jokaisessa koneessa on oltava pysäyttämistä varten erillinen hallintaelin, johon vaikuttamalla kone pysähtyy hallitusti. Koneessa voi olla erilaisia pysäytysluokkia. Turvallisuuksiemielissä kone on pysäytetty vasta, kun energiansyöttö on katkaistu. Koneessa on tarvittaessa käytettävä automaattisesti toimivia jarruja, salpoja tai muita laitteita, joilla voidaan varmistaa koneen luotettava pysähtyminen ja paikallaan pysyminen.

Koneilla voi olla kolme erilaista pysäytysluokkaa. Luokat eroavat toisistaan liikkeen, pysäyttämisen tavan ja lopputuloksen perusteella.

Luokan 0 pysäytyksessä energiansyöttö katkaistaan välittömästi pysäytyskäsken jälkeen. Jos pysähtymisaika ei ole riittävän lyhyt, niin hallittu ja riittävän nopea pysäytys tehdään esimerkiksi jousivoimaisen jarrun avulla.

Luokan 1 pysäytyksessä energia on käytettävissä nopean ja hallitun hidastuksen aikaan saamiseksi pysäytyskäsken jälkeen. Energia katkaistaan kun liikkeet ovat pysähtyneet.

Luokan 2 pysäytyksessä energia on käytettävissä nopean ja hallitun hidastuksen aikaan saamiseksi pysäytyskäsken jälkeen. Energiasyöttöä ei katkaista liikkeiden pysähtymisen jälkeen.

Luokan 2 pysäytystä ei yleensä saa käyttää turvallisuuteen liittyviin pysäytyksiin, koska sähkömagneettisen häiriön tai muun syyn aiheuttama odottamaton käynnistyminen on todennäköisempää kuin luokissa 0 tai 1. Jos luokan 2 pysäytystä joudutaan käyttämään henkilön ollessa vaaravyöhykkeellä, on pysähtyneenä pysymistä luotettavasti valvottava. (Siirilä & Kerttula 2009, 132–133.)

### 3.4 Odottamaton käynnistyminen ja sen estäminen

Yksi tavallisimpia koneiden aiheuttamia vakavien tapaturmien syitä on koneen odottamaton käynnistyminen. Tyypillisesti kone on tapaturman alkuhetkellä pysähtyneenä ja siten vaarattoman tuntuinen. Työntekijä voi mennä koneen vaaravyöhykkeelle tutkimaan häiriön syytä, tuotantoon liitetyistä syistä tai puhdistukseen konetta. Jos kone käynnistyy tällöin oh-

jelmansa mukaisesti tai anturiin vaikuttamisen seurauksesta, on usein seurauksena vakava tapaturma. Odottamatonta käynnistymistä tarkastellaan aina sen henkilön kannalta, joka voi käynnistymisen seurauksena joutua vaaraan. (Siirilä & Kerttula 2009, 70.)

Odottamaton käynnistyminen henkilön ollessa vaaravyöhykkeellä saadaan estettyä, kun tarkoittamaton tai vaaraa aiheuttava käynnistyskäsky estetään tai se tehdään mahdollisimman epätodennäköiseksi. Toisen henkilön tekemä vaaraa aiheuttava käynnistyskäsky voidaan estää parantamalla vaaravyöhykkeen näkyvyyttä. Koneen turvalaitteet ja ohjausjärjestelmä on suunniteltava siten että tarkoituksellinen, vahingossa syntyvä tai viasta johtuva käynnistyskäsky ei käynnistä konetta, jos vaaravyöhykkeellä on henkilö tai käynnistyksestä syntyy muuta vaaraa. Suuri osa odottamattomista käynnistymisistä estetään eristämällä vaaravyöhyke aidoilla ja valvomalla sisään pääsyä. Alueelle pääsemiseksi pitää avata koneen toimintaan kytketty ovi tai vaikuttettava koneen turvalaitteisiin. Näiden seurauksena kone siirtyy tilaan, missä käynnistyminen ei ole mahdollista. Riskien ollessa suuret, vaaravyöhykkeellä olon jatkuva valvonta voi olla tarpeen alueelle menon valvonnan lisäksi. (Siirilä 2009, 215–220.)

### 3.5 Suojusten ja turvalaitteiden yleiset vaatimukset

Suojusten ja turvalaitteiden tulee olla rakenteeltaan kestäviä, eikä niistä saa aiheutua lisävaaraa. Turvalaitteiden on oltava vaikeasti ohitettavia, jolloin niitä ei voida tehdä toimimattomiksi. Suojukset eivät saa estää kohtuuttomasti työprosessin tarkkailua, niiden on sallittava työkalujen asettamisen, vaihtamisen sekä kunnossapidon toimet. Käytännössä tämä toteutetaan rajoittamalla pääsy kohtaan, jossa työ tehdään suojuksia poistamatta tai turvalaitteita irtikytkemättä. (Siirilä 2009, 371.)

Turvalaitteita ja suojuksia suunniteltaessa tulee huomioida niihin kohdistuvat fyysiset rasitukset, vaikuttamisen taajuus sekä ympäristöolosuhteet. Fyysisiä rasituksia ovat esimerkiksi suojalaitteen tai kotelon päälle astuminen, tärinä sekä törmäykset. Vaikuttamisen taajuudella tarkoitetaan sitä, miten useasti turvalaite joutuu vaihtamaan tilaansa. Valmistaja määrittelee komponenttien sähköisen ja mekaanisen kestävyuden arvon, minkä laite kestää. Arvo on yleensä satojatuhansia tai miljoonia vaikutuskertoja. Koneita ja niiden turvalaitteita suunniteltaessa tai valittaessa huomioidaan myös ympäristön vaikutukset. Esimerkiksi ulos asennettavien komponenttien kohdalla on huomioitava ainakin vesisade, lumi, jää, lämpötilan muutokset ja auringon ultraviolettisäteilyn vaikutus. (Siirilä 2009, 371–373.)

Suojusten ja turvalaitteiden vaatimuksena on myös varmistaa riittävä etäisyys vaaravyöhykkeestä. Turvaetäisyyksiä käsittelevässä standardissa SFS-EN ISO 13 857 on määritetty suojusten vähimmäisetäisyydet vaarallisista kohteista. Etäisyydet määräytyvät esimerkiksi verkkoaidassa olevien aukkojen koon mukaan. Turvaetäisyysstandardia käytetään myös tarkistettaessa koneen rakenteissa olevia muita aukkoja. Tarvittaessa aukkoja on pienennettävä. (Siirilä 2009, 381.)

### 3.6 Turvalaitteet

Turvalaite määritellään suojaustekniseksi laitteeksi, joka yksin tai suojuksen liitettynä poistaa riskin tai pienentää sitä. Erilaisia turvalaitteita ovat esimerkiksi toimintaankytkentälaitte, tunnistava turvalaite, pakkokäyttöinen hallintalaite, sallintalaite, aktiivinen valosähköinen turvalaite sekä rajoitinlaite. (Siirilä 2009, 344.)

Turvalaitteet suunnitellaan ja liitetään ohjausjärjestelmään niin, että liikkuvat osat eivät voi käynnistyä käyttäjän ollessa vaaravyöhykkeellä. Käyttäjän ulottuminen liikkuviin osiin on estettävä. Turvalaitteen poistamisen tai vikaantumisen seurauksena koneen liikkuvat osat on pysäytettävä ja käynnistyminen estettävä. (Siirilä 2009, 397.)

Tunnistavat turvalaitteet havaitsevat vaaravyöhykkeellä olevan tai sitä lähestyvän henkilön. Turvalaite synnyttää viestin koneen ohjausjärjestelmälle, joka pysäyttää koneen. Erilaisilla turvalaitteilla voidaan valvoa tiettyä aluetta, tilavuutta, tai havaita tietyn kohdan ylittävä kehonosa. Koskettamatta tunnistavia turvalaitteita ovat esimerkiksi erilaiset valoverhot, valopuomit, laserskannerit sekä kamerat. Erilaisia kosketuksen tunnistavia turvalaitteita ovat tuntomatot, tuntoreunat, turvarajat sekä tuntolevyt. (Siirilä 2009, 345.)

Koneturvallisuudessa turvalaitteiksi määritellään myös erilaiset mekaaniset esteet, pidätinlaitteet sekä rajoitinlaitteet. Mekaanisella rajoittimella estetään koneen liikkuminen ei halutulle alueelle, esimerkiksi estetään nostimen putoaminen energian syötön katketessa. Rajoitinlaitteella tarkoitetaan laitetta, joka tunnistaa koneen osan lähestyvän vaarallista tilaa ja aikaansaa viestin, jonka perusteella ohjausjärjestelmä pysäyttää koneen tai hidastaa sen liikkeen nopeutta. Rajoitinlaitteilla voidaan valvoa esimerkiksi nopeutta, painetta, lämpötilaa tai jotain muuta turvallisuuden kannalta tärkeää suuretta. (Siirilä 2009, 347–348.)

Tiettyyn paikkaan kiinteästi asennettu ja jatkuvaa vaikuttamista tarvitsevalla turvalaitteella varmistetaan, että käyttäjä on turvallisella alueella koko koneen liikkeen ajan. Pakkokäyttöinen hallintalaite on jalalla, yhdellä tai kahdella kädellä käytettävä ohjauslaite. Kaksinkäsinhallintalaite on yksi mahdollinen toteutustapa pakkokäyttöiselle hallintalaitteelle. Tällä voidaan vähentää vikaantumisesta tai vahingossa vaikuttamisesta johtuvaa odottamatonta käynnistymistä. (Siirilä 2009, 345–346.)

## 4 SFS-EN ISO 13849-1 KONETURVALLISUUS

Tässä luvussa käsitellään pääpiirteittäin SFS-EN ISO 13849-1 -standardia, joka sisältää turvallisuusvaatimuksia ja opastaa turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelussa. Standardi määrittelee ohjausjärjestelmien osien ominaisuudet, joihin kuuluu turvatoiminnon toteuttamiseen vaadittava suoritustaso. Standardi koskee kaikenlaisten koneiden turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia riippumatta käytetystä teknologiasta tai energiasta. Standardi antaa esimerkkejä soveltamistavoista erilaisiin laitteisiin sekä tarjoaa turvapiirien laskennalle yksinkertaistetun menetelmän. (Kallio 2012, 4; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 14.)

### 4.1 Vaadittavan suoritustason $PL_r$ määrittäminen

Vaadittava suoritustaso  $PL_r$  on määritettävä jokaiselle turvatoiminnolle, joka toteutetaan ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvillä osilla.  $PL_r$ -taso saa arvon välillä a–e ja se kuvaa myös riskin pienentämisen tarvetta. Riskin pienentämisen tarve on pieni arvolla a ja suuri arvolla e. Vaadittava suoritustaso määritetään vamman vakavuuden, käyttäjän vaaralle altistumisen taajuuden sekä vaaran vältettävyyden avulla. (Kallio 2012, 5; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 98.)

#### 4.1.1 Vamman vakavuus, S1 ja S2

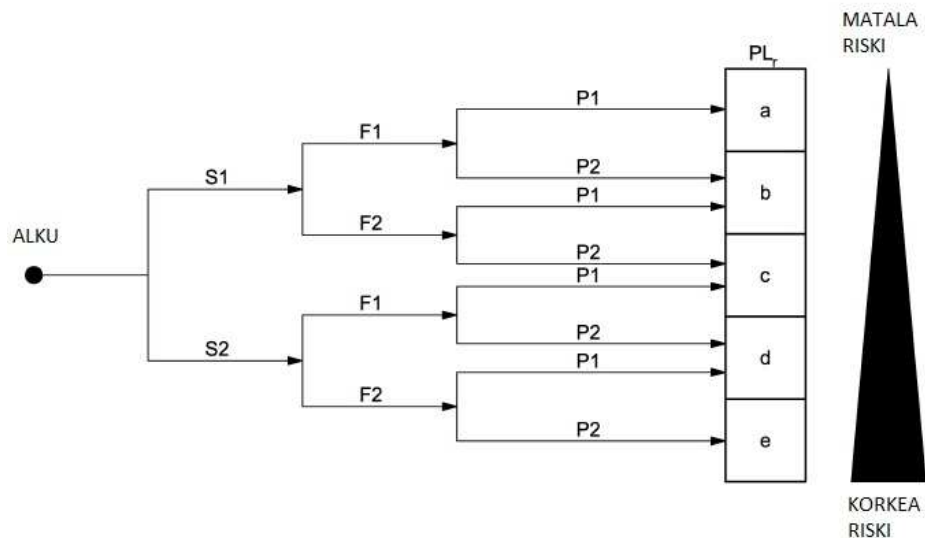
Ensimmäinen ja eniten vaikuttava muuttuja  $PL_r$ -tason määrittämisessä on mahdollisten vammojen vakavuus (Kuvio 1 s. 9). Muuttuja S1 voidaan valita lieville vammoille, kuten ruhjeille ja haavaumille, jotka eivät vaadi vaativaa lääkärin hoitoa ja ovat tavallisesti parantuvia. Muuttuja S2 voidaan valita vakaville vammoille, kuten raajan irtileikkautumiselle tai kuolemalle, jotka vaativat lääkärin hoitoa ja ovat tavallisesti parantumattomia. (Kallio 2012, 5; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 98.)

#### 4.1.2 Vaaralle altistumisen taajuus, F1 ja F2

Toinen muuttuja on vaaralle altistumisen taajuus (Kuvio 1 s. 9). F1 voidaan valita, jos vaaralle altistumisen kesto on lyhyt suhteessa koneen käytön kokonaisaikaan tai vaaralle altistutaan harvemmin kuin kerran tunnissa. F2 voidaan valita, jos vaaralle altistumisen kesto on pitkä verrattuna koneen kokonaiskäyttöaikaan tai vaaralle altistutaan useammin kuin kerran tunnissa. (Kallio 2012, 5; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 98.)

#### 4.1.3 Mahdollisuus välttää vaaraa, P1 ja P2

Kolmas muuttuja kuvaa mahdollisuutta tunnistaa ja välttää vaaratilanne ennen kuin se johtaa tapaturmaan (Kuvio 1 s. 9). P1 tulisi valita ainoastaan, jos on todella mahdollista välttää tapaturma tai vähentää merkittävästi vamman vakavuutta esimerkiksi pakenemalla. P2 tulisi valita, jos vaaran välttäminen on tuskin mahdollista esimerkiksi vaaratilanteen syntymisen nopeuden takia. (Kallio 2012, 5; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 99.)



Kuvio 1.  $PL_r$ -tason määrittäminen (SFS-EN ISO 13849-1:2008, 100.)

#### 4.2 Suoritustaso, PL

Suoritustason PL määrittämisen avulla ilmaistaan turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien kyky toteuttaa turvatoiminto. Jokaiselle turvallisuuteen liittyvälle ohjausjärjestelmän osalle, joka toteuttaa turvatoiminnon on arvioitava suoritustaso. Suoritustason on oltava vähintään yhtä korkea kuin turvatoiminnolle vaadittu  $PL_r$ -taso. PL-tason määrittämisessä ja laskennassa käytetään kolmea muuttujaa. Muuttujat ovat vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika  $MTTF_d$ , diagnostiikan kattavuus DC ja turvapiirin luokka (Taulukko 5). (Kallio 2012, 6–7; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 42.)

Taulukko 5. Yksinkertainen menettelytapa suoritustason PL määrittämiseksi (SFS-EN ISO 13849-1:2008, 52.)

Luokka	B	1	2	2	3	3	4
$DC_{avg}$	nolla (none)	nolla (none)	matala (low)	keskimääräinen (medium)	matala (low)	keskimääräinen (medium)	korkea (high)
$MTTF_d$ kullekin kanavalle							
matala (low)	a	Ei kata	a	b	b	c	Ei kata
keskimääräinen (medium)	b	Ei kata	b	c	c	d	Ei kata
korkea (high)	Ei kata	c	c	d	d	d	e

Sarjaankytketyille turvapiirin osille voidaan laskea yksinkertaisesti PL-tasot jakamalla ne pienempiin osiin. Taulukon 6 (s. 10) mukaisesti voidaan yhdistää turvapiirin osien PL-tasot koko piirin PL-tasoksi. Ensimmäiseksi tunnistetaan turvapiirin matalin suoritustaso  $PL_{low}$ . Seuraavaksi tunnistetaan  $N_{low}$ , joka on niiden osien lukumäärä, joilla suoritustaso on  $PL_{low}$ . Lopuksi todetaan taulukosta 6 (s. 10) koko piirin suoritustaso PL. (Kallio 2012, 7–8; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 92.)

Taulukko 6. Sarjaankytkettyjen turvapiirin osien PL-tasojen yhdistäminen koko piiriin PL-tasoksi. (SFS-EN ISO 13849-1:2008, 92.)

$PL_{low}$	$N_{low}$	$\Rightarrow$	PL
a	$> 3$	$\Rightarrow$	Ei mitään, ei sallittu
	$\leq 3$	$\Rightarrow$	a
b	$> 2$	$\Rightarrow$	a
	$\leq 2$	$\Rightarrow$	b
c	$> 2$	$\Rightarrow$	b
	$\leq 2$	$\Rightarrow$	c
d	$> 3$	$\Rightarrow$	c
	$\leq 3$	$\Rightarrow$	d
e	$> 3$	$\Rightarrow$	d
	$\leq 3$	$\Rightarrow$	e

HUOM. Tähän taulukoon lasketut arvot perustuvat luotettavuusarvoihin kunkin suoritusastan keskipisteessä.

#### 4.2.1 Vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika, $MTTF_d$

Vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika tulee laskea jokaiselle komponentille erikseen. Komponenttien  $MTTF_d$ -arvo on ensisijaisesti saatavilla valmistajan antamista tiedoista. Useasti se joudutaan kuitenkin laskemaan valmistajan määrittelemän  $B_{10d}$ -arvon avulla (Kaava 1).  $B_{10d}$ -arvo kuvaa keskimääräistä toimintajaksojen lukumäärää, johon mennessä 10 % komponenteista vikaantuu vaarallisesti ja  $n_{OP}$  kuvaa toimintajaksojen lukumäärää vuodessa. Mikäli valmistaja ei ole ilmoittanut arvoja voidaan  $MTTF_d$ - tai  $B_{10d}$ -arvo katsoa liitteestä 1 tai Standardin SFS-EN ISO 13849-1 taulukosta C.1. Jos näillä tavoilla ei pystytä määrittämään komponentille  $MTTF_d$ - tai  $B_{10d}$ -arvoa, on komponentin  $MTTF_d$ -arvoksi valittava 10 vuotta. (Kallio 2012, 8; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 110.)

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \times n_{OP}} \quad (1)$$

Seuraavaksi komponenteille saatujen arvojen avulla lasketaan koko kanavan  $MTTF_d$  kaavalla 2. Jokaisen kanavan suurimpana sallittuna  $MTTF_d$ -arvona voidaan käyttää 100:a vuotta. (Kallio 2012, 8; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 46.)

$$\frac{1}{MTTF_{d,Ch}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{MTTF_{d,i}} \quad (2)$$

Kanavien  $MTTF_d$ -arvot on jaettu kolmeen ryhmään. Matalan tason  $MTTF_d$ -arvo on 3–10 vuotta, keskimääräisen tason arvo on 10–30 vuotta ja korkean tason arvo on 30–100 vuotta (Taulukko 7 s. 11). (Kallio 2012, 8; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 46.)

Taulukko 7. Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika  $MTTF_d$  (SFS-EN ISO 13849-1:2008, 46.)

MTTF <sub>d</sub>	
Kunkin kanavan merkintä	Kunkin kanavan vaihteluväli
matala (low)	3 vuotta ≤ MTTF <sub>d</sub> < 10 vuotta
keskimääräinen (medium)	10 vuotta ≤ MTTF <sub>d</sub> < 30 vuotta
korkea (high)	30 vuotta ≤ MTTF <sub>d</sub> ≤ 100 vuotta

HUOM. 1 Kunkin kanavan MTTF<sub>d</sub>-arvojen vaihteluvälien valinta perustuu nykytekniikan mukaisista kenttähavainnoista saatuihin vikataajuuksiin ja ne muodostavat tietyn tyyppisen logaritmisesti asteikon, joka sopii logaritmisesti suoritustason asteikkoon. Todellisten turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien jokaisen kanavan MTTF<sub>d</sub>-arvoja, jotka ovat alle kolme vuotta, ei oleteta esiintyvän, koska tämä tarkoittaisi, että yhden vuoden kuluttua noin 30 % markkinoilla olevista järjestelmistä vikaantuisivat ja ne pitäisi korvata. Minkään kanavan MTTF<sub>d</sub>-arvoa yli 100 vuotta ei hyväksytä, koska suurien riskien varten olevat turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat eivät saisi riippua yksistään komponenttien luotettavuudesta. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien vahvistamiseksi systemaattisia ja satunnaisia vikaantumisia vastaan olisi vaadittava täydentäviä keinoja kuten redundanssia ja testausta. Käytännön syistä vaihteluvälit rajoitetaan kolmeen. Jokaisen kanavan MTTF<sub>d</sub>-arvon rajoittaminen enintään 100 vuoteen koskee turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien yhtä kanavaa, jotka toteuttavat turvatoiminnon. Korkeampia MTTF<sub>d</sub>-arvoja voidaan käyttää yksittäisille komponenteille (ks. taulukko D.1).

HUOM. 2 Tässä taulukossa esitettyjen rajojen tarkkuuden oletetaan olevan 5 %.

#### 4.2.2 Diagnostiikan kattavuus, DC

Ohjausjärjestelmän on pystyttävä havaitsemaan järjestelmän eri rakennesoissa olevat viat. Diagnostiikan kattavuudella tarkoitetaan komponenttien valvontaa, minkä avulla on tarkoitus paljastaa vaarallinen vikaantuminen ennen turvatoiminnon menettämistä. Diagnostiikan kattavuus on jaettu neljään ryhmään (Taulukko 8):

- Nolla, kun vaarallisista vikaantumisista havaitaan alle 60 %
- Matala, kun vaarallisista vikaantumisista havaitaan 60–90 %
- Keskimääräinen, kun vaarallisista vikaantumisista havaitaan 90–99 %
- Korkea, kun vaarallisista vikaantumisista havaitaan yli 99 %.

Diagnostiikan kattavuus riippuu pääasiassa valvontamenetelmistä. DC-arvo määritetään jokaiselle komponentille. Liitteessä 2 on esimerkkejä yleisimmistä valvontamalleista. (Siirilä & Kerttula 2009, 169; Kallio 2012, 9.)

Taulukko 8. Diagnostiikan kattavuus. (SFS-EN ISO 13849-1:2008, 48.)

DC	
Merkintä	Vaihteluväli
nolla (none)	DC < 60 %
matala (low)	60 % ≤ DC < 90 %
keskimääräinen (medium)	90 % ≤ DC < 99 %
korkea (high)	99 % ≤ DC

HUOM. 1 Useasta osasta koostuvan turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän osan diagnostiikan kattavuudelle (DC) käytetään kuvassa 5, kohdassa 6 ja liitteessä E.2 keskimääräistä diagnostiikan kattavuutta (DC<sub>avg</sub>).

HUOM. 2 Diagnostiikan kattavuudelle valitut arvojen vaihteluvälit perustuvat avainarvoihin 60 %, 90 % ja 99 %, joita käytetään myös muissa standardeissa (esim. IEC 61508), joissa käsitellään diagnostiikan kattavuuden testauksia. Tutkimukset osoittavat, että pikemminkin (1 – DC) kuin itse DC, on testauksen tehokkuudelle ominainen mitta. Avainarvoja 60 %, 90 % ja 99 % vastaavat (1 – DC) arvot muodostavat tietyn tyyppisen logaritmisesti asteikon, joka sopii logaritmisesti suoritustason asteikkoon. DC-arvoa 60 % pienemmällä arvolla on vain vähäinen merkitys testatun järjestelmän luotettavuuteen ja siksi se merkitään "nolla (none)". DC-arvoa 99 % suurempaa arvoa on hyvin vaikea saavuttaa monimutkaisilla järjestelmillä. Käytännön syistä vaihteluvälit rajoitetaan neljään. Tässä taulukossa esitettyjen rajojen tarkkuuden oletetaan olevan 5 %.

#### 4.2.3 Luokat

Turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän osan on kuuluttava yhteen viidestä luokasta B, 1, 2, 3 tai 4. Luokat ovat perusmuuttujia, joita käytetään



tään tietyn suoritustason saavuttamiseen. Luokan valintaan vaikuttaa vaadittu suoritustaso  $PL_r$ , vaarallinen keskimääräinen vikaantumisen  $MTTF_d$  ja diagnostiikan kattavuus DC (Kuvio 2 s. 13). Turvapiirin osan rakenteella on myös vaikutus luokan valintaan. Luokat voidaan esittää turvallisuuteen liittyvänä lohkokaaaviona eli nimettynä rakenteena (Liite 3). Luokissa 2–4 on käytettävä toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi. (Siirilä & Kerttula 2009, 157; Kallio 2012, 9; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 76.)

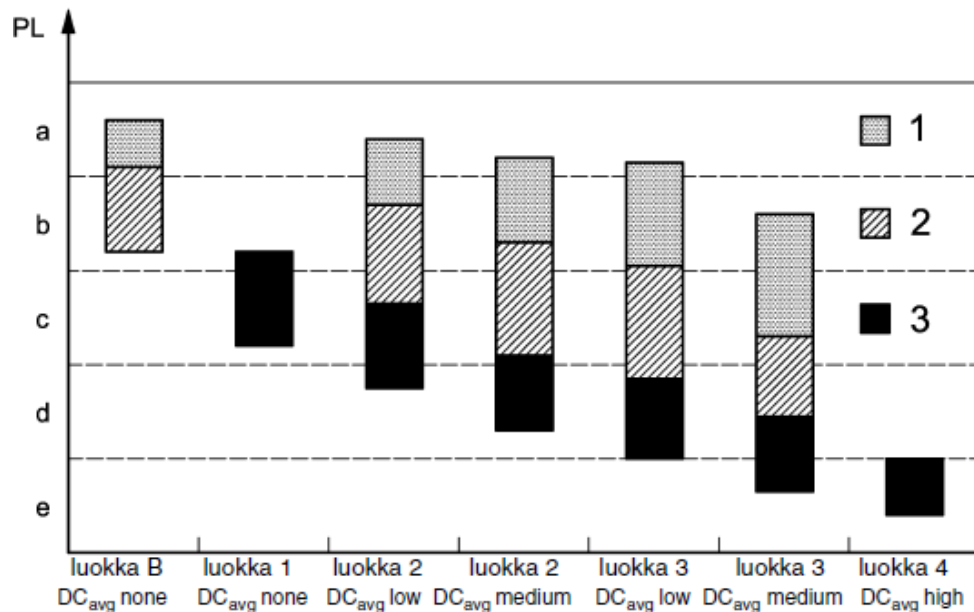
Luokka B on perusluokka, jossa yksittäinen vika voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat on suunniteltava, rakennettava, valittava, koottava ja yhdistettävä asiaankuuluvien standardien ja periaatteiden mukaisesti. Tässä luokassa on huomiotava odotettavissa olevat käyttökuormitukset, käsiteltävien aineiden vaikutukset sekä merkittävät ulkoiset vaikutukset kuten tärinä, lämpötila tai kosteus. Lisäksi on noudatettava yleisiä turvallisuuden peruseriaatteita. Luokan B järjestelmässä ei huomioida diagnostiikan kattavuutta DC ja vaarallisen keskimääräisen vikaantumisajan  $MTTF_d$  tulee olla 3–29 vuotta. Suurin saavutettava suoritustaso on PL b. (Siirilä & Kerttula 2009, 158; Kallio 2012, 10; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 76.)

Luokan 1 on täytettävä luokan B vaatimukset. Lisäksi ohjausjärjestelmän osat on suunniteltava ja rakennettava käyttäen hyvin koeteltuja komponentteja. Hyvin koeteltu komponentti on sellainen, jota on käytetty aiemmin vastaavissa sovelluksissa hyvin tuloksin tai joka on valmistettu ja todennettu luotettavaksi turvallisuuteen liittyvissä sovelluksissa. Luokan 1 järjestelmissä ei ole diagnostiikan kattavuutta ja  $MTTF_d$  tulee olla 30–100 vuotta. Suurin saavutettava suoritustaso on PL c. (Siirilä & Kerttula 2009, 158; Kallio 2012, 10; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 78.)

Luokassa 2 on sovellettava samoja vaatimuksia kuin luokassa B. Lisäksi on käytettävä hyvin koeteltuja komponentteja. Koneen ohjausjärjestelmän tulee tarkistaa turvallisuuteen liittyvät toiminnot sopivin väliajoin vikojen paljastumiseksi. Turvatoiminnon tarkistuksen on tapahduttava koneen käynnistyksen yhteydessä ja ennen minkään vaaratilanteen alkamista. Koneen käynnistyksen estäminen tai käynnissä olevan koneen pysäyttäminen tulee tapahtua, jos tarkistuksen yhteydessä havaitaan vika. Luokan 2 diagnostiikan kattavuus tulee olla vähintään matala ja  $MTTF_d$  3–100 vuotta riippuen vaadittavasta suoritustasosta. Toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi on käytettävä. Suurin saavutettava suoritustaso on PL d. (Siirilä & Kerttula 2009, 158; Kallio 2012, 10; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 80.)

Luokassa 3 on käytettävä samoja vaatimuksia kuin luokassa B. Lisäksi on käytettävä hyvin koeteltuja komponentteja. Ohjausjärjestelmän osat tulee suunnitella siten, ettei yksittäinen vika johda turvatoiminnon menettämiseen. Yksittäisen vian on paljastuttava turvatoiminnon seuraavaan vaateen yhteydessä tai ennen sitä, jos se on kohtuudella mahdollista. Yleensä nämä vaatimukset toteutetaan kahdennuksilla. Luokan 3 diagnostiikan kattavuus tulee olla vähintään matala ja  $MTTF_d$  3–100 vuotta. Toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi on sovellettava. Suurin saavutettava suoritustaso on PL d. (Siirilä & Kerttula 2009, 158; Kallio 2012, 11; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 82.)

Luokassa 4 on sovellettava samoja vaatimuksia kuin luokassa B. Lisäksi tulee käyttää hyvin koeteltuja komponentteja. Ohjausjärjestelmän osat on suunniteltava siten, että yksittäinen vika ei missään turvallisuuteen liittyvissä osissa johda turvatoiminnon menettämiseen. Yksittäisen vian tulee paljastua turvatoimintojen seuraavan vaateen yhteydessä tai ennen sitä. Jos vikojen paljastuminen ei ole mahdollista, vikojen kerääntyminen ei saa johtaa turvatoiminnon menettämiseen. Yksittäisen vian esiintyessä turvatoiminto suoritetaan aina. Luokassa 4 diagnostiikan kattavuuden tulee olla korkea ja  $MTTF_d$  on oltava vähintään 30–100 vuotta. Toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi on sovellettava. Suurin saavutettava suoritustaso on PL e. (Siirilä & Kerttula 2009, 158; Kallio 2012, 11; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 84.)



Kuvio 2. Luokkien,  $MTTF_d$ - ja  $DC_{avg}$ -arvojen keskinäinen suhde ja suoritustaso PL (SFS-EN ISO 13849-1:2008, 52.)

#### 4.2.4 Yhteisvikaantuminen, CCF

Yhteisvikaantumisella tarkoitetaan yhden alkusyyn seurauksesta useamman komponentin vikaantumista. Turvallisuusjärjestelmän tulee selvittää tilanteista, jolloin samasta syystä aiheutuu useita vikoja. Yhteisvikaantumisen vähentämiseksi on listattu toimenpiteitä liitteeseen 4. Jokaiselle toimenpiteelle voidaan antaa vain täydet pisteet tai nolla pistettä. Tulokseksi pitää saada vähintään 65, jotta voidaan katsoa riittävät toimenpiteet toteutetuksi yhteisvikaantumista vastaan. (Siirilä 2009, 155; Kallio 2012, 12; SFS-EN ISO 13849-1:2008, 130.)

## 5 TOTEUTUS

Työhön valittiin kolme erilaista kohdetta, joiden turvallisuus vaati Saariainen Oy:n turvallisuuskartoituksen mukaan toimenpiteitä. Kohteet rajattiin ja valittiin kartoituksessa suurimman riskiarvon saaneiden laitteiden joukosta.

Ensimmäinen ja haastavin kokonaisuus oli elevaattori, jonka tehtävänä on kuljettaa laatikot yläkerrasta alakertaan (Kuva 1). Elevaattorin turvapiiri suunniteltiin ja rakennettiin alusta alkaen.



Kuva 1. Elevaattori (Kuva A. Kaurto 2014.)

Toiseksi kohteeksi valittiin lavanpurkajan tyhjien lavojen makasiini. Makasiinin tehtävänä on kerätä tyhjät lavat pinoksi (Kuva 2 s. 15). Makasiinin olemassa olevaan turvapiiriin lisättiin turvatutka.



Kuva 2. Lavanpurkajan lavamakasiini (Kuva A. Kaurto 2014.)

Kolmas kokonaisuus sisälsi 24 kappaletta sivuttaissiirtäjiä. Siirtäjän tehtävä on siirtää laatikot kuljettimelta toiselle (Kuva 3). Siirtäjien turvapiiri toteutettiin käytössä olevalla logiikalla ilman turvaohjainta. Siirtäjien miehistöluukkuihin asennettiin ovikytkimet ja siirtäjien paineilmaohjauksiin paineenpoistoventtiilit.



Kuva 3. Sivuttaissiirtäjä (Kuva A. Kaurto 2014.)

## 6 TURVAPIIRIT

Tässä luvussa määritetään jokaiselle kohteelle vaadittu suoritustaso  $PL_r$  ja turvapiirien suoritustasot. Turvapiirien määrittäminen aloitettiin tutustumalla aikaisemmin toteutettuun turvallisuuskartoitukseen. Turvallisuuskartoituksessa oli määritelty riskin suuruus ja vammojen vakavuus.

Turvapiirien suoritustaso PL määritettiin Sistema-ohjelmistolla (Liite 5). Sistema on Saksassa kehitetty ohjelmisto koneiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnitteluun. Sistema kattaa kaikilla teknologioilla toteutettavat koneiden ohjausjärjestelmät. Se perustuu standardin SFS-EN ISO 13849-1 määräyksiin. Ohjelmiston automaattisella laskennalla saadaan selvitettyä suunnitellun ohjausjärjestelmän saavuttama suoritustaso. Ohjelmiston etuna on, että välttyään hankalilta luotettavuusteknisiltä laskelmilta, jotka perustuvat Markovin dynaamisiin malliratkaisuihin. Yhdenmukaisten käsitteiden ja menetelmien ansiosta suunnitteluvirheet ja väärinkäsitykset vähenevät. Lisäksi ohjelmassa vaatimustenmukaisuuden varmistamisesta ja dokumenttien laadinnasta on tehty helpompaa. (Vähäjylkkä 2013, 31.)

Turvapiirien laskennassa tulee arvioida kuinka monta kertaa komponentti vaihtaa tilaa vuoden aikana. Turvapiirien komponenttien arvioitiin vaihtavan tilaa yhden kerran kahdeksassa tunnissa. KytKentöjä komponenteille tulee 936 kappaletta vuodessa. Arviot perustuivat häiriöhistoriatietoihin.  $MTTF_d$ -arvot saatiin jakamalla valmistajan ilmoittamat  $B_{10d}$ -arvot kytkentöjen lukumäärällä.

### 6.1 Elevaattorin sisäänmenon ja ulostulon valvonta

Elevaattorin sisäänmenon ja ulostulon vaarana on takertuminen, rakenteiden väliin puristuminen sekä odottamaton käynnistyminen henkilön selvitäessä häiriötä. Normaalitylanteessa henkilö ei työskentele elevaattorin vaara-alueella.

Turvallisuuskartoituksessa vamman vakavuudeksi ilmoitettiin kehon osien puristuminen, suuren luun murtuma tai kuolema. Tämän perusteella vamman vakavuuden arvo on S2. Vaaralle altistumisen taajuuden arvo on F1, koska elevaattori vaatii käyttäjien toimenpiteitä harvemmin kuin kerran tunnissa. Elevaattorin sisälle kaatuneiden tuotteiden poistamisessa ohjeistettiin käyttämään poimintatyökälyä, mahdollisuus välttää vaaraa on P1. Sisäänmenon ja ulostulon turvapiirien vaadituksi suoritustasoksi määräytyi  $PL_r c$ .

Kuviossa 3 (s. 18) on esitetty turvallisuuden lohkokaaaviolla elevaattorin turvapiiri. Sisäänmenon ja ulostulon valvonta toteutettiin Sickin V300 turvakameroilla SC1 ja SC2. Turvakamerat kytkettiin Sickin Flexi soft ohjelmoitavaan turvaohjaimeen. Turvaohjain ohjaa kahta ABB:n kontaktoria K1 ja K2, jotka ohjaavat elevaattorin tehonsyöttöä. Valmistaja ilmoittaa turvakameroiden suoritustasoksi PL d ja ohjelmoitavan turvaohjaimen suoritustasoksi PL e. Kontaktoreiden suoritustaso laskettiin Sistema-ohjelmistolla (Kuva 4 s. 17). Koska kontaktoreita valvotaan ristiin, mää-

räytyi luokaksi 3.  $B_{10d}$ -arvoksi valittiin standardin mukaan 2 000 000. Toimintajaksoja vuodessa on 936 ja ne määräytyivät aiemmin esitellyllä tavalla. Sistema ilmoitti  $MTTF_d$ -arvoksi 21 367,52 vuotta, joka pienennettiin 100 vuoteen standardin ohjeiden mukaisesti.  $MTTF_d$ -taso on korkea. Kontaktoreita valvotaan mekaanisesti toisiinsa kytkettyjen koskettimien avulla, jolloin diagnostiikan kattavuus on DC 99 %. Yhteisvikaantumisen estämiseksi tehtiin useita toimenpiteitä (Liite 4), näin saatiin riittävä CCF-arvo 65. Kontaktoreiden suoritustasoksi saatiin PL e. Sisäänmenon ja ulostulon valvonnalle määritetty suoritustaso  $PL_r$  c täyttyy, koska turvapiirin suoritustaso on PL d.

Tila	Tyyppi	Nimi	PL	PFH [1/h]	CCF-piste...	DCavg [%]	MTTFd [v]	Luokka	Luokan vaatimukset
✓	SB	Safety camera system V300 (R...	d	3,2E-9	ei asiaanku...	ei asiaanku...	ei asiaanku...	3	täytetty
✓	SB	Flexi Soft FX3-XTIO [1-chann...	e	4,8E-9	ei asiaanku...	ei asiaanku...	ei asiaanku...	3	täytetty
✓	SB	Flexi Soft FX3-XTIO [1-chann...	e	4,8E-9	ei asiaanku...	ei asiaanku...	ei asiaanku...	3	täytetty
✓	SB	Flexi Soft FX3-CPU0 (Release ...	e	1,07E-9	ei asiaanku...	ei asiaanku...	ei asiaanku...	4	täytetty
✓	SB	Kontaktorit ABB (2kpl)	e	2,47E-8	65 (täytetty)	99 (Korkea)	100 (Korkea)	3	täytetty

Kuva 4. Sistemalla laskettu sisäänmenon ja ulostulon valvonta. (Kuva A. Kaurto 2014.)

## 6.2 Elevaattorin oven valvonta

Elevaattorin alakerrassa on avattava verkko-ovi, josta käyttäjä voi poimia laatikoista pudonneita tuotteita elevaattorin sisältä. Vaarana on takertuminen, rakenteiden väliin puristuminen sekä odottamaton käynnistyminen henkilön poistaessa pudonneita tuotteita.

Turvallisuuskartoituksessa vamman vakavuudeksi ilmoitettiin kehon osien puristuminen, suuren luun murtuma tai kuolema. Tällä perusteella vamman vakavuuden arvo on S2. Vaaralle altistumisen taajuuden arvo on F1, koska elevaattori vaatii käyttäjien toimenpiteitä harvemmin kuin kerran tunnissa. Elevaattorin sisälle kaatuneiden tuotteiden poistamisessa ohjeistettiin käyttämään poimintatyökälyä, mahdollisuus välttää vaaraa on P1. Oven valvonnan turvapiiriin vaadituksi suoritustasoksi määräytyi  $PL_r$  c.

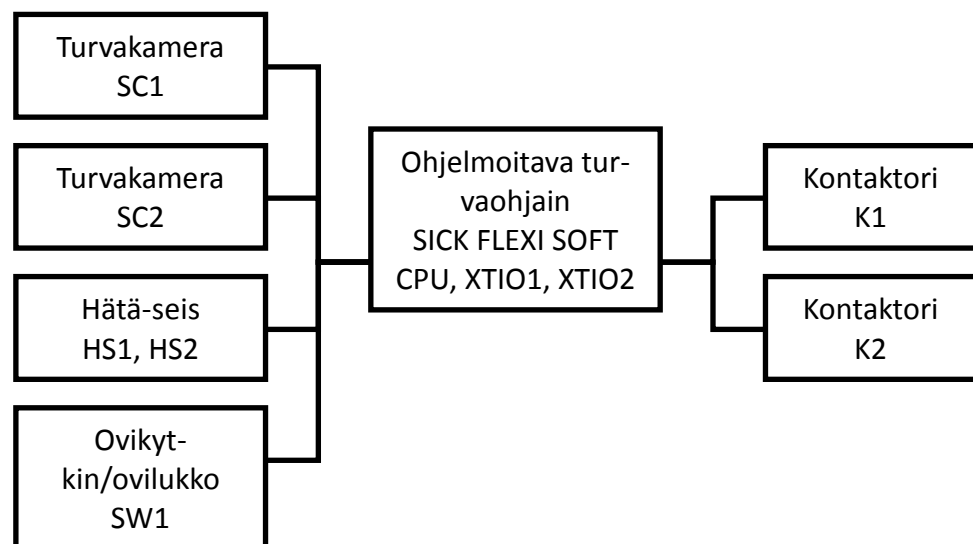
Kuviossa 3 (s. 18) on esitetty turvallisuuden lohkokaaaviolla elevaattorin turvapiiri. Oven valvonta toteutettiin Omronin valmistamalla D4GL sarjan ovilukolla SW1. Ovilukko kytkettiin ohjelmoitavaan turvaohjaimen. Turvaohjain ohjaa kahta ABB:n kontaktoria K1 ja K2. Valmistaja ilmoittaa ohjelmoitavan turvaohjaimen suoritustasoksi PL e. Kontaktoreiden suoritustaso laskettiin luvussa 6.1 (s. 16) ja suoritustaso on PL e. Ovilukon luokka on 1.  $B_{10d}$ -arvo on valmistajan mukaan 500 000. Toimintajaksojen määrä vuodessa on 936 kappaletta. Sistema ilmoitti  $MTTF_d$ -arvoksi 534,19 vuotta, joka pienennettiin 100 vuoteen standardin ohjeiden mukaisesti.  $MTTF_d$ -taso on korkea. Luokassa 1 diagnostiikan kattavuutta ei ole, eikä toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi tarvita. Oven valvonnalle määritetty suoritustaso  $PL_r$  c täyttyy, koska turvapiiriin suoritustaso on PL c.

## 6.3 Elevaattorin hätä-seis

Elevaattorin ohjauspaneeliin asennettiin hätä-seis-painikkeet. Hätä-seis-painikkeet liitettiin myös sisäänsyötön olemassa olevaan turvapiiriin, jolloin koko sisäänsyöttöalue pysähtyy myös uusia painikkeita painettaessa.

Turvallisuuskartoituksessa vamman vakavuudeksi ilmoitettiin kehon osien puristuminen, suuren luun murtuma tai kuolema. Tällä perusteella vamman vakavuuden arvo on S2. Vaaralle altistumisen taajuuden arvo on F1, koska hätä-seis-painikkeeseen ei normaalitilanteessa vaikuteta ja vaikuttamisen taajuus on harvemmin kuin kerran tunnissa. Hätä-seis-piirillä vähennetään vaaraa, koska kaikista sisäänsyöttö-alueen hätä-seis-painikkeista voidaan pysäyttää elevaattori. Mahdollisuus välttää vaaraa on P1. Hätä-seis-piirin vaaditaksi suoritustasoksi määräytyi PLr c.

Kuviossa 3 on esitetty turvallisuuden lohkokaaviollla elevaattorin turvapiiri. Hätä-seis-piiri toteutettiin kahdella sarjaankytketyllä painikkeella. Painikkeet ovat Schneider electricin valmistamia painikkeita HS1 ja HS2. Painikkeet kytkettiin ohjelmoitavaan turvaohjaimen. Turvaohjain ohjaa kahta ABB:n kontaktoria K1 ja K2. Valmistaja ilmoittaa ohjelmoitavan turvaohjaimen suoritustasoksi PL e. Kontaktoreiden suoritustaso laskettiin Sistema-ohjelmistolla ja suoritustaso on PL e. Hätä-seis-painikkeiden luokka on 1.  $B_{10d}$ -arvo on valmistajan mukaan 1 500 000. Toimintajaksojen määrä vuodessa on 936 kappaletta. Sistema ilmoitti  $MTTF_d$ -arvoksi 24 038,46 vuotta, joka pienennettiin 100 vuoteen standardin ohjeiden mukaisesti.  $MTTF_d$ -taso on korkea. Luokassa 1 diagnostiikan kattavuutta ei ole, eikä toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi tarvita. Hätä-seis-piirille määritetty suoritustaso  $PL_r$  c täyttyy, koska turvapiirin suoritustaso on PL c.



Kuvio 3. Elevaattorin turvallisuuteen liittyvä lohkokaavio.

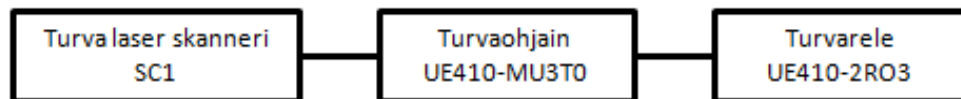
#### 6.4 Lavamakasiinin ulostulon valvonta

Lavamakasiinin tyhjen lavojen ulostulossa vaarana on rakenteiden väliin puristuminen, purkajan nostolaitteen isku sekä käyttäjän mahdollisuus kii- vetä lavoja pitkin lavanpurkajan sisälle. Normaalitilanteessa makasiini ei vaadi käyttäjältä toimenpiteitä.

Turvallisuuskartoituksessa vamman vakavuudeksi ilmoitettiin kehon osien puristuminen, suuren luun murtuma tai usean raajan menetys. Tällä perus- teella vamman vakavuuden arvo on S2. Vaaralle altistumisen taajuuden arvo on F1, koska makasiini vaatii käyttäjän toimenpiteitä harvemmin kuin kerran tunnissa. Makasiinin liikkeet ovat hitaita ja helposti havaitta- vissa, joten mahdollisuus välttää vaaraa on P1. Ulostulon valvonnan tur- vapiiriin vaadituksi suoritustasoksi määräytyi PLr c.

Kuviossa 4 on esitetty turvallisuuden lohkoakaaviolla lavamakasiinin tur- vapiiri. Lavamakasiinin turvapiiri toteutettiin lisäämällä turvatutka ole- massa olevaan turvapiiriin. Olemassa oleva turvapiiri täyttää tarvittavat vaatimukset, eikä sitä käsitellä tässä työssä.

Lavamakasiinin ulostulon valvonta toteutettiin Sickin S300 turvalasers- kannerilla SC1. Turvakamerat kytkettiin Sickin Flexi classic turvaoh- jaimeen MU3T0. Turvaohjain ohjaa Sickin 2RO3-turvarelettä, jonka avau- tuvat kärjet kytkettiin lavamakasiinin olemassa olevaan turvapiiriin. Val- mistaja ilmoittaa turvatutkan suoritustasoksi PL d, turvaohjaimen suoritustasoksi PL e sekä turvareleen suoritustasoksi PL e. Ulostulon valvonnalle määritetty suoritustaso PL<sub>r</sub> c täyttyy, koska turvapiiriin suoritustaso on PL d.



Kuvio 4. Lavamakasiinin turvallisuuteen liittyvä lohkoakaavio.

#### 6.5 Sivuttaissiirtäjän paineenpoisto

Sivuttaissiirtäjän vaarana on sormien tai raajan puristuminen siirtäjän ja kuljettimen rakenteiden väliin. Siirtäjä on suojattu verkko-aidalla ja aidas- sa on miehistöluukku. Luukun kautta käyttäjän on mahdollista poistaa ju- miutunut laatikko.

Turvallisuuskartoituksessa vamman vakavuudeksi ilmoitettiin sormen ni- velen toiminta-alueen rajoittuminen tai palan irtoaminen sormesta. Tällä perusteella vamman vakavuuden arvo on S1. Vaaralle altistumisen taajuu- den arvo on F1, koska siirtäjä vaatii käyttäjän toimenpiteitä harvemmin kuin kerran tunnissa. Siirtäjän liikkeet ovat hitaita ja helposti havaitta- vissa, tästä johtuen mahdollisuus välttää vaaraa on P1. Paineenpoiston vaadi- tuksi suoritustasoksi määräytyi PLr b.



Kuviossa 5 on esitetty turvallisuuden lohkokaaviolla paineenpoisto turvapiirit. Turvapiirit toteutettiin Bernsteinin valmistamilla SK sarjan ovikytkimillä SW3–26. Ovikytkimien rajatiedot kytkettiin Siemensin logiikkaan. Logiikan lähdöt kytkettiin ovikytkimien pakkotoimisten kärkien kautta Feston valmistamille paineenpoistoveniille PV3–26.

Ovirajan luokka on 1.  $B_{10d}$ -arvo on valmistajan mukaan 2 000 000. Toimintajaksojen määrä vuodessa on 936 kappaletta. Sistema ilmoitti  $MTTF_d$ -arvoksi 2136,75 vuotta, joka pienennettiin 100 vuoteen standardin ohjeiden mukaisesti.  $MTTF_d$ -taso on korkea. Luokassa 1 diagnostiikan kattavuutta ei ole, eikä toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi tarvita.

Paineenpoistoveniin luokka on 1.  $B_{10d}$ -arvo valittiin standardin mukaisesti 20 000 000. Toimintajaksoja vuodessa on 936 kappaletta. Sistema ilmoitti  $MTTF_d$ -arvoksi 21 367,52 vuotta, joka pienennettiin 100 vuoteen standardin ohjeiden mukaisesti.  $MTTF_d$ -taso on korkea. Luokassa 1 diagnostiikan kattavuutta ei ole, eikä toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi tarvita. Paineenpoistolle määritetty suoritustaso  $PL_r$  b täyttyy, koska turvapiirin suoritustaso on  $PL_c$ .



Kuvio 5. Sivuttaissiirtäjän turvallisuuteen liittyvä lohkokaavio.

## 7 AUTOMAATIOSUUNNITTELU

Tässä luvussa esitellään työssä tehtyjen turvapiirien ja niihin liittyvien muiden piirien automaatio suunnitelmat. Suunnitelmien toteutus aloitettiin selvittämällä alkutilanne ja tutustumalla jokaisen kohteen sähköpiirustuksiin. Jokaisesta kohteesta piirrettiin piirikaaviot uusien lisäyksien osalta. Elevaattorille suunniteltiin uusi keskus, johon asennettiin turvapiirin ohjaukseen tarvittavat komponentit. Piirikaaviot ja keskuksen kokoonpanopiirustus suunniteltiin Cads-suunnitteluohjelmistolla. Osaluettelo toteutettiin Excel-ohjelmistoa käyttäen.

### 7.1 Komponenttien valinta

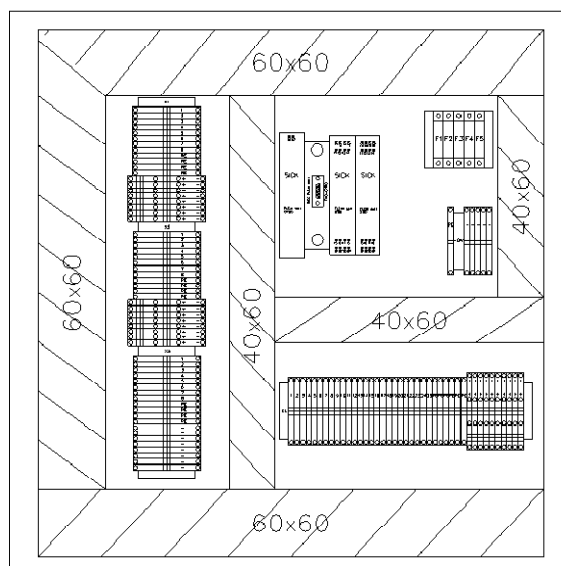
Suunnitelmien toteutus aloitettiin valitsemalla työn tarkoituksiin sopivat komponentit. Komponenttien valinnassa päädyttiin käyttämään aikaisemmin käytössä olevia ja hyviksi havaittuja komponentteja. Elevaattorin sisäänmenon ja ulostulon valvonnassa päätettiin käyttää turvakameroita. Turvakamerat soveltuivat tarkoitukseen hyvin aukkojen optimaalisen muodon ja koon ansiosta. Elevaattorin ohjelmoitava turvaohjain valittiin kompaktin koon ja laajennusmahdollisuuksien vuoksi.

Lavanpurkajan makasiinin ja sivuttaissiirtäjien turvapiireissä käytetyt komponentit olivat aikaisemmin hyviksi havaittuja. Komponenteille lisävaatimusta asetti logistiikkakeskuksen 3 °C:n lämpötila.

## 7.2 Kokoonpanopiirustus

Kokoonpanopiirustuksen tarkoituksena oli havainnollistaa komponenttien asettelu ja tarkka kuva keskuksista. Kuvaan piirrettiin tarvittavat riviliittinryhmät, sulakeryhmät, kourut sekä ohjelmoitavan turvaohjaimen kortit. Kokoonpanopiirustus piirrettiin mittasuhteisiin, että voitiin varmistua kaikkien tarvittavien komponenttien mahtuminen keskuksen koteloon.

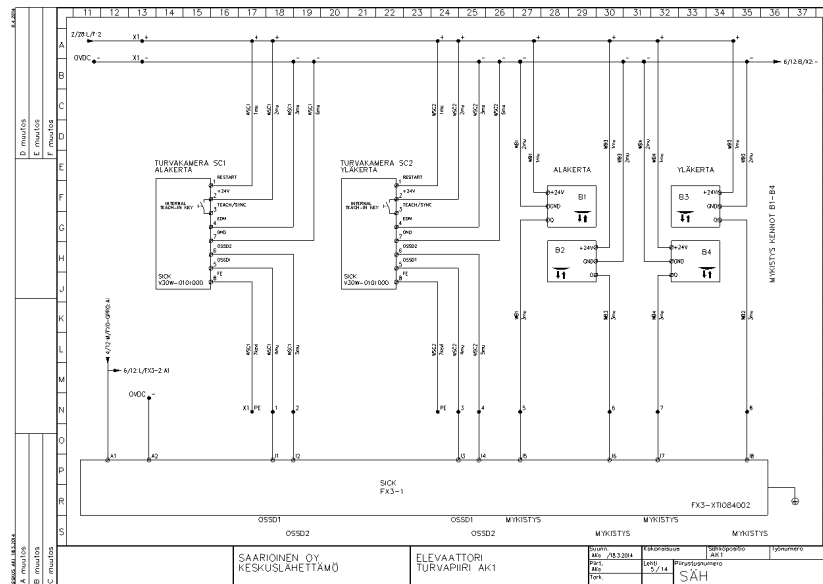
Kuvassa 5 näkyy keskuksen asennettavat komponentit. Keskuksen suunniteltiin ylimääräisiä riviliittimiä ja jätettiin tyhjää tilaa ohjelmoitavan turvaohjaimen laajentamisen mahdollistamiseksi tulevaisuudessa. Keskuksen kaapeliläpivienti suunniteltiin niin, että kaapelit tuodaan keskuksen pohjasta sisälle keskuksen läpivientiholkkien avulla. Läpivientiholkit toimivat samalla kaapeleiden vedonpoistajina.



Kuva 5. Elevaattorin keskuksen kokoonpano (Kuva A. Kaurto 2014.)

## 7.3 Piirikaavio

Piirikaavioissa selvitetään, miten keskuksen sisäiset ja kentällä sijaitsevat kytkennät toteutetaan (Kuva 6 s. 22). Piirikaavion huolellisella suunnittelulla vältettiin virheelliset kytkennät asennusvaiheessa. Asennusvaiheessa kytkennät tehtiin piirikaavioiden mukaisesti, että vianetsintä ja muutosten teko tulevaisuudessa ovat mahdollisia. Piirikaaviot suunniteltiin elevaattorin, lavanpurkajan lavamakasiinin ja sivuttaissiirtäjien kytkennöille. Suunnittelussa huomioitiin turva-aluetta valvovien laitteiden vaimennukset laatikoiden ja lavojen automaattisen läpimenon mahdollistamiseksi.



Kuva 6. Elevaattorin XTIO1 kortin piirikaavio. (Kuva A. Kaurto 2014.)

Elevaattorin turvapiirin piirikaavio (Liite 6) suunniteltiin niin, että kaikki turvalaitteet kytketään keskuksessa oleviin riviliittimiin. Riviliitinryhmät jaettiin neljään ryhmään X1–X4. Riviliitinryhmät X1 ja X2 suunniteltiin niin, että ne johdotetaan keskuksen sisällä ohjelmoitavan turvaohjaimen korttien XTIO1 ja XTIO2 tuloihin. Riviliitinryhmä X3 suunniteltiin johdettavaksi XTIO 1 ja XTIO 2 korttien lähtöihin. Riviliitinryhmä X4 varattiin kentällä olevien ohjauspaneelien OP1 ja OP2 hätä-seis-piirien ketjutuksia varten sekä mitoitettiin laajennustarpeita ajatellen. Ryhmän X4 kautta liitettiin myös logistiikkakeskuksen olemassa oleviin hätä-seis-piireihin.

Keskuksen ohjelmoitavaan turvaohjaimen valittiin Profibus-liityntäkortti GPRO, joka mahdollisti turvaohjaimen tilatietojen siirtämisen Profibus-väylää pitkin logistiikkakeskuksesta ohjaavaan Siemensin logiikkaan. Tilatietoja käytettiin visuaalisen käyttöliittymän ohjelmoinnissa.

Lavamakasiinin turvapiirin piirikaavio (Liite 7) suunniteltiin vain lisäysten osalta. Makasiinin olemassa olevaan turvapiiriin liitettiin turvatutka SC1. Lisäys suunniteltiin tehtäväksi niin, että tutka kytketään Sickin turvaohjaimen UE410-MU3T0. Turvaohjain ohjaa turvarelettä UE410-2RO3, jonka potentiaali vapaat kärjet ohjaavat olemassa olevaa turvapiiriä.

Vaimennus suunniteltiin elevaattorin sisäänmenossa, ulostulossa ja lavamakasiinin ulostulossa kahdella ristikkäin asennettavalla valokennolla. Molempien valokennojen pitää olla peittyneenä ennen vaimentavan kohteen saapumista turva-alueelle. Vaimennuksia suunniteltaessa otettiin huomioon, että vaimennus ei saa aiheuttaa vaaraa työntekijöille. Työntekijöillä ei saa olla mahdollisuutta vaimentamaan valokennoja, esimerkiksi jaloillaan.

Sivuttaissiirtäjien turvapiirin piirikaaviot (Liite 8) suunniteltiin niin, että turvallinen tila toteutetaan ilman erillistä turvaohjainta. Sivuttaissiirtäjän liikettä ohjataan paineilman avulla ja turvallisessa tilassa ohjaava paineil-

ma katkaistaan. Paineenpoisto suunniteltiin niin, että Siemensin logiikan ulostulo kytketään Bernsteinin SK-UV15Z M ovirajan pakkotoimisten kärkien kautta Feston HEE-1/4-D-MIDI-24 paineenpoistovenkille. Bernsteinin ovirajan pakkotoimisten kärkien kautta tehdään takaisinkytkentä logiikan tuloon. Näin turvallinen tila saavutetaan ohjelmallisesti sekä fyysisesti toimivan ovirajan avulla.

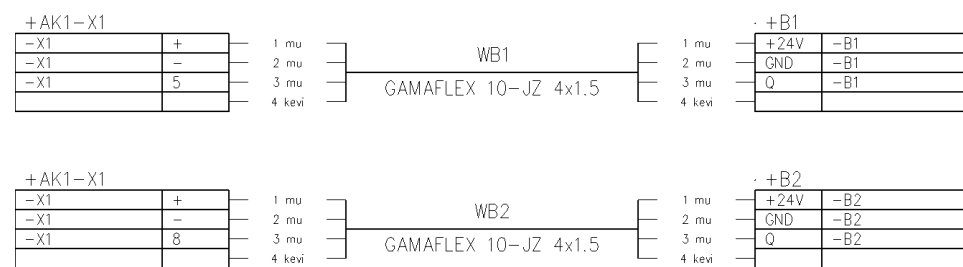
Turvapiirit suunniteltiin niin, että kentällä katkeava kaapeli tai irtoava liitos aiheuttaa aina turvapiirin siirtymisen turvalliseen tilaan. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen turvapiirin tulo on aktiivinen piirin ollessa kunnossa.

#### 7.4 Kaapeli- ja kytkentäluettelo

Kaapeli- ja kytkentäluettelossa määritellään käytettävät kaapelit ja niiden kytkennät. Luettelosta selviää kaapelin tyyppi, nimi sekä miten kaapeli kytketään (Kuva 7). Asennusvaiheessa on mahdollista tehdä kaapelivedot ja kytkennät seuraamalla pelkästään kaapeli- ja kytkentäluetteloa.

Suunnitteluvaiheessa valittiin kaapelit, joilla johdotukset laitteille toteutetaan. Työhön valittiin Gamaflexin valmistama 10-JZ tyyppin kaapeli, jolla suurin osa kytkennöistä saadaan toteutettua. Laitteet vaativat toimiakseen toisistaan eroavia kytkentöjä, joten tyyppin 10-JZ kaapelista valittiin myös eri johdinmäärällä valmistettuja kaapeleita. Gamaflexin 10-JZ-kaapeli on joustava, hienosäikeinen ja suunniteltu vaativiin tehdasolosuhteisiin. Kaapeli kestää hyvin lämpötilavaihteluita, öljyä sekä muita kemikaaleja.

Turvatutkan kaapeliksi valittiin Sickin valmistama ja tarkoitukseen soveltuva valmiskaapeli OL-1SS2G20ME15KM. Paineenpoistovenkilleiden kaapeleiksi valittiin Feston valmistamat valmiskaapelit KMEB-1-24-5-LED. Feston kaapelin venttiilin liittimessä on led indikoinnin helpottamiseksi.



Kuva 7. Elevaattorin kaapeli- ja kytkentäluettelo (Kuva A. Kaurto 2014.)

#### 7.5 Osaluettelo

Osaluetteloon listattiin kaikki keskuksessa ja kentällä käytettävät komponentit (Taulukko 9 s. 24). Luettelon avulla voidaan tarkastaa tilausta tehdessä komponenttien määrät. Osaluettelo on tärkeä myös tulevaisuudessa, esimerkiksi komponentin hajotessa listasta on helppo tarkastaa valmistaja ja komponentin tyyppi.

Taulukko 9. Osaluettelo

Tunnus	Tyyppi	Määrä	Nimi	Valmistaja	Sähkönumero/Tilausnumero
AK1	AE 1350.500	1	Keskus 500x500x300	Rittal	34 046 29
	Segma 60x60	2m	Johdoituskouru	Rittal	14 711 61
	Segma 40x60	2m	Johdoituskouru	Rittal	14 711 60
X1...X4	WDU 2.5	60	Riviliitin harmaa	Weidmuller	19 700 09
	WDK 2.5	30	Riviliitin harmaa 2 kerros	Weidmuller	19 702 01
	WPE 2.5	25	Riviliitin Kevi	Weidmuller	19 701 80
	WEW 35/2	15	Päätypuristin	Weidmuller	19 700 75
	WSI 4	5	Sulakeriviliitin	Weidmuller	19 700 04
	WAP WDK2.5	5	Päätylevy 2 kerros	Weidmuller	19 702 16
	WAP 2.5-10	6	Päätylevy harmaa	Weidmuller	19 700 45
	WQV 2.5/10	11	Ruuvattava rinnanliitäntä	Weidmuller	19 700 93
	DEK 5 GW -	3	Riviliitin merkintä	Weidmuller	19 717 46
	DEK 5 GW +	3	Riviliitin merkintä	Weidmuller	19 717 44
	DEK 5 FW 1-10	3	Riviliitin merkintä	Weidmuller	19 713 40
	DEK 5 Tyhjä	1	Riviliitin merkintä	Weidmuller	19 713 50
	K1,K2	AF12Z-30-01-21	2	Kontaktori	ABB

## 8 RAKENTAMINEN

Turvapiirit rakennettiin suunnitelmien mukaisesti. Rakentaminen aloitettiin elevaattorin keskuksen rakentamisesta (Kuva 8). Keskukseen asennettiin kaikki tilatut komponentit ja keskus johdotettiin piirikaavion mukaisesti. Keskuksen rakentamisen jälkeen asennettiin kaikki elevaattorin turvapiiriin komponentit paikoilleen. Kaapelointia varten rakennettiin kaapelitiet, joihin kaapelit kiinnitettiin. Viimeisenä kaikki kaapelit kytkettiin piirikaavion mukaisesti.



Kuva 8. Elevaattorin keskuksen pohjalevy valmiina (Kuva A. Kaurto 2014.)

Lavanpurkajan lavamakasiinin turvapiiriin rakentaminen aloitettiin asentamalla turvaohjain ja turvarele olemassa olevaan keskuksen. Komponentit johdotettiin ja kytkettiin piirikaavion mukaisesti. Turvatutka ja mykistyskennot asennettiin lavamakasiinin ulostuloon ja kaapeloitiin olemassa olevia kaapeliteitä käyttäen.

Sivuttaissiirtäjien turvapiirin rakentaminen aloitettiin asentamalla jokaiseen miehistöluukkuun oviraja. Paineenpoistovenkkiitit asennettiin lähelle siirtäjän liikkeitä ohjaavaa venttiiliä, jolloin paineilmamuutokset oli helppo tehdä. Ovirajat ja paineenpoistovenkkiitit kaapeloitiin ja kytkettiin piirikaavioiden mukaisesti. Kaapelointi ja kytkentä olivat hitaita ja hankalia työvaiheita ahtaiden tilojen vuoksi.

## 9 OHJELMOINTI

Ensimmäiseksi ohjelmointiluvussa käydään läpi työssä tehtyjä ohjelmointeja eri sovelluksilla. Opinnäytetyössä käytettiin useita ohjelmia, koska uudet turvapiirit liitettiin olemassa olevaan logiikkaan ja visuaaliseen käyttöliittymään. Lavanpurkajan lavamakasiinin ohjauspaneelien ja turvatutkan ohjelmat ja asetukset ohjelmoitiin laitekohtaisesti.

Toiseksi ohjelmointiluvussa käydään läpi testaus sekä käyttöönotto yleisellä tasolla. Jokainen ohjelma testattiin ennen käyttöönottoa, jolla varmistuttiin ohjelmoinnin virheettömyydestä.

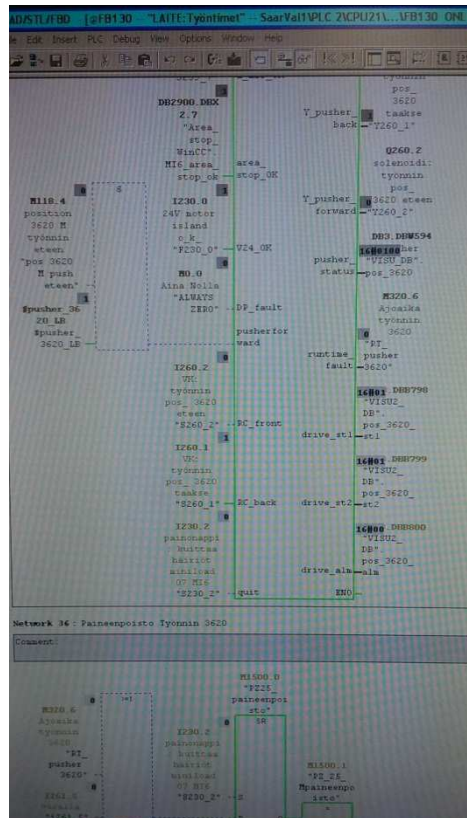
### 9.1 Step 7

Step 7 on Siemensin logiikan ohjelmointiohjelmisto. Keskuslähettämön ohjausjärjestelmä on kokonaisuudessaan toteutettu Step 7-ohjelmistolla.

Elevaattorin keskukseen asennettu Profibus-väyläliityntämoduuli otettiin käyttöön Step 7-ohjelmistolla. Ensimmäiseksi asennettiin Sickin GSD-file Hardware gonfigurationissa. Tämän jälkeen etsittiin moduuli HW-gatalogista ja määritettiin moduulin väyläosoite ja periferia I/O-alue, jolta Sickin status dataa luetaan. Väylän ohjelmoinnin jälkeen määritettiin jokaisen Sickin ohjelmasta tarvittavan I/O:n tagit. Tägeja käytetään visuaalisen käyttöliittymän ohjelmoinnissa.

Lavanpurkajan lavamakasiinin ohjelmistomuutos oli yksinkertainen toteuttaa, koska se lisättiin olemassa olevaan turvapiiriin. Lauetessaan turvapiiri toteuttaa ennalta ohjelmoidun toiminnon. Ohjelmaan lisättiin yksi tulo, joka antaa tiedon turvatutkan tilasta. Turvatutkan tilatieto haluttiin ohjauspaneelin näytölle käyttäjien työn helpottamiseksi.

Sivuttaissiirtäjien ohjelmointi aloitettiin määrittämällä jokaiselle I/O:lle tagit. Paineenpoiston ohjelma tehtiin mahdollisimman yksinkertaiseksi. Sivuttaissiirtäjän olemassa olevaan ohjelmaan lisättiin ehtoja, joilla paineenpoisto tapahtuu ja kuittaantuu (Kuva 9 s. 26). Paineenpoiston kuitaaminen vaatii käyttäjän toimenpiteitä.

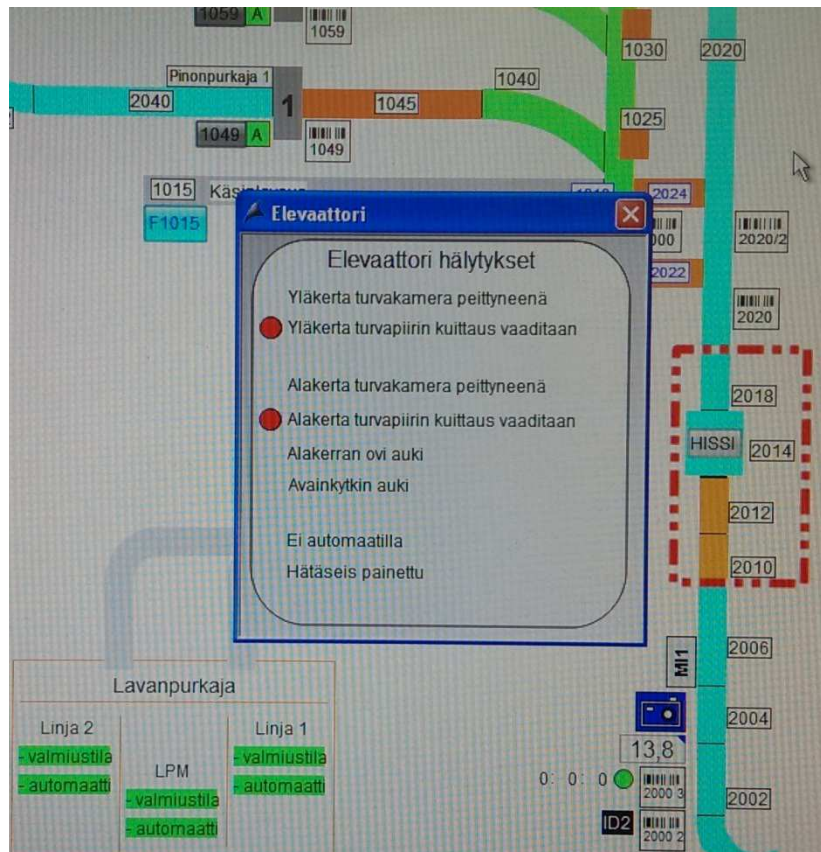


Kuva 9. Sivuttaissiirtäjän Step 7 ohjelma (Kuva A. Kaurto 2014.)

## 9.2 WinCC

Kaikki logistiikkakeskuksen ohjaukseen ja käyttöön liittyvät toimenpiteet tehdään WinCC:n visuaalisella käyttöliittymällä. Käyttöliittymä näkyy kymmenillä tietokoneilla logistiikkakeskuksessa. WinCC:n hälytyksien avulla käyttäjä huomaa turvapiirin laukeamisen. Hälytykset jäävät muistiin, jolloin niitä voidaan myöhemmin tutkia ja selvittää.

Elevaattorin turvalaitteiden määrä on huomattavan suuri. Tästä syystä WinCC:lle ohjelmoitiin ikkuna opastamaan käyttäjää kuittaamaan tietyn turvapiirin osan (Kuva 10 s. 27). Jokainen WinCC:n visuaalisesta tapahtumasta on toteutettu tagien avulla. Tagit määritettiin jokaiseen toimintoon ohjelmoinnin yhteydessä.



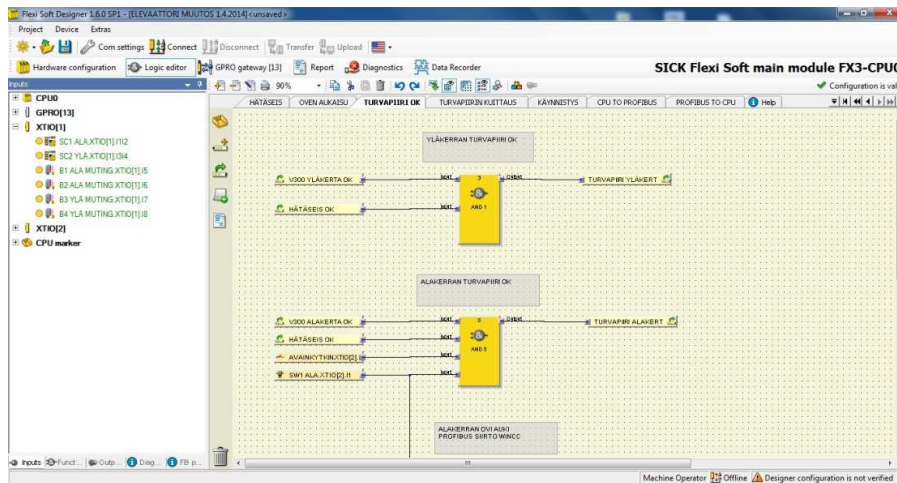
Kuva 10. Elevaattorin WinCC näkymä (Kuva A. Kaurto 2014.)

Sivuttaissiirtäjien WinCC näkymään lisättiin katkoviiva. Tämä ilmestyy näyttöön, kun paineenpoisto on toiminut. Käyttäjän on helppo havaita häiriö myös miehistöluukun jäädessä auki.

### 9.3 Flexi soft designer

Elevaattorin ohjelmoitavan turvaohjaimen ohjelma toteutettiin Sickin Flexi soft designer -ohjelmistolla (Kuva 11 s. 28). Turvapiiri jaettiin yläkerran ja alakerran turvapiireihin. Alakerran turvapiirin lauetessa kuitataan vain alakerran turvapiiri ja yläkerran turvapiirin lauetessa kuitataan yläkerran turvapiiri. Turvapiirien kuitaukset toteutettiin erikseen, koska kunnollista näköyhteyttä yläkerran ja alakerran välillä ei ole. Hätä-seis-painikkeen painamisen jälkeen on kuitattava ylä- ja alakerran turvapiirit erikseen.





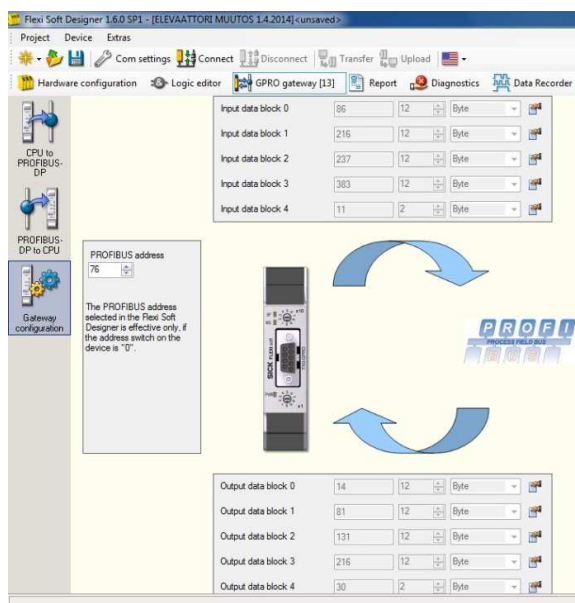
Kuva 11. Turvaohjaimen ohjelmointi Flexi soft designer -ohjelmistolla (Kuva A. Kaurto 2014.)

Turvakameroiden vaimennukset määritettiin ohjelmassa. Molemmille turvakameroille ohjelmoitiin omat vaimennuspiirit.

Elevaattorin oven avaus toteutettiin avainkytkimellä. Oven lukon aukaiseminen tapahtuu ohjelmassa ja samalla valvotaan oven tilaa. Turvapiirin kuittaaminen on mahdollista vasta, kun avain on kiinni asennossa ja ovi on suljettu.

Turvapiirien kuittaamisen jälkeen tarvitaan erillinen käynnistyskäsky. Käynnistyskäskyllä käynnistetään elevaattori ja samalla kuitataan moottorikaapin MI1 moottorihäiriöt.

Flexi soft designerillä määritettiin Profibus-väylän osoite ja I/O-alueet vastaamaan Step 7 hardware configurationissa tehtyjä määrittämiä (Kuva 12). Ohjelmasta Profibus-väylää pitkin siirrettävät bitit määritettiin routing-toimilohkon avulla.

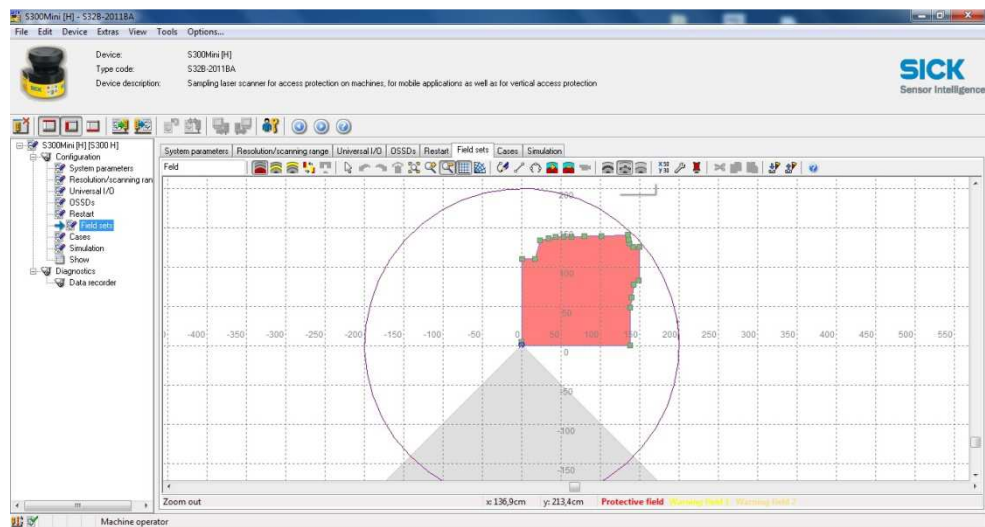


Kuva 12. Flexi soft designer Profibus-asetukset (Kuva A. Kaurto 2014.)

## 9.4 Sick CDS

Sickin turvatutkan asetukset ja tutkan valvoma alue määritettiin Sickin CDS-ohjelmistolla (Kuva 13). Tutkaan liitettiin suoraan ohjelmointikaapelin avulla. Tutkan asetuksista valittiin tutkan asennusasento, herkkyys, kuittaustoiminto ja tutkan valvonta-alue.

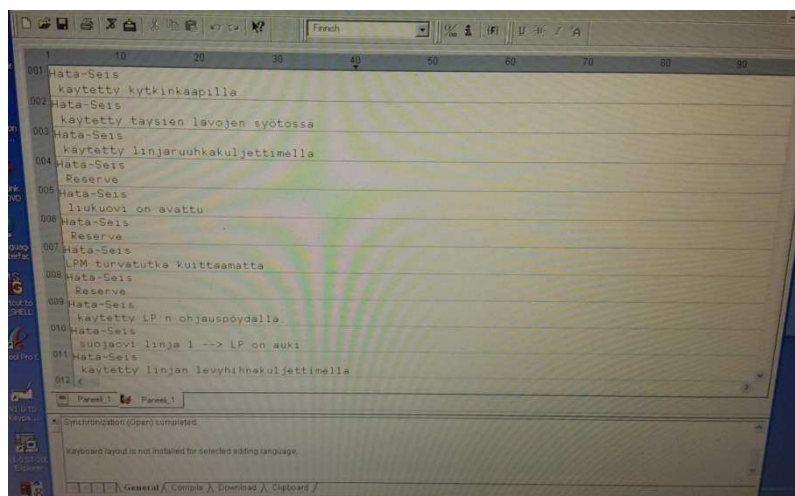
Ohjelmassa on live toiminto, joka näyttää tutkan havaitsemat esteet. Toiminnosta on apua selvittäessä syytä, jos tutka laukeaa tarpeettomasti.



Kuva 13. Turvatutkan ohjelmointi CDS-ohjelmistolla (Kuva A. Kaurto 2014.)

## 9.5 ProTool

ProTool on Siemensin ohjelmisto ohjauspaneelien näyttöjen ohjelmointia varten. Tässä työssä ohjelmoitiin lavanpurkajan lavamakasiinin ohjauspaneelien näyttöihin turvatutkan tilatieto ProTool-ohjelmistolla (Kuva 14). Ohjauspaneelissa oli olemassa oleva ohjelma, jossa oli varaus turva-aiheesta varten. Varauksen tekstiä muokattiin ja ohjelma ladattiin moilempiin ohjauspaneeliin.



Kuva 14. ProTool lavamakasiinin hälytykset (Kuva A. Kaurto 2014.)

### 9.6 Testaus ja käyttöönotto

Ohjelman testauksessa käytiin läpi jokainen tulo ja lähtö (Kuva 15). Testauksella varmistuttiin siitä, että jokainen komponentti on kytketty oikein ja suorittaa halutun toimenpiteen.

Sickin ohjelmoitavan turvaohjaimen ohjelmaa pystyttiin testaamaan ennen varsinaisen keskuksen valmistumista simulointitoiminnolla. Simuloimalla ohjelmaa karsittiin suurimmat virheet ja ohjelma saatiin kehitettyä valmiiksi.

Elevaattoria ja lavamakasiinia testattiin ja säädettiin muutamia päiviä niin, että turvapiirillä ei ohjattu laitteiden energiansyöttöä. Näin oli mahdollista poistaa virheitä ja säätää asetuksia ilman tuotannon keskeyttämistä.



Kuva 15. Elevaattorin ohjelman ja WinCC-käyttöliittymän testaus (Kuva A. Kaurto 2014.)

WinCC:n visuaalinen käyttöliittymä testattiin jokaisen ohjelmoidun toiminnon osalta. Jokainen toiminto käytiin läpi ja niiden todettiin toimivan oikein. Visuaalisen käyttöliittymän testaamisen jälkeen käyttöliittymä ladatain servereille, jolloin se tuli kaikkien käyttäjien näkyville.

Käyttöönottovaiheessa oletuksena oli, että turvapiirit toimivan suunnitellulla tavalla. Käyttöönotossa turvapiirit siirrettiin ohjaamaan koneiden energiansyöttöä ja samalla seurattiin koneiden toimintaa. Pieniä muutoksia tehtiin visuaaliseen käyttöliittymään käyttöönoton yhteydessä.

## 10 POHDINTA

Työ onnistui hyvin, vaikka turvallisuusstandardit ja määräykset olivat suurimaksi osin entuudestaan tuntemattomia. Aikataulun kiireellisyydestä ja työn laajuudesta ei aiheutunut suuria ongelmia. Työn tekemistä helpotti usean vuoden työsuhde logistiikkakeskuksen kunnossapidossa.

Turvapiirien suunnittelussa ja laskennassa suurin osa ajasta kului määräysten selvittämiseen. Selvittäminen oli tärkeää, jotta turvapiireistä tuli turvallisia ja toimivia. Sistema-ohjelmiston käyttö helpotti huomattavasti turvallisuuteenliittyvien dokumenttien ja laskelmien tekemistä.

Keskuksen ja turvapiirien suunnitteluvaiheessa tehdyt sähkökuvat onnistuivat hyvin, eikä niihin tarvinnut tehdä suuria muutoksia asennuksen jälkeen. Haastetta suunnitteluun lisäsi entuudestaan tuntemattomat turvallisuuden komponentit ja niiden toiminta.

Ohjelmointivaiheessa perehdyttiin laajaan olemassa olevaan logiikkaohjelmaan, mikä vaati runsaasti aika resursseja. Ohjelmoinnissa tutustuttiin ja opeteltiin useiden eri ohjelmistojen käyttö. Suurimman haaste oli ProTools-ohjelman lataaminen ohjauspaneeliin. Tämä johtui paneelien iästä sekä ohjelmointikaapelin puuttumisesta. Paneelien ikä vaikeutti ohjeiden löytämistä. Ongelma ratkaistiin harjoittelemalla ProTools-ohjelmiston käyttöä ja rakentamalla uusi kaapeli.

Testauksen ja käyttöönoton yhteydessä ilmeni vähäisiä ongelmia visuaalisen käyttöliittymän puolella. Ongelmiin löydettiin kuitenkin ratkaisut ja käyttöliittymä saatiin toimintakuntoiseksi.

Työ vaati runsaasti laaja-alaista tietotaitoa sekä tiedon ja käytännön yhdistämistä. Työntekijä toteutti projektinhallinnan ja työn vaiheet itsenäisesti alusta loppuun.

Työn raportointi onnistui tehtyjen muistiinpanojen ja kuvien ansiosta hyvin. Raportin kirjoittaminen vaati aikaa ja keskittymistä asiaan. Raportin tekeminen työn edetessä oli järkevää, koska asiat olivat vielä hyvin muistissa.

Työn tarkoituksena oli kehittää tekijän ymmärrystä turvallisuudesta, automaatio suunnittelusta sekä ohjelmoinnista. Yhtenä tärkeänä osa-alueena oli kehittää projektin hoitamisen kokonaisuutta sekä aikataulutusta.

## LÄHTEET

Kallio, J. 2012. Standardin SFS-EN ISO 13849-1 selvitystyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Opinnäytetyö. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42479/rev2.pdf?sequence=1>

Saarioinen-konserni. n.d. Saarioinen Oy. [Online] Viitattu 4.3.2014. [http://www.saarioinen.fi/saarioinen/yritys/saarioinen\\_oy](http://www.saarioinen.fi/saarioinen/yritys/saarioinen_oy)

SFS EN ISO 13849-1. 2008. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. Viitattu 4.3.2014.

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus, Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. 2. uud. p. Keuruu: Inspecta Koulutus Oy.

Siirilä, T. & Kerttula, T. 2009. Koneturvallisuuden perusteet. 2. uud. p. Espoo: Opiks-Tiimi Oy.

Turvallisuuspolitiikka. n.d. Saarioinen Oy. [Online] Viitattu 4.3.2014. <http://www.saarioinen.fi/vastuullisuus/turvallisuuspolitiikka>

Vähäjylkkä, M. 2013. Koneturvallisuus osana sähkösuunnittelua. Centria ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö. [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60203/Vahajylkka\\_Mikko.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60203/Vahajylkka_Mikko.pdf?sequence=1)

MTTF<sub>d</sub> ja B<sub>10d</sub> KESKIMÄÄRÄINEN VIKAANTUMISAIKA

	Standardin ISO 13849-2:2003 mukaiset turvallisuuden peruseriaatteet ja hyvin koetellut turvallisuusperiaatteet	Muut merkitykselliset standardit	Tyypilliset arvot: MTTF <sub>d</sub> (vuotta) B <sub>10d</sub> (jaksoa)
Mekaaniset komponentit	Taulukot A.1 ja A.2	–	MTTF <sub>d</sub> = 150
Hydrauliset komponentit	Taulukot C.1 ja C.2	EN 982	MTTF <sub>d</sub> = 150
Pneumaattiset komponentit	Taulukot B.1 ja B.2	EN 983	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Releet ja apukontaktorit pienellä kuormituksella (mekaaninen kuormitus)	Taulukot D.1 ja D.2	EN 50205 IEC 61810 IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Releet ja apukontaktorit maksimikuormituksella	Taulukot D.1 ja D.2	EN 50205 IEC 61810 IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 400 000
Lähestymiskytkimet pienellä kuormituksella (mekaaninen kuormitus)	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947 EN 1088	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Lähestymiskytkimet maksimikuormituksella	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947 EN 1088	B <sub>10d</sub> = 400 000
Kontaktorit pienellä kuormituksella (mekaaninen kuormitus)	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Kontaktorit nimelliskuormituksella	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 2 000 000
Asemantuntokytkimet kuormituksesta riippumatta <sup>a</sup>	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947 EN 1088	B <sub>10d</sub> = 20 000 000
Asemantuntokytkimet (erillisellä vaikutuselimellä, suojuksen lukinnalla) kuormituksesta riippumatta <sup>a</sup>	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947 EN 1088	B <sub>10d</sub> = 2 000 000
Hätäpysäytyslaitteet kuormituksesta riippumatta <sup>a</sup>	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947 ISO 13850	B <sub>10d</sub> = 100 000
Hätäpysäytyslaitteet suurimmalla toimintojen lukumäärällä	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947 ISO 13850	B <sub>10d</sub> = 6 050
Painikkeet (esim. sallintakytkimet) kuormituksesta riippumatta <sup>a</sup>	Taulukot D.1 ja D.2	IEC 60947	B <sub>10d</sub> = 100 000
Suureen B <sub>10d</sub> määrittelmä ja käyttö: ks. kohta C.4.			
HUOM. 1 B <sub>10d</sub> -arvon arvioidaan olevan kaksi kertaa B <sub>10</sub> (50 % vaarallisia vikaantumisia).			
HUOM. 2 "Pienellä kuormituksella" tarkoittaa esimerkiksi 20 % nimellisarvosta (ks. lisätietoja ISO 13849-2).			
<sup>a</sup> Jos vian poissulkeminen pakkotoimiselle avautumiselle on mahdollista.			

## DIAGNOSTIIKAN KATTAVUUS, DC

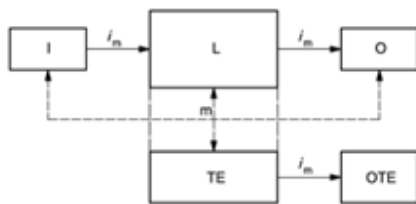
Toimenpide	Diagnostiikan kattavuus (DC)
<b>Tuloyksikkö</b>	
Tulosignaalien dynaamisten muutosten aikaansaama jaksottainen testauksen käynnistys	90 %
Mielekkyyden tarkistus (esim. käyttämällä sulkeutuvia ja avautuvia mekaanisesti yhdistettyjä koskettimia)	99 %
Tulojen ristiinvalvonta ilman dynaamista testausta	0...90 % riippuen kuinka usein sovelluksessa tapahtuu signaalin tilamuutos
Jos oikosulkuja ei voida paljastaa, tulosignaalien ristiinvalvonta yhdessä dynaamisen testauksen kanssa, (useille I/O-yksiköille)	90 %
Tulosignaalien ja logiikan (L) väliarvojen ristiinvalvonta ja ohjelman suorituksen tilapäinen looginen ohjelmallinen valvonta sekä pysyvien vikojen ja oikosulkujen paljastaminen (useille I/O-yksiköille)	99 %
Epäsuora valvonta (esim. valvonta paineekytkimellä, toimilaitteiden aseman sähköinen valvonta)	90...90 % riippuen sovelluksesta
Suora valvonta (esim. ohjausventtiilien asennon sähköinen valvonta, sähkömekaanisten laitteiden valvonta mekaanisesti yhdistetyillä kosketinelementeilla)	99 %
Vikojen paljastuminen prosessin kautta	0...90 % riippuen sovelluksesta; tämä toimenpide ei yksistään ole riittävä vaadittavalle suoritusasteelle PL <sub>r</sub> e.
Anturien joidenkin ominaisuuksien valvonta (vasteaika, analogisten signaalien vaihtelualue, kuten sähköinen vastus, kapasitanssi)	60 %
Epäsuora valvonta (esim. paineekytkimen suorittama valvonta, toimilaitteiden aseman sähköinen valvonta)	90...99 % sovelluksesta riippuen
Suora valvonta (esim. ohjausventtiilien asennon sähköinen valvonta, sähkömekaanisten laitteiden valvonta mekaanisesti yhdistetyillä kosketinelementeilla)	99 %
Logiikan toiminnan yksinkertainen tilapäinen valvonta (esim. ajastinvaihti, jolloin liipaisukohdat ovat logiikan ohjelmassa)	60 %
Logiikan toiminnan tilapäinen ja looginen valvonta ajastinvahdilla, jolloin testauslaitteet tarkistavat logiikan käyttäytymisen mielekkyyttä	90 %
Käynnistykseen itsetestaus piilevien vikojen paljastamiseen logiikan osissa (esim. ohjelma ja datamuistit, tulo- ja lähtöportit, rajapinnat)	90 % (riippuen testaustekniikasta)
Valvontalaitteiden reaktiokyvyn tarkistus (esim. ajastinvaihti), joka tehdään pääkanavalla käynnistykseen yhteydessä tai kun tulee vaade turvatoiminnolle tai kun ulkoinen signaali vaatii turvatoimintoa tuloihin liitettävien laitteiden kautta	90 %
Dynaaminen periaate (kaikkien logiikan komponenttien on vaihdettava tilaa "PÄÄLLE – POIS – PÄÄLLE" kun turvatoimintoa vaaditaan), esimerkiksi releillä toteutettu toimintaankytkennän ohjauspiiri	99 %
Kiinteä muisti: yhden sanan pituinen varmenne (8 bittia)	90 %
Kiinteä muisti: kahden sanan pituinen varmenne (16 bittia)	99 %
Muuttuva muisti: RAM-testin suorittaminen käyttämällä redundanttista dataa, esimerkiksi lippuja, markkereita, vakioita, ajastimia ja näiden datojen ristikkäinen vertailu	60 %
Muuttuva muisti: käytettävien datan muistipaikkojen luettavuus- ja kirjoittamiskyvyn tarkistus	60 %
Muuttuva muisti: RAM-komponenttien valvonta muunnellulla Hamming-koodilla tai RAM-komponentin itsetestaus (esim. "galpat" tai "Abraham")	99 %
Prosessointiyksikkö: itsetestaus ohjelmallisesti	60...90 %
Prosessointiyksikkö: koodattu prosessointi	90...99 %
Vikojen paljastuminen prosessissa	0...99 % sovelluksesta riippuen, tämä menetelmä ei ole riittävä vaadittavalle suoritusasteelle PL <sub>r</sub> e.

LUOKAT

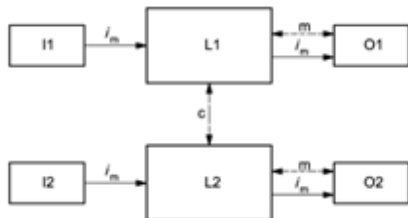
Luokka B ja 1



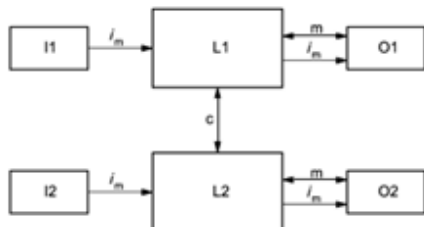
Luokka 2



Luokka 3



Luokka 4



Merkintöjen selitys:

$i_m$  = kytkentävälineet

I = tuloyksikkö (esim. anturi)

L = logiikka

m = valvonta

O = lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

TE = testauslaitteisto

OTE = testauslaitteiston lähdöt

c = ristiinvalvonta



## YHTEISVIKAANTUMINEN, CCF

Nro	Yhteisvikaantumista estävä toimenpide	Pisteet
<b>1</b>	<b>Erottelu/erottaminen</b>	
	Signaalireittien fyysinen erottaminen – johdotuksen/putkituksen erilleen sijoittaminen – riittävät ilma- ja pintavälit painetuissa piirilevyissä	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Erilaisuus (diversiteetti)</b>	
	Erilaisten teknologioiden, toteutustapojen tai fyysisten periaatteiden käyttö, esimerkiksi – ensimmäinen kanava toteutetaan ohjelmoitavalla elektroniikalla ja toinen kanava kiinteästi langoitettuna – toiminnan aloittamistapa – paine ja lämpötila Etäisyyden tai paineen mittausta: – digitaalinen ja analoginen Eri valmistajien komponentit	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>Suunnittelu, soveltaminen ja kokemukset</b>	
3.1	Suojaustoimenpiteet ylijännitteelle, ylipaineelle, ylivirralle jne.	<b>15</b>
3.2	Käytetyt komponentit ovat hyvin koeteltuja	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Arviointi ja analyysit</b>	
	Onko vika- ja vaikutusanalyysin tulokset otettu huomioon toteutuksessa yhteisvikaantumisten estämiseksi?	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Pätevyys ja koulutus</b>	
	Onko suunnittelu- ja ylläpitohenkilöstö koulutettu ymmärtämään yhteisvikaantumisten syyt ja seuraukset?	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Ympäristöolosuhteisiin liittyvä toimenpide</b>	
6.1	Likaantumisen estäminen ja sähkömagneettinen yhteensopivuus yhteisvikaantumisten estämiseksi soveltuvien standardien mukaisesti  Pneumaattiset- ja hydrauliset järjestelmät: väliaineen suodatus, likaisen imuilman estäminen ja paineilman kuivatus (esim. komponentin valmistajan esittämien väliaineen puhtausvaatimusten mukaisesti)  Sähköiset järjestelmät: onko järjestelmä tarkistettu sähkömagneettisen häiriönsiedon kannalta (esim. asiaankuuluvien yhteisvikaantumisen estämistä käsittelevien standardien mukaisesti)?  Yhdistetyt sähköiset ja hydrauliset tai pneumaattiset järjestelmät: olisi otettava huomioon molemmat edellä mainittavat näkökohdat	<b>25</b>
6.2	Muut vaikutukset  Onko kaikkien asiaankuuluvien ympäristövaikutusten sietokyky otettu huomioon kuten lämpötila, iskut, värinä, kosteus (asiaankuuluvien standardien erittelyn mukaisesti)?	<b>10</b>
	<b>Yhteensä</b>	<b>[mahdolliset maksimipisteet 100]</b>
<b>Kokonaispisteet</b>		<b>Toimenpiteet yhteisvikaantumisen välttämiseksi <sup>a</sup></b>
65 tai enemmän		Täyttää vaatimukset
vähemmän kuin 65		Ei täytä vaatimuksia ⇒ valitaan lisätoimenpiteitä
<sup>a</sup> Jos teknologiset toimenpiteet eivät ole merkityksellisiä, tähän sarakkeeseen liittyviä pisteitä voidaan tarkastella kokonaisvaltaisessa laskelmassa.		

## SISTEMA - OHJELMISTOTYÖKALU KONESOVELLUSTEN TURVALLISUUDEN EHEYDEN ARVIOINTIIN

### SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden arviointiin

Projektin nimi: Elevaattori



Tiedoston päiväys: 7.4.2014 Raportin päiväys: 10.4.2014 Tarkistussumma: a769350ee9e1a7a1f40909f376667534

#### PR Projektin nimi: Elevaattori

Tekijä:	Aleksi
Vaarallinen kohta/kone:	Elevaattorin kuilu
Dokumentaatio:	Elevaattori turvapiiri AK1
Dokumentti:	
Tiedoston nimi:	C:\Users\Aleksi\Documents\SISTEMA\Projects\Elevaattori versio 1.ssm
Ohjelmiston versio:	1.1.6
Standardin versio:	ISO 13849-1:2006, ISO 13849-1/Cor1:2009, EN ISO 13849-1:2006, EN ISO 13849-1:2008
Tarkistussumma:	a769350ee9e1a7a1f40909f376667534
Asetukset:	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä DC:n väliarvoja PFH:n laskentaan (tarkempi). <input type="checkbox"/> Nosta MTTFd-arvon yläraja 100 vuodesta 2500 vuoteen luokassa 4
Tila:	vihreä
Huomautus:	Tähän projektiin (tai siihen kuuluviin peruselementteihin) ei ole merkitty yhtään varoitusta.

#### Tähän kuuluvat turvatoiminnot

<b>SF</b> Nimi: Ulostulon valvonta Vaadittu: PLr c	Saavutettu: PL d	PFH [1/h]: 3,85E-8	Tila: vihreä
<b>SF</b> Nimi: Sisäänmenon valvonta Vaadittu: PLr c	Saavutettu: PL d	PFH [1/h]: 3,85E-8	Tila: vihreä
<b>SF</b> Nimi: Oven valvonta Vaadittu: PLr c	Saavutettu: PL c	PFH [1/h]: 1,18E-6	Tila: vihreä
<b>SF</b> Nimi: Hätäseis Vaadittu: PLr c	Saavutettu: PL c	PFH [1/h]: 1,18E-6	Tila: vihreä

SISTEMA - OHJELMISTOTYÖKALU KONESOVELLUSTEN  
TURVALLISUUDEN EHEYDEN ARVIOINTIINSISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden  
eheyden arviointiin

Projektin nimi: Purkaja



Tiedoston päiväys: 7.4.2014 Raportin päiväys: 10.4.2014 Tarkistussumma: 29d2a7d3f3f2c0c69c8d3b41fd979534

**PR** Projektin nimi: Purkaja

Tekijä:	Aleksi
Vaarallinen kohta/kone:	Lavamakasiinin ulostulo
Dokumentaatio:	Lavamakasiinin turvapiiri
Dokumentti:	
Tiedoston nimi:	C:\Users\Aleksi\Documents\SISTEMA\Projects\Purkaja.ssm
Ohjelmiston versio:	1.1.6
Standardin versio:	ISO 13849-1:2006, ISO 13849-1/Cor1:2009, EN ISO 13849-1:2006, EN ISO 13849-1:2008
Tarkistussumma:	29d2a7d3f3f2c0c69c8d3b41fd979534
Asetukset:	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä DC:n väliarvoja PFH:n laskentaan (tarkempi). <input type="checkbox"/> Nosta MTTFd-arvon yläraja 100 vuodesta 2500 vuoteen luokassa 4
Tila:	vihreä
Huomautus:	Tähän projektiin (tai siihen kuuluviin peruselementteihin) ei ole merkitty yhtään varoitusta.

## Tähän kuuluvat turvatoiminnot

**SF** Nimi: Ulostulon valvonta  
Vaadittu: PLr c

Saavutettu: PL d

PFH [1/h]: 8,72E-8

Tila: vihreä

SISTEMA - OHJELMISTOTYÖKALU KONESOVELLUSTEN  
TURVALLISUUDEN EHEYDEN ARVIOINTIINSISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden  
eheyden arviointiin

Projektin nimi: Siirtäjä



Tiedoston päiväys: 10.4.2014 Raportin päiväys: 10.4.2014 Tarkistussumma: 1cb21ad912ab7ec4d9623b1efd4a7b4e

**PR** Projektin nimi: Siirtäjä

Tekijä:	Aleksi
Vaarallinen kohta/kone:	Lineaarisylinteri
Dokumentaatio:	Miniloat siirtäjän paineenpoisto PZ3-26
Dokumentti:	
Tiedoston nimi:	C:\Users\Aleksi\Documents\SISTEMA\Projects\Siirtäjä.ssm
Ohjelmiston versio:	1.1.6
Standardin versio:	ISO 13849-1:2006, ISO 13849-1/Cor1:2009, EN ISO 13849-1:2006, EN ISO 13849-1:2008
Tarkistussumma:	1cb21ad912ab7ec4d9623b1efd4a7b4e
Asetukset:	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä DC:n väliarvoja PFH:n laskentaan (tarkempi). <input type="checkbox"/> Nosta MTTFd-arvon yläraja 100 vuodesta 2500 vuoteen luokassa 4
Tila:	vihreä
Huomautus:	Tähän projektiin (tai siihen kuuluviin peruselementteihin) ei ole merkitty yhtään varoitusta.

## Tähän kuuluvat turvatoiminnot

**SF** Nimi: Paineenpoisto

Vaadittu: PLr b

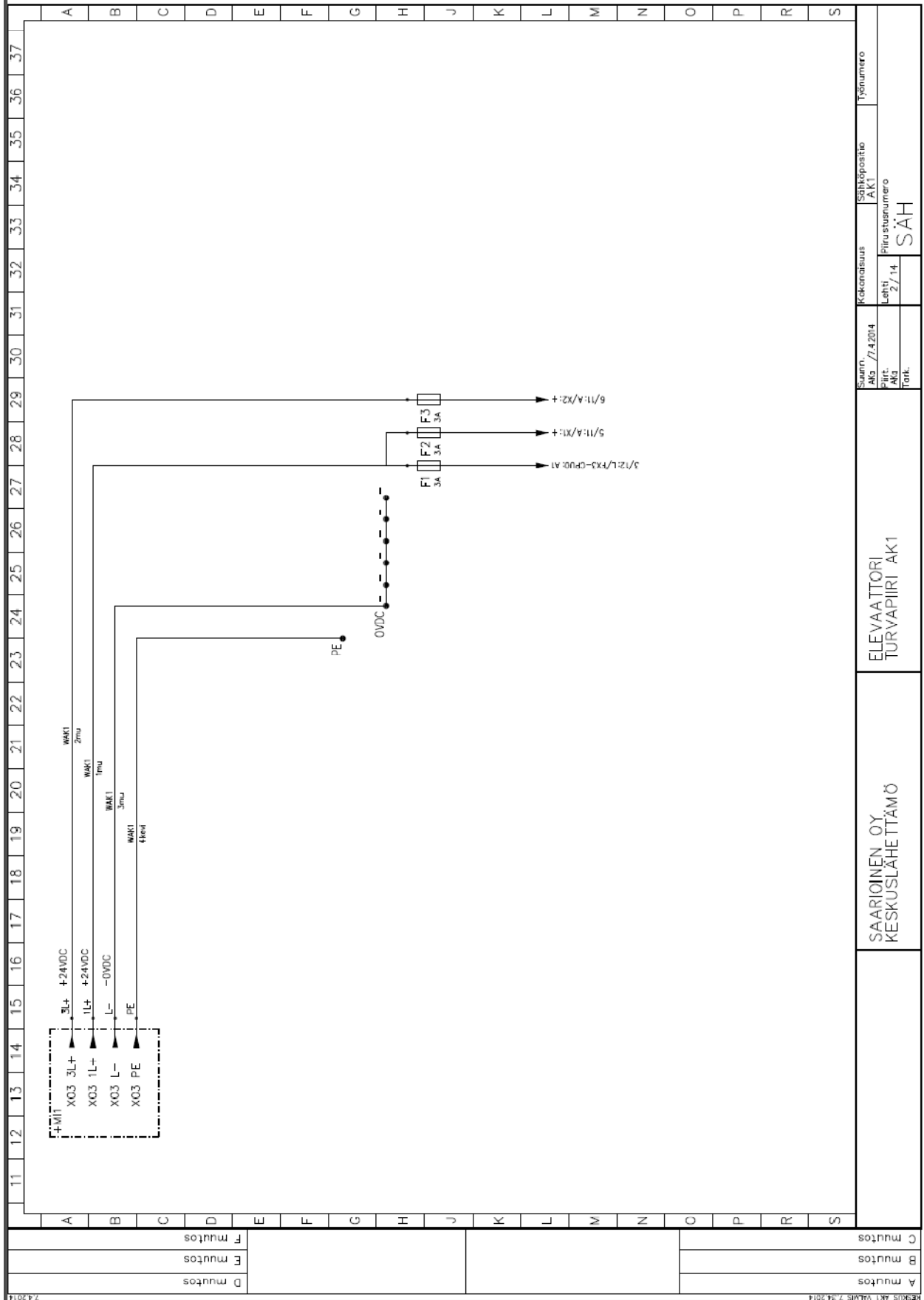
Saavutettu: PL c

PFH [1/h]: 2,28E-6

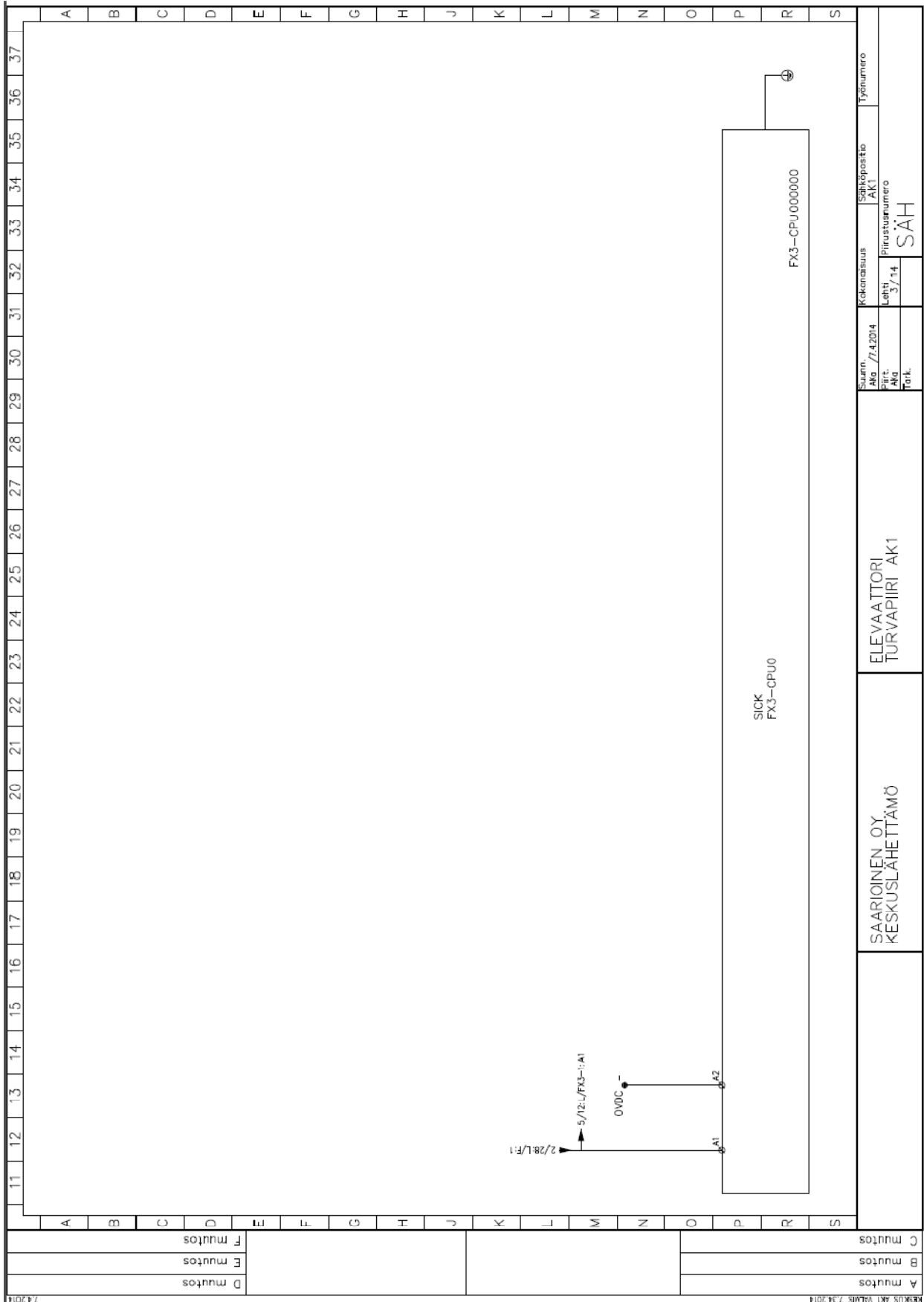
Tila: vihreä



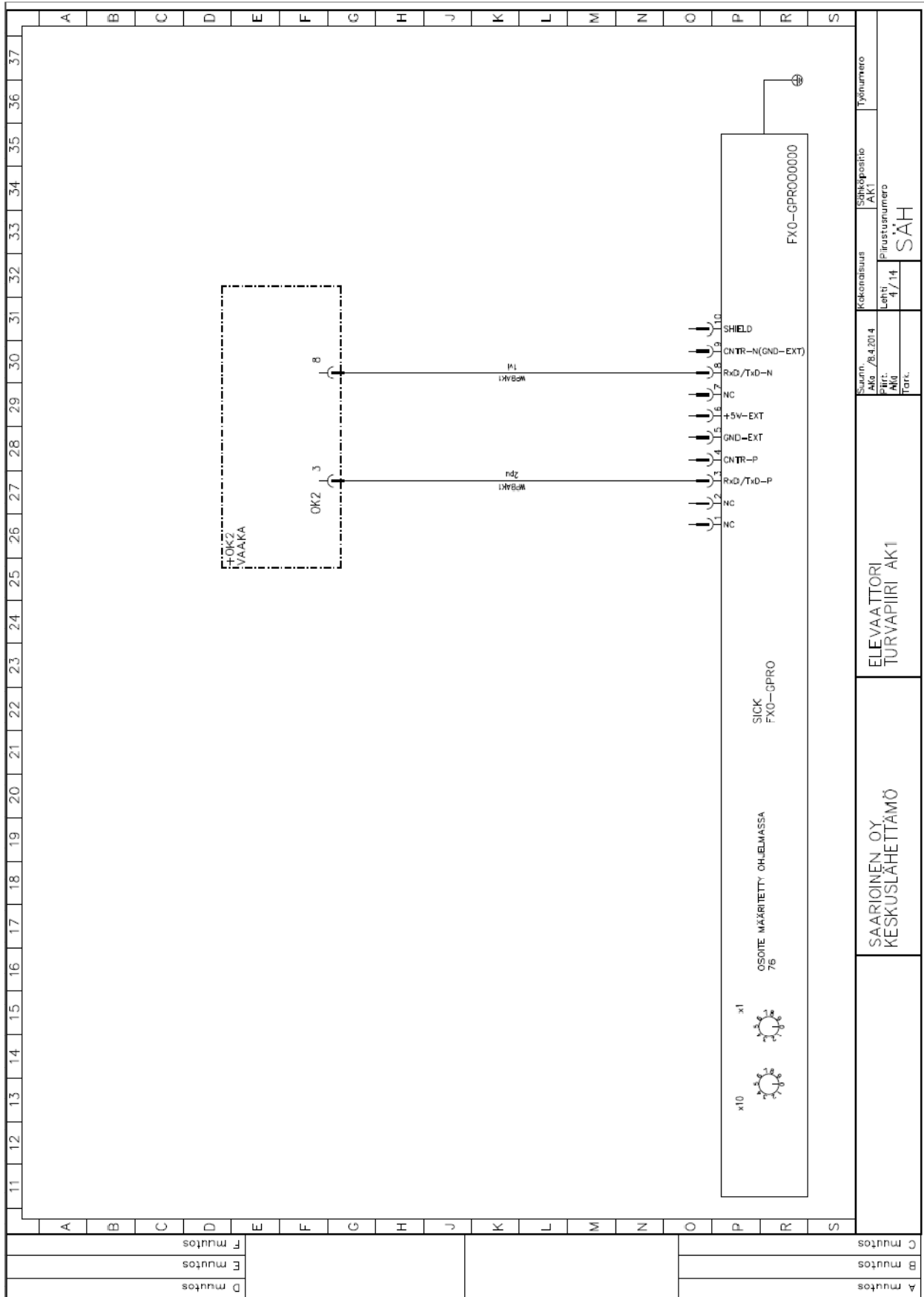
ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1



ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1

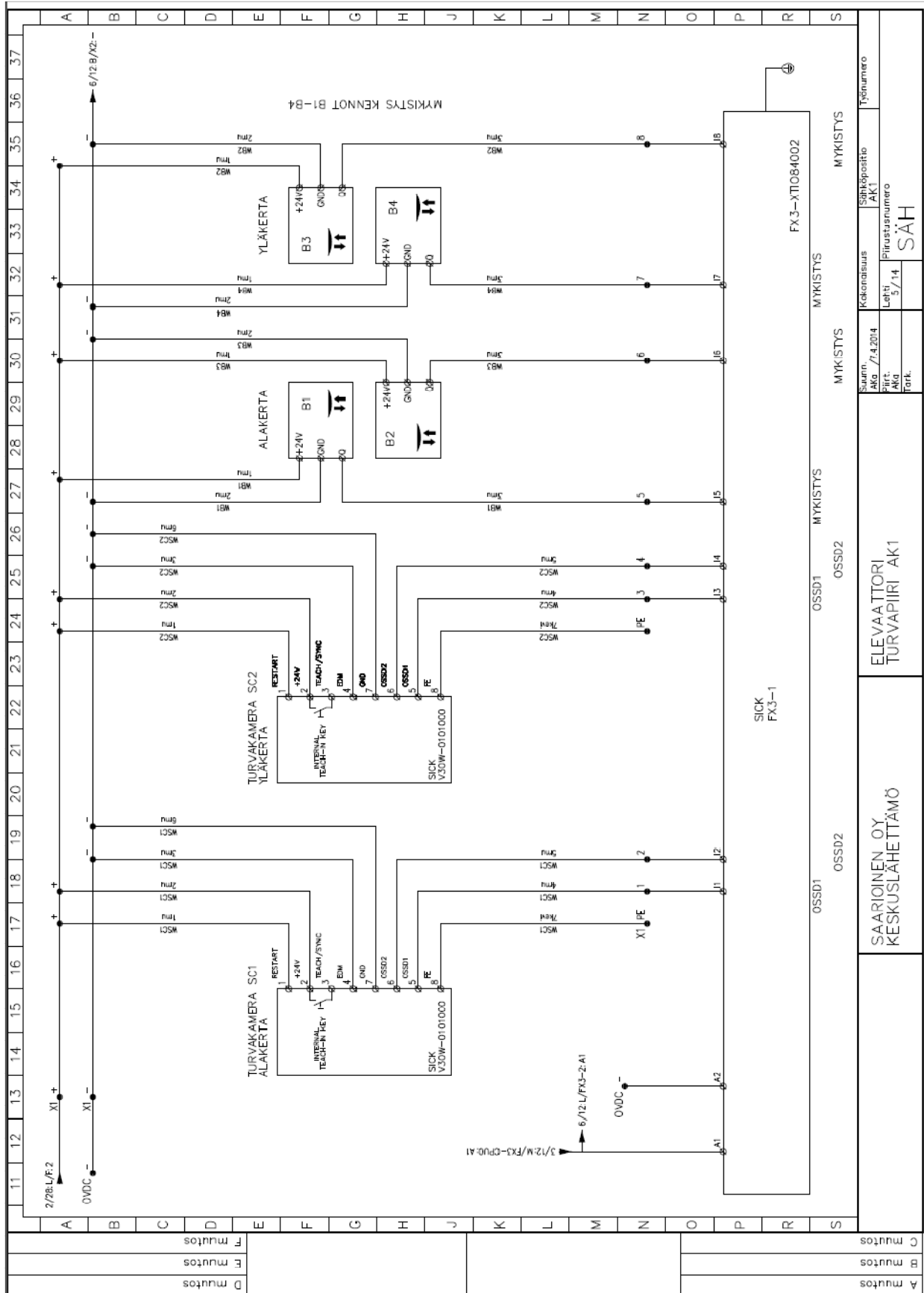


ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1

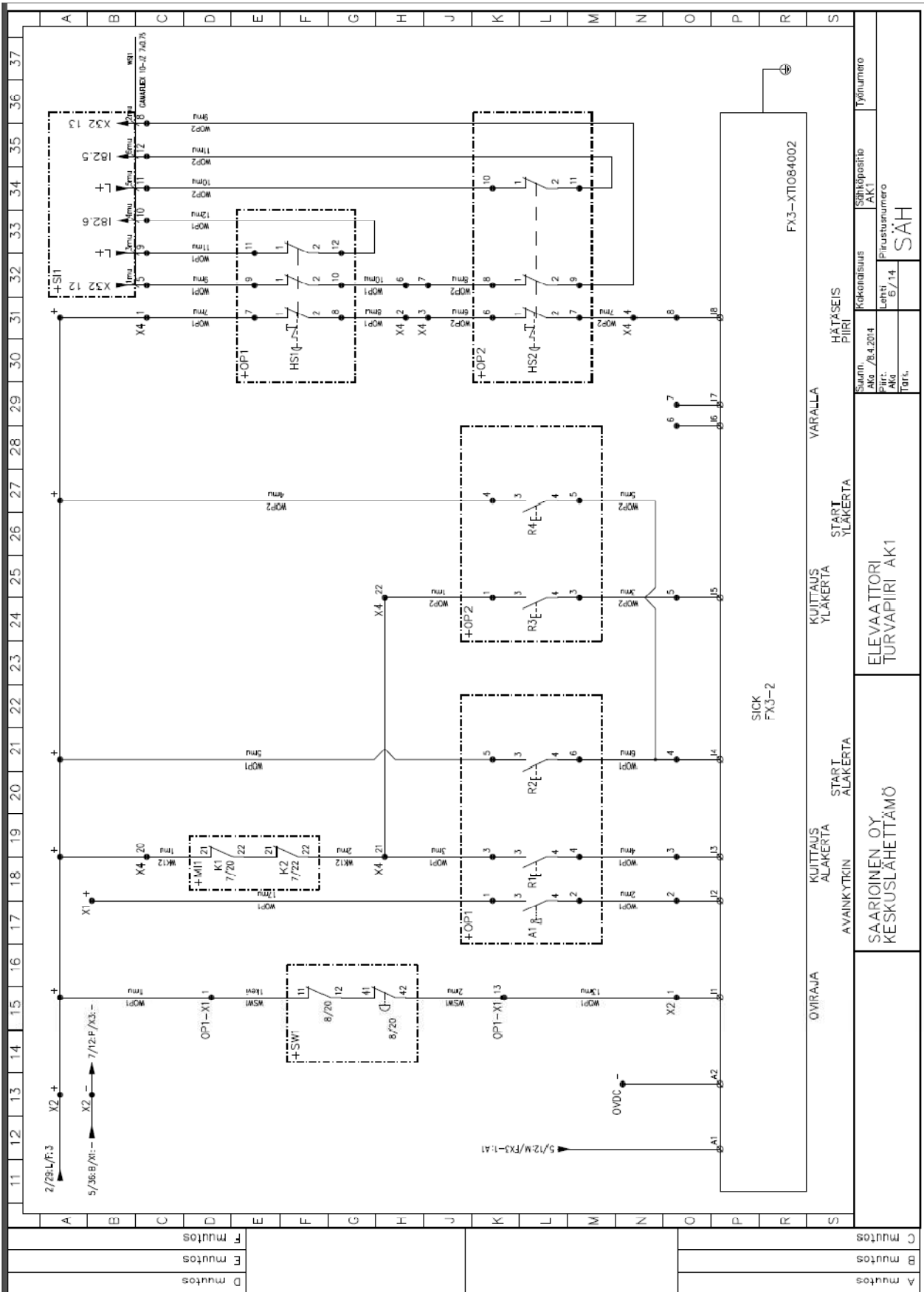




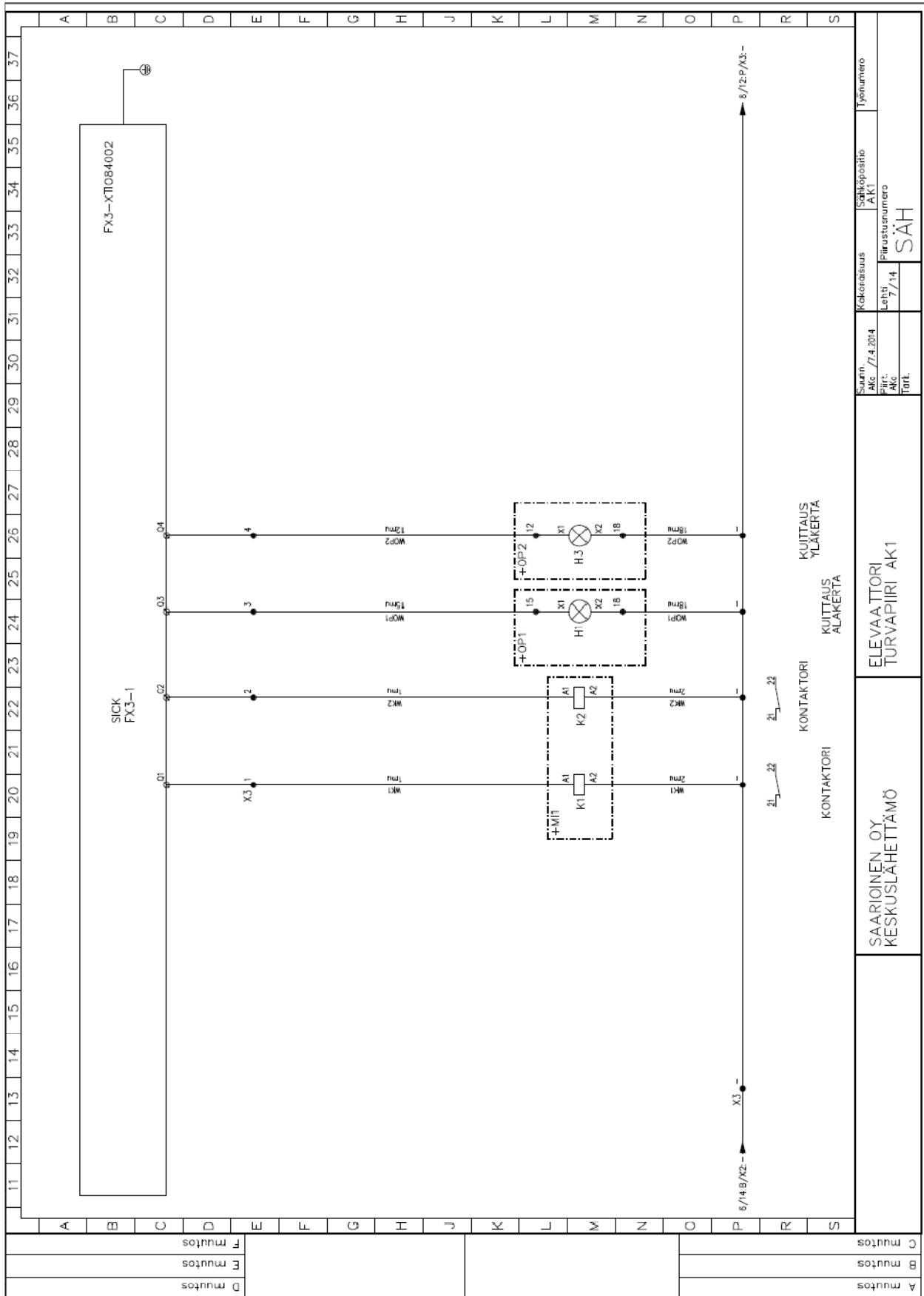
ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1



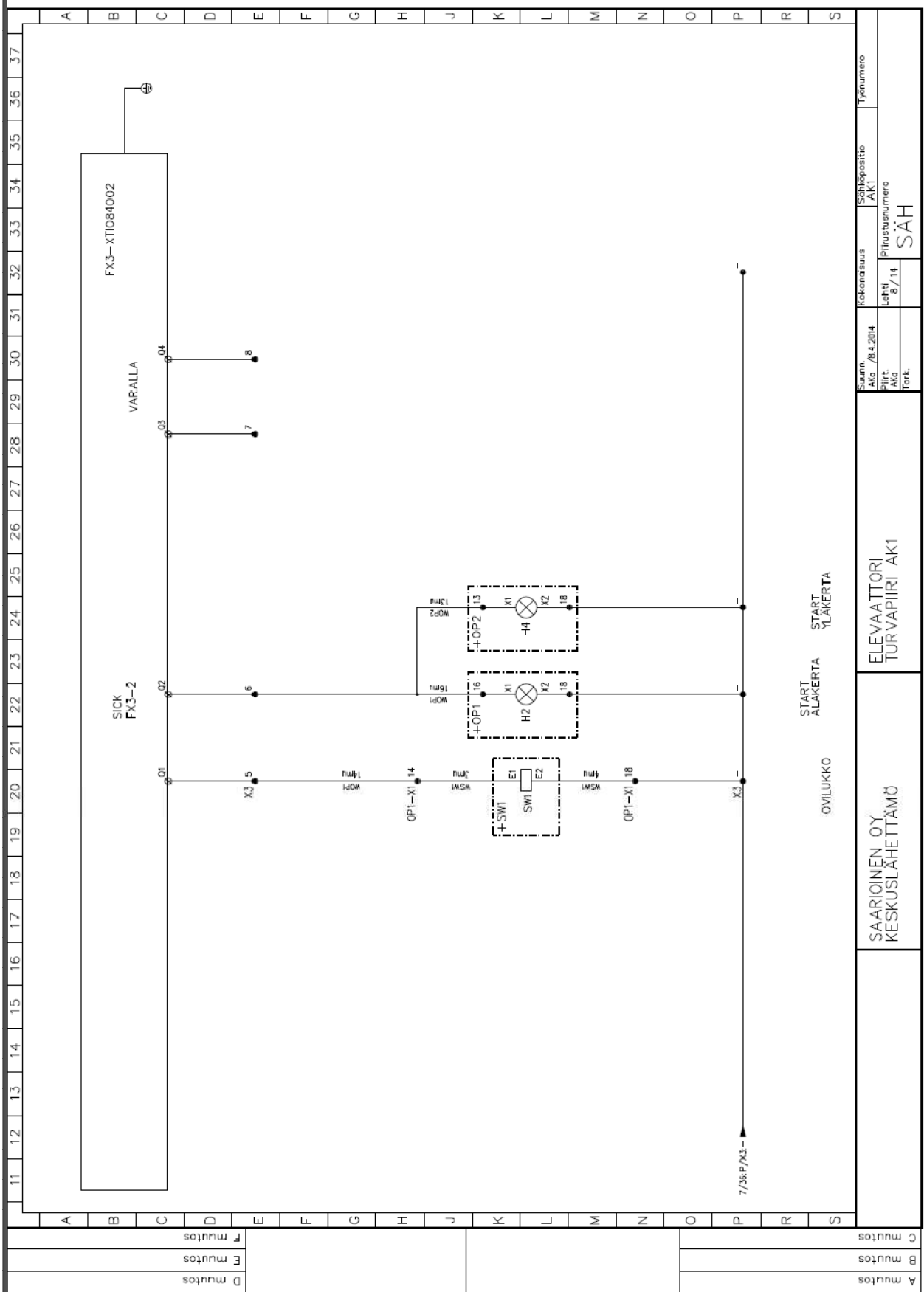
ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1



ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1



ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1



Diagrammi	AK1	Yht. nro	8/14
Projekti	SÄH	Lehti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	

Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	

Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	

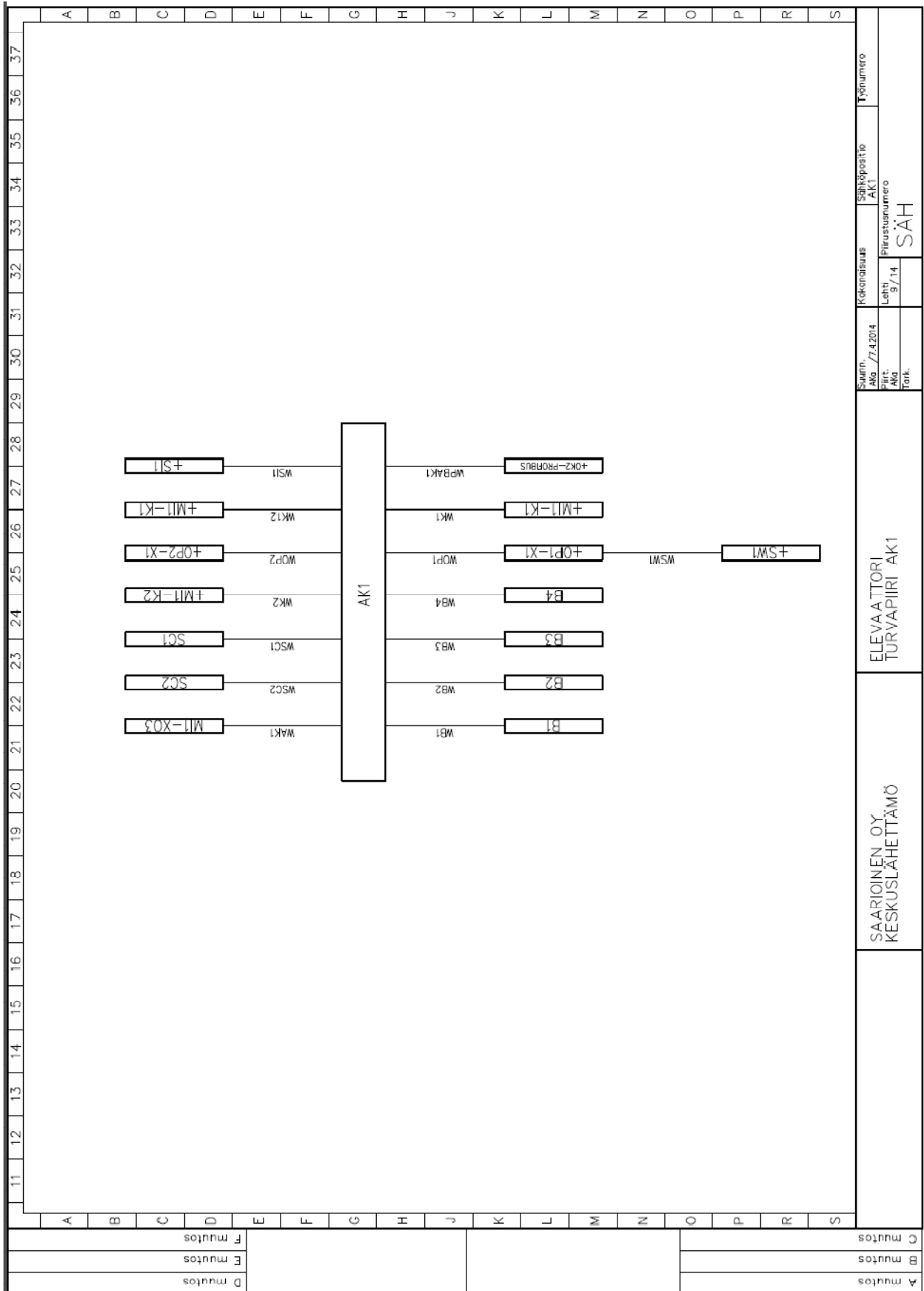
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	

Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	

Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	

Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	
Yhteystiedot		Projekti	

ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI AK1



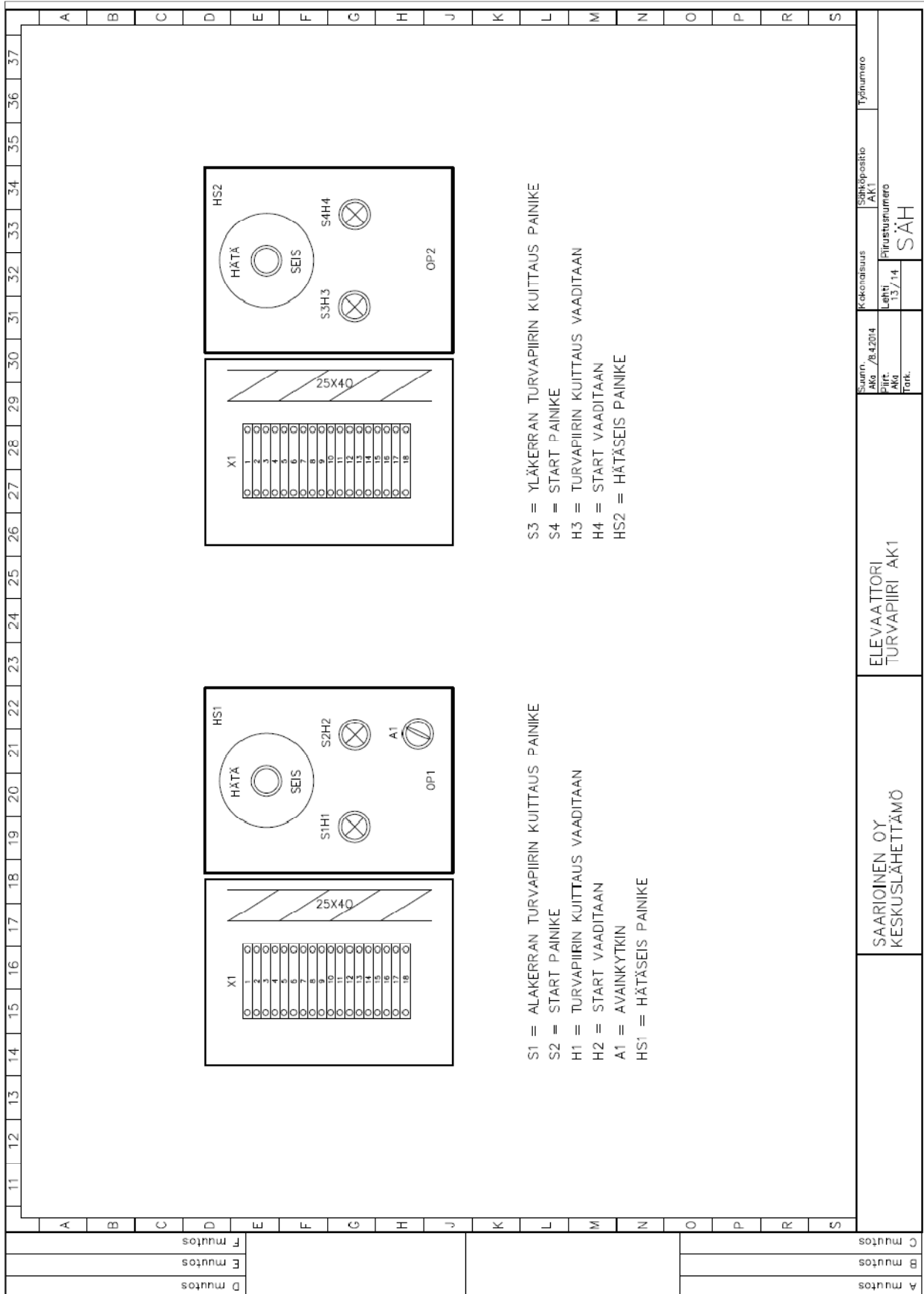






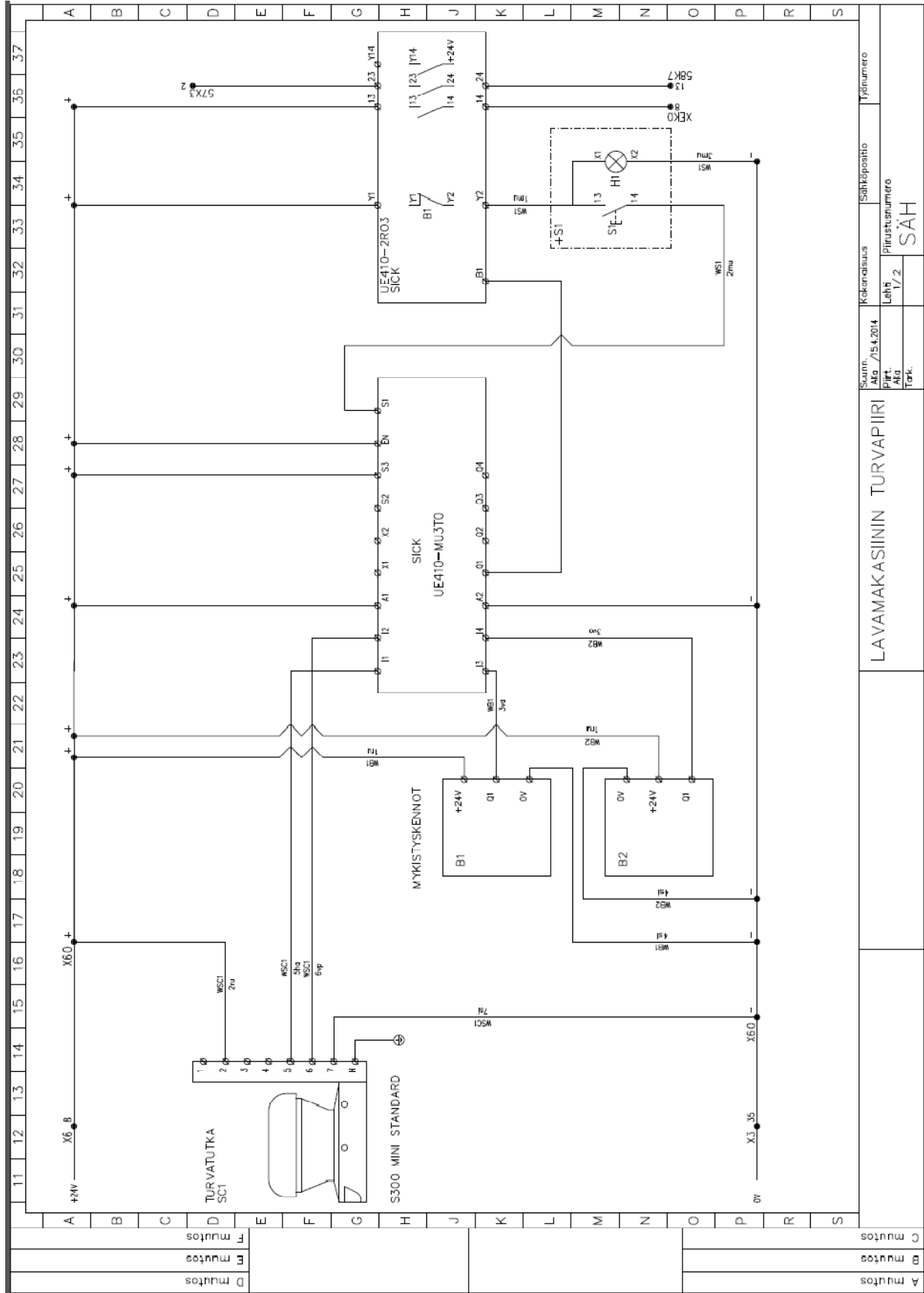


ELEVAATTORIIN TURVAPIIRI A

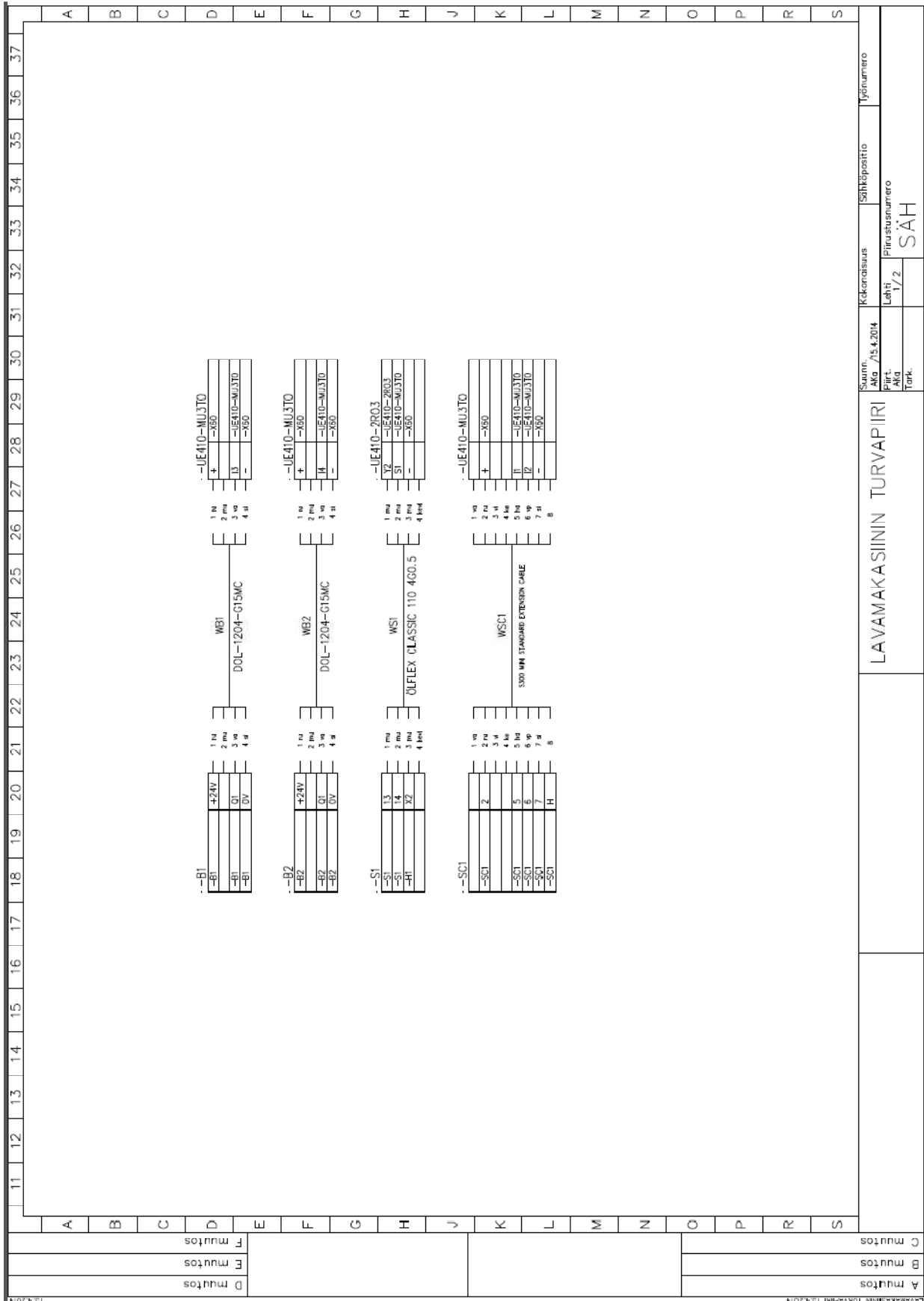




LAVAMAKASIININ TURVAPIIRI



LAVAMAKASIININ TURVAPIIRI



MINILOAD SIIRTÄJÄN PAINEENPOISTO PZ3

