

Juho Kallio

Standardin SFS-EN ISO 13849-1 selvitystyö

Autoklaavin turvapiirit

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinöörityö
26.4.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Juho Kallio Standardin SFS-EN ISO 13849-1 selvitystyö Autoklaavin turvapiirit 24 sivua + 6 liitettä 26.4.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Pekka Salonen Suunnittelupäällikkö Arto Hälli
<p>Tämän työn tarkoituksena on tarkastella autoklaavin, eli höyrysterilaattorin turvapiirejä standardin SFS-EN ISO 13849-1 pohjalta. Työssä tarkastellaan aluksi koneturvallisuuteen liittyviä direktiivejä, asetuksia, standardeja ja niiden suhdetta standardiin SFS-EN ISO 13849-1.</p> <p>Turvapiirien tarkastelussa lähdetään liikkeelle riskistä jota turvapiirin on tarkoitus pienentää. Tätä kutsutaan turvapiirin vaadittavaksi suoritustasoksi PL_r.</p> <p>Työssä käydään perusteellisesti, mutta yksinkertaisesti läpi menetelmä turvapiirien laskennasta ja määrittämisestä. Ensin selitetään laskennassa tarvittavien muuttujien merkitys ja opastetaan niiden käytössä. Laskennassa käytetyt muuttujien arvot saatiin suoraan valmistajilta tai standardin omasta taulukosta.</p> <p>Laskennan tuloksista voidaan nähdä, että autoklaavin turvapiirit täyttävät standardin SFS-EN ISO 13849-1 asettamat ehdot. Turvapiireihin ei kyseisen standardin pohjalta tarvitse tehdä muutoksia.</p> <p>Työn pohjalta on tarkoitus kouluttaa yrityksen suunnitteluosasto käyttämään kyseistä standardia. Tarkoituksena on myös soveltaa tätä standardia yrityksen muihin laitteisiin. Yrityksellä on tulevaisuudessa halu validoida kyseinen standardi.</p>	
Avainsanat	suoritustaso, turvapiiri, autoklaavi, standardi, SFS-EN ISO 13849-1

Author	Juho Kallio
Title	A detailed account of SFS-EN ISO 13849-1
Number of Pages	24 pages + 6 appendices
Date	26 April 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Product Design
Instructors	Pekka Salonen, Lecturer Arto Hälli, Automation system manager
<p>The aim of this thesis was to analyze autoclave`s safety related parts of control systems based on standard SFS-EN ISO 13849-1. At first this thesis examines safety engineering related to machinery directives, government regulations, standards and their relationship to standard SFS-EN ISO 13849-1.</p> <p>The start of the safety analysis in SRP/CS is to define the risk level of the hazards that SRP/CS should reduce. This is called the required performance level, PL_r.</p> <p>This thesis introduces simple but thorough investigation about calculations and definition of SRP/CS. First the purpose of each needed variable and then how to use them in calculations is explained. Variables that were used at calculations were gotten from component manufacturer or straight from standard`s chart.</p> <p>As can be seen from the calculated values, the autoclave SRP/CS fully meets the requirements of standard SFS-EN ISO 13849. There is no need to do any modifications to SRP/CS according this standard.</p> <p>Based on this study, company has planned to train the engineering department to use this standard. Later on there is planned to look at company`s other products according to SFS-EN ISO 13849-1. In the future the company has strong will to validate this standard.</p>	
Keywords	Safety related parts of control system (SRP/CS), standard, autoclave, required performance level (PLr)

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Steris Finn-Aquan suunnittelu osastolla. Työn valvojana on toiminut TkL Pekka Salonen.

Haluan kiittää saamastani insinööriyön aiheesta suunnitelupäällikkö Arto Hälliä. Erityisesti haluan kiittää työtovereitani arvokkaista neuvoista, joita olen työn edetessä heiltä saanut. Lämpimät kiitokset myös perheelleni tuesta ja kannustuksesta kaikkien näiden vuosien aikana.

Suurin kiitos kuuluu isoisälleni Matille, joka sai minut alunperin tekniikasta innostumaan.

Tuusulassa 26.4.2012

Juho Kallio

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	STERIS Finn-Aqua	1
1.2	Autoklaavi eli höyrysterilaattori	1
2	Koneturvallisuus	2
2.1	Koneturvallisuuden standardien hierarkia	2
2.2	Koneen valmistajan tehtävät	3
3	SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet	4
3.1	Historia	4
3.2	<i>PLr</i> -taso eli required performance level, vaadittava suoritustaso	5
3.2.1	Vamman vakavuus	5
3.2.2	Altistumisen taajuus	5
3.2.3	Vaaran vältettävyys	5
3.2.4	<i>PLr</i> -tason valinta	6
3.3	<i>PL</i> -taso eli performance level, suoritustaso	6
3.3.1	<i>MTTFd</i> eli mean time to dangerous failure, vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika	8
3.3.2	DC eli diagnostic coverage, diagnostiikan kattavuus	9
3.3.3	Luokat	9
3.3.4	CCF eli common cause failure, yhteisvikaantuminen	12
4	Vaarojen tunnistus ja <i>PLr</i> -rajan määrittäminen	12
4.1	Oven liike	12
4.1.1	<i>PLr</i> -tason määrittäminen	12
4.2	Oven tiivistyksen pettäminen	13
4.2.1	<i>PLr</i> -tason määrittäminen	13
4.3	Kammioon höyryä vaikka ovi on auki	14
4.3.1	<i>PLr</i> -tason määrittäminen	14

5	Turvapiirit	15
5.1	Oven liike	15
5.1.1	Turvapiirin toiminnankuvaus	15
5.1.2	<i>PL</i> -tason saavutus	15
5.2	Oven tiivistys	16
5.2.1	Turvapiirin toiminnankuvaus	16
5.2.2	Muuttujien laskenta (MTTFd, Luokka, DC)	17
5.2.3	<i>PL</i> -tason saavutus	18
5.3	Kammioon höyryä vaikka ovi on auki	18
5.3.1	Turvapiirin toiminnankuvaus	18
5.3.2	Muuttujien laskenta (MTTFd, Luokka, DC)	19
5.3.3	<i>PL</i> -tason saavutus	20
5.4	CCF, autoklaavin yhteisvikaantuminen	21
6	Yhteenveto	22
7	Suosituksat jatkotoimenpiteiksi	22
	Lähteet	23
	Liitteet	
	Liite 1. Komponenttien vaaralliset vikaantumisajat	
	Liite 2. Taulukot diagnostiikan kattavuudesta	
	Liite 3. Luokkien nimetyt rakenteet	
	Liite 4. Taulukko yhteisvikaantumisten tarkasteluun	
	Liite 5. Turvapiirien laskut	
	Liite 6. Turvapiirien PID-kaaviot	

1 Johdanto

Tämän työn tavoitteena oli tarkastella autoklaavin turvapiirejä standardin SFS-EN ISO 13849-1 pohjalta. Tarve tälle työlle heräsi, kun yrityksen käyttämä SFS-EN ISO 954-1 -standardi oli vanhentumassa ja tilalle oli saatava voimassa oleva standardi. Tässä vaiheessa vaihtoehtoja oli kaksi, SFS-EN ISO 62061 ja SFS-EN ISO 13849-1. Molemmat näistä standardeista ovat käyttökelpoisia, mutta SFS-EN ISO 62061 on tarkoitettu lähinnä monimutkaisemmille järjestelmille, joissa turvapiirit on toteutettu pääosin elektroniikan ja ohjelmoitavan logiikan avulla. Koska autoklaavin turvapiirit on toteutettu lähinnä eri komponenteista koostuvista piireistä ja ne ovat suhteellisen yksinkertaisia, oli luonnollista valita uudeksi standardiksi SFS-EN ISO 13849-1 [7].

1.1 STERIS Finn-Aqua

STERIS Finn-Aqua on osa monikansallista STERIS-yhtymää. Finn-Aqua tarjoaa kattavan tuotevalikoiman prosessilaitteita lääketeollisuuden ja tutkimuksen sekä sairaaloiden ja laboratorioiden käyttöön. Yrityksen tärkeimpiä tuotteita ovat autoklaavit, monivaihetislaimet sekä puhtaanhöyrynkehittimet. Lähes koko Finn-Aquan tuotanto menee vientiin, josta noin puolet Pohjois-Amerikkaan. STERIS-yhtymässä työskentelee maailmanlaajuisesti noin 5 000 tiivistä yhteistyötä tekevää asiantuntijaa, joista Suomessa työskentelee noin 200 henkilöä [7,2].

1.2 Autoklaavi eli höyrysterilaattori

Autoklaavi on erilaisten tuotteiden sterilointiin tarkoitettu laite. Autoklaavit voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään, höyry- ja kaasuautoklaaveihin. Höyryautoklaavin toiminta perustuu korkeaan lämpötilaan, ylipaineeseen ja kylläiseen vesihöyryyn. Höyryautoklaavissa tuote kuumennetaan kylläisen vesihöyryn avulla noin 121 °C:seen, jossa se pidetään tyyppillisesti vähintään 15 minuuttia. Jäähdytyksen aikana kammiassa on pidettävä noin yhden baarin ylipaine siihen saakka, kunnes tuotteen lämpötila on laskenut tarpeeksi alas. Ylläpitämällä ylipainetta jäähdytyksessä pystytään kiinteiden aineiden lisäksi steriloimaan myös nesteitä [5,6].

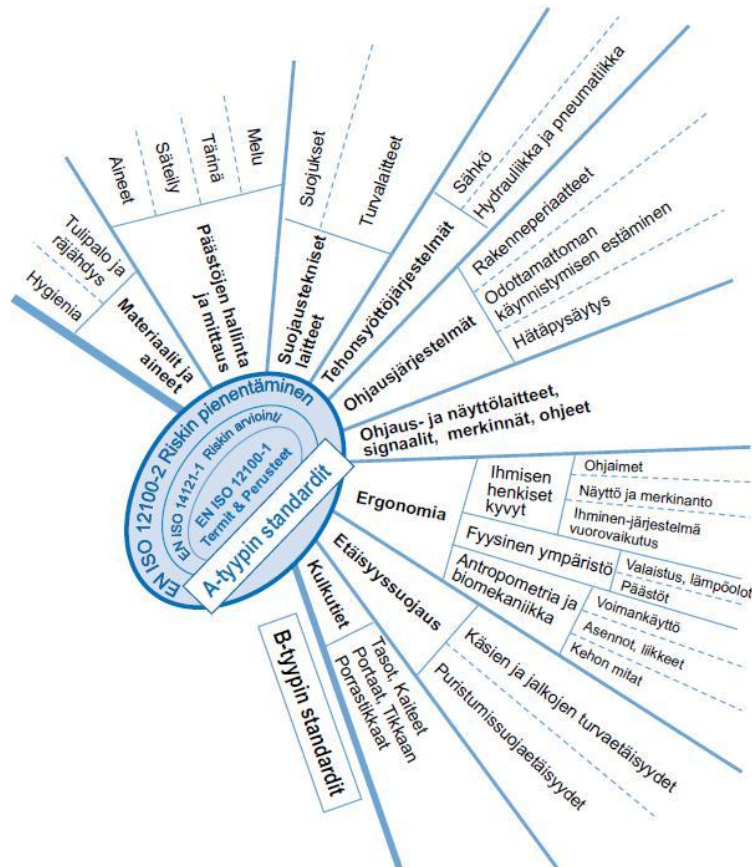
Mikäli steriloitava tuote ei kestä korkeita lämpötiloja, steriloinnissa voidaan vesihöyryn tilalla käyttää jotain mikrobeja tappavia kaasuja, esimerkiksi vetyperoksidi-kaasua. Näin saadaan sterilointilämpötila huomattavasti alhaisemmaksi. Höyrysterilointi on yleisin tapa steriloida erilaisia tuotteita [6].

2 Koneturvallisuus

Nykyisten koneturvallisuuteen liittyvien standardien lähtökohtana on EU:n konedirektiivi 2006/42/EY, jonka tarkoituksena on yhtenäistää Euroopan markkinoille tulevien koneiden säädökset. Tämän lisäksi Suomi on määritellyt oman asetuksen koneturvallisuudesta (400/2008), jonka pohjana on edellä mainittu konedirektiivi. Kyseinen koneasetus sisältää kaikkia koneita koskevat vaatimukset [11,12,14].

2.1 Koneturvallisuuden standardien hierarkia

Kaikki koneturvallisuuteen liittyvät standardit pohjautuvat EU:n laatimaan konedirektiiviin 2006/42/EY. Seuraavana direktiivien ja standardien hierarkiassa ovat niin kutsutut A-tyyppin standardit, jotka ovat niin sanottuja turvallisuuden perusstandardeja, esimerkiksi SFS-EN 12100-1+A1 ja SFS-EN 14121-1. ISO 13849-1 on B1-tyyppin standardi, joka käsittelee yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia. Sitten tulevat C-tyyppin standardit, jotka käsittelevät yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia ja nämä voidaan osittain toteuttaa viittaamalla A- tai B-tyyppin standardeihin (Kuvio 1) [11,14].



Kuvio 1. A- ja B-tyyppin standardien kattamat aihealueet

2.2 Koneen valmistajan tehtävät

Koneen valmistajan on arvioitava riskit, jotka aiheutuvat koneen käytöstä ihmisille, ympäristölle ja tuotteelle. Valmistajan on selvitettävä konetta koskevat turvallisuusvaatimukset, joiden pohjalta kone suunnitellaan ja rakennetaan. Tämän lisäksi koneen valmistajan on laadittava käyttöohjeet, jotka luovutetaan käyttäjälle koneen luovutuksen yhteydessä. Valmistajan tulee kiinnittää koneeseen CE-merkintä ja tehdä vaatimustenmukaisuusvakuutus. Joissain tapauksissa valmistaja vastaa koneen toimittamisesta tyyppitarkastukseen tai täydellisen laadunvarmistusmenettelyn soveltamisesta [18,20].

3 SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet

Tämä standardi koskee kaikenlaisten koneiden ja laitteiden turvapiirien osia riippumatta käytettävästä energiasta tai teknologiasta. Standardi käsittelee vaaroja ja vaaratilanteita käyttäjän näkökulmasta. Standardissa ei oteta kantaa esimerkiksi tuoteturvallisuuteen tai koneen rikkoutumiseen, ellei niistä aiheudu käyttäjälle vaaraa. Standardi ei suoraan kerro minkä tyyppisiä turvatoimintoja on käytettävä tietyissä tilanteissa. Se antaa esimerkkejä tavoista, joilla sitä voidaan soveltaa erilaisiin laitteisiin, mutta näistä esimerkeistä on aina mahdollista poiketa tietyissä rajoissa. Standardin soveltaminen käytäntöön riippuu hyvin monesta seikasta, esimerkiksi käytettävästä teknologiasta. Kaikkia standardissa esitettäviä seikkoja ei aina voida ottaa huomioon, mutta se antaa myös hyvin ohjeistusta tällaisiin tilanteisiin.

Standardi SFS-EN ISO 13849-1 tarjoaa yksinkertaistetun menetelmän turvapiirien laskennalle, joka perustuu parametrien likiarvoihin ja valmiiksi laskettuihin yleisiin arkkitehtuurimalleihin. Standardissa lähdetään liikkeelle vaadittavan suoritustason PL_r määrittämisestä jokaiselle vaaralle tai vaaratilanteelle. Turvapiirien laskennan pohjana toimivat muuttujat komponenttien vaarallisista vikaantumisaajoista, komponenttien toiminnan valvonnasta (diagnoosiikan kattavuudesta) ja turvapiirin luokasta [17,19,20].

3.1 Historia

Nykyisten koneturvallisuusstandardien perustana voidaan pitää 1989 julkaistua konedirektiiviä 89/392/ETY. Seuraavaksi ilmestyivät A- ja B-tyyppin standardit, jotka laadittiin loppuun 1990-luvun alkupuolella. Standardin SFS-EN ISO 13849-1 pohjana toimi SFS-EN ISO 954-1, joka kumottiin 31.12.2011 [11,19].

3.2 PL_r -taso eli required performance level, vaadittava suoritustaso

PL_r -taso on turvatoiminnolle vaadittava suoritustaso, jonka saa arvon välillä a - e. PL_r -taso kuvaa myös riskin pienentämisen tarvetta tietyille vaaralle tai vaaratilanteelle. Arvo a tarkoittaa pientä tarvetta ja arvo e suurta tarvetta. Vaadittava suoritustaso määritetään kolmen muuttujan avulla, jotka kuvaavat vamman vakavuutta ja taajuutta jolla käyttäjä on alttiina vaaralle, ja käyttäjän mahdollisuutta välttää vaara [19,9,20,21,22].

3.2.1 Vamman vakavuus

Ensimmäinen ja tärkein muuttuja PL_r -tason määrittämisessä on mahdollisen vamman vakavuus (S1, S2). S1:llä tarkoitetaan lievää vammaa, joka ei vaadi vaativaa hoitoa eikä aiheuta pysyviä vammoja. S1-vammoja ovat esim. ruhje, mustelma tai pieni haava, joka ei vaadi lääkärinhoitoa. S2:lla tarkoitetaan vakavaa tapaturmaa joka vaatii hoitoa, aiheuttaa pysyvän vamman tai johtaa kuolemaan [9,19,20,21,22].

3.2.2 Altistumisen taajuus

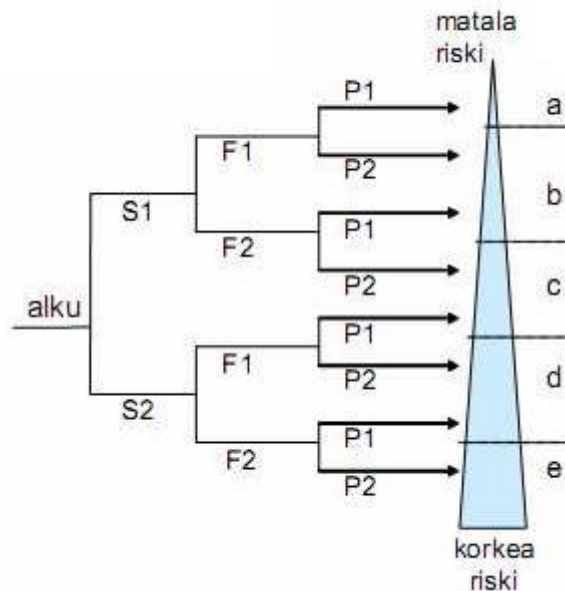
Toinen muuttuja on vaaralle altistumisen taajuus (F1, F2). F1 voidaan valita, jos vaaralle altistutaan harvemmin kuin kerran tunnissa tai vaaralle altistumisen aika on suhteellisen lyhyt. F2 on valittava, jos vaaralle altistutaan useammin kuin kerran tunnissa tai vaaralle altistumisen kesto on suhteellisen pitkä verrattuna koneen muuhun käyttöön [9,19,20,21,22].

3.2.3 Vaaran vältettävyyden

Kolmannella muuttujalla (P1, P2) kuvataan mahdollisuutta välttää vaara tai pienentää merkittävästi mahdollisen vamman vakavuutta. P1 voidaan valita, jos on todella mahdollista välttää vaara esimerkiksi pakenemalla. Jos vaaraa ei voida välttää tai se on epätodennäköistä, on valittava P2. Tätä muuttujaa määritettäessä on syytä kiinnittää huomiota vaaran syntymisen nopeuteen tai hitauteen. Nopeisiin liikkeisiin ei välttämättä ehdi reagoida ja hitaat, vaaralliset liikkeet huomataan helposti liian myöhään, eikä niitä silloin enää ehdi väistää [9,19,22].

3.2.4 PL_r -tason valinta

Muuttujien määrittelyn jälkeen, luetaan kuviosta 2 vaadittava PL_r -taso.



Kuvio 2. PL_r -tason määrittäminen muuttujien S, F ja P avulla.

Kuten kuviosta 2 käy ilmi, muuttujilla on eri painotus toisiinsa nähden, S:n ollessa tärkein ja P:n ollessa vähiten merkityksellinen [19,21,22].

3.3 PL -taso eli performance level, suoritustaso

PL -taso on suoritustaso, joka kuvaa turvapiirin kykyä suorittaa turvatoiminto ennakoitavissa olevissa olosuhteissa. PL -taso määritetään ja lasketaan kolmen muuttujan avulla. Muuttujat ovat, $MTTF_d$ vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika, diagnostiikan kattavuus ja turvapiirin luokka (Kuvio 3.)

Luokka	B	1	2	2	3	3	4
DC_{avg}	nolla (none)	nolla (none)	matala (low)	keski- määräinen (medium)	matala (low)	keski- määräinen (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

Kuvio 3. Yksinkertainen tapa suoritustason (PL) määrittämiseksi

Jokaiselle turvapiirille on määritettävä PL -taso, jonka tulee olla vähintään yhtä korkea kuin turvatoiminnolle vaadittu PL_r -taso. Esimerkiksi, jos turvatoiminnolle vaadittava taso on $PL_r = c$, on sen toteuttavan turvapiirin PL -tason oltava vähintään $PL = c$.

Laskennallisesti on usein mielekästä jakaa turvapiiri pienempiin ja yksinkertaisempiin osiin, ja laskea näille osille erikseen omat PL -tasot. Näiden osien PL -tasot voidaan yhdistää koko piirin PL -tasoksi kuvion 4 mukaan.

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

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

Kuvio 4. Osien PL -tasojen yhdistäminen koko piirin PL -tasoksi

Ensin tunnistetaan matalin PL -taso, tämä on taulukossa esiintyvä PL_{low} . Seuraavaksi tunnistetaan N_{low} mikä on niiden osien lukumäärä joilla PL on low. Lopuksi kuviosta 4 luetaan koko piirin PL -taso [19,20,22].

3.3.1 $MTTF_d$ eli mean time to dangerous failure, vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika

$MTTF_d$ lasketaan ensin jokaiselle komponentille erikseen. Ensisijaisesti yksittäisten komponenttien $MTTF_d$ arvo saadaan valmistajan antamista tiedoista. Usein tämä arvo joudutaan määrittämään kuitenkin valmistajan antaman arvon B_{10d} avulla *kaavasta 1*:

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 * n_{op}}$$

B_{10d} kuvaa kytkentöjen lukumäärää, jonka komponentti kestää, ja n_{op} kuvaa kytkentöjen määrää vuodessa. Mikäli valmistajalta ei kyseisiä tietoja löydy, $MTTF_d$ tai B_{10d} arvo voidaan katsoa liitteen 1 mukaan, johon on poimittu myös puuttuvat arvot standardin taulukosta C.1. Jos arvoa $MTTF_d$ tai B_{10d} ei komponentille voida edellä mainittujen tapojen mukaan valita, on valittava $MTTF_d$ arvoksi 10 vuotta. Tämän jälkeen näistä arvoista lasketaan koko kanavan $MTTF_d$ *kaavasta 2*:

$$\frac{1}{MTTF_{d,ch}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{MTTF_{d,i}}$$

Kunkin kanavan suurin sallittu $MTTF_d$ -arvo on 100 vuotta, koska kanavan luotettavuus ei saa johtua pelkästään yksittäisen komponentin luotettavuudesta. Kanavien $MTTF_d$ arvot on jaettu kolmeen ryhmään: matalan tason $MTTF_d$ arvo on välillä 3 - 10 vuotta, keskimääräinen 10 - 30 vuotta ja korkea 30 - 100 vuotta. Koska useissa turvapiirien sovelluksissa käytetään useampaa kuin yhtä kanavaa, koko piirin $MTTF_d$ arvo voidaan laskea *kaavasta 3* [19,22,3]:

$$MTTF_{d,ch.tot} = \frac{2}{3} \left[MTTF_{d,ch1} + MTTF_{d,ch2} + \dots + MTTF_{d,chN} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{d,ch1}} + \frac{1}{MTTF_{d,ch2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{d,chN}}} \right]$$

3.3.2 DC eli diagnostic coverage, diagnostiikan kattavuus

Diagnostiikan kattavuudella tarkoitetaan komponenttien valvontaa. Tarkoituksena on paljastaa komponenttien vaaralliset vikaantumiset ennen turvatoiminnon menettämistä. Diagnostiikan kattavuus on jaettu neljään tasoon: nolla, kun vaarallisista vikaantumisista havaitaan alle 60 %; matala, kun 60 – 90 %; keskimääräinen, kun 90 – 99 % ja korkea, kun yli 99 % vaarallisista vikaantumisista havaitaan. Kattavuus riippuu pitkälti menetelmästä, jolla komponenttien valvontaa suoritetaan. Arvo määritetään jokaiselle komponentille erikseen. *Liitteestä 2* löytyvät yleisimmät valvontamallit tuloille, logikoille ja lähdöille erikseen. Valvonta on mahdollista toteuttaa muillakin periaatteilla, ja näissä tapauksissa DC-arvo saadaan *kaavasta 4*:

$$DC = \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_{D,tot}}$$

jossa λ_{DD} on paljastuneiden vaarallisten laitevikaantumisten määrä ja $\lambda_{D,tot}$ on kaikkien vaarallisten laitevikaantumisten määrä [19,20,22,3].

Kun yksittäisille komponenteille on määritetty diagnostiikan kattavuus, voidaan koko kanavan DC_{avg} laskea *kaavasta 5*:

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{d1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{DC_N}{MTTF_{dN}}}{\frac{1}{MTTF_{d1}} + \frac{1}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{dN}}}$$

3.3.3 Luokat

Luokat ovat perusmuuttujia, joita käytetään tietyn suoritustason saavuttamiseen. Yksittäisen turvapiirin osan on kuuluttava johonkin viidestä luokasta B, 1, 2, 3 tai 4. Luokan valinta riippuu pääasiassa vaadittavasta suoritustasosta PL_r , käytettävästä teknologiasta, $MTTF_d$:stä ja diagnostiikan kattavuudesta. Luokissa 2 - 4 on käytettävä toimenpiteitä yhteisvikaantumisen estämiseksi (CCF). Turvapiirin osan rakenteella on myös suuri vaikutus luokan valintaan. Luokat voidaan esittää turvallisuuteen liittyvänä lohkokaaaviona, joita kutsutaan myös nimetyiksi rakenteiksi. Nämä rakenteet on esitelty *liitteessä 3*. Nimetystä rakenteesta poikkeaminen on aina mahdollista, mutta näissä tapauksissa täytyy muulla tavalla varmistua siitä, että kyseisen luokan vaatimukset toteutuvat [10,15,19,20,22].

Luokka B on perusluokka, jossa yksittäinen vika voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen. Luokan B järjestelmän osat on suunniteltava, rakennettava, valittava, koottava ja yhdistettävä asiaankuuluvien standardien ja periaatteiden mukaisesti. Luokassa B diagnostiikan kattavuus ($DC_{avg} = nolla$) ja $MTTF_d$ voi olla joko pieni tai keskimääräinen. Luokan B järjestelmissä on myös otettava huomioon käyttökuormitukset, käsiteltävien aineiden vaikutukset ja merkittävät ulkoiset vaikutukset kuten lämpötila, kosteus, värinä, häiriöt tehonsyötössä tai häiriöt muissa hyödykkeiden saannissa. Suurin saavutettavissa oleva suoritustaso on $PL = b$ [10,15,19,20,22].

Luokan 1 on täytettävä luokan B vaatimukset. Lisäksi luokan 1 järjestelmissä tulee käyttää hyvin koeteltuja komponentteja. Hyvin koeteltu komponentti on sellainen, jota on yleisesti käytetty vastaavissa sovelluksissa hyvin tuloksin tai joka on valmistettu ja todennettu noudattamalla periaatteita, joilla voidaan osoittaa komponentin sopivuus kyseiseen sovellukseen. Luokan 1 järjestelmissä ei ole diagnostiikan kattavuutta lainkaan ja $MTTF_d$ tason on oltava korkea. Vian esiintyminen järjestelmässä voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen. Luokan 1 järjestelmällä suurin saavutettavissa oleva suoritustaso on $PL = c$ [10,15,19,20,22].

Luokassa 2 on sovellettava samoja vaatimuksia kuin luokassa B. Lisäksi luokassa 2 komponenttien täytyy olla hyvin koeteltuja. Luokan 2 järjestelmä on suunniteltava siten, että komponenttien toiminta tarkistetaan määräajoin vikojen paljastumiseksi. Tarkistuksen on tapahduttava koneen käynnistyksen yhteydessä ja ennen minkään vaarallisen liikkeen tai toiminnon alkamista. Tarkistus voi alkaa automaattisesti. Turvatoiminnon tarkistuksen on sallittava koneen normaali käyttö, mikäli yhtään vikaa ei paljastu. Jos vika paljastuu, on turvalaitteen saatava aikaan lähtösignaali, joka saattaa koneen turvalliseen tilaan. Turvallinen tila on ylläpidettävä, kunnes vika on korjattu. Mikäli siirtyminen turvalliseen tilaan ei ole mahdollista, lähtösignaalin on saatava aikaan varoitus vaarasta. Luokan 2 mukaisessa järjestelmässä diagnostiikan kattavuuden tulee vähintäänkin olla matala ja kunkin kanavan $MTTF_d$ -taso voi olla välillä matala – korkea, riippuen vaadittavasta suoritustasosta PL_r . Luokassa 2 vian esiintyminen tarkastusten välillä voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen, ja tarkistuksilla paljastetaan turvatoiminnon menettäminen. Luokassa 2 suurin saavutettavissa oleva suoritustaso on $PL = d$ [10,15,19,20,22].

Luokassa 3 on käytettävä samoja vaatimuksia kuin luokassa B. Lisäksi on käytettävä hyvin koeteltuja komponentteja. Luokan 3 järjestelmät on suunniteltava siten, että mikään yksittäinen vika ei aiheuta turvatoiminnon menettämistä. Mikäli on kohtuudella mahdollista, yksittäisen vian on paljastuttava ennen seuraavaa vaadetta tai sen yhteydessä. Luokassa 3 diagnostiikan kattavuuden tulee olla vähintään matala ja $MTTF_d$ taso voi olla välillä matala - korkea, riippuen vaadittavasta PL_r -tasosta. Lisäksi toimenpiteitä yhteisvikaantumista vastaan on käytettävä. Luokan 3 järjestelmässä osa vioista paljastuu, mutta eivät välttämättä kaikki. Paljastumattomien vikojen kerääntyminen voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen. Suurin saavutettavissa oleva suoritustaso luokan 3 järjestelmillä on $PL = d$ [10,15,19,20,22].

Luokassa 4 on sovellettava samoja vaatimuksia kuin luokassa B. Lisäksi on käytettävä hyvin koeteltuja komponentteja. Luokan 4 järjestelmät on suunniteltava siten, että yksittäinen vika ei missään tilanteessa johda turvatoiminnon menettämiseen. Yksittäisen vian on paljastuttava turvatoiminnon seuraavan vaateen yhteydessä tai ennen sitä, esimerkiksi välittömästi tehon päälle kytkennässä. Mikäli vikojen paljastuminen ei ole mahdollista, vikojen kerääntyminen ei saa johtaa turvatoiminnon menettämiseen. Luokassa 4 sekä diagnostiikan kattavuuden että $MTTF_d$ -tason on oltava korkea ja toimenpiteitä yhteisvikaantumista vastaan on käytettävä. Luokan 4 järjestelmissä yksittäisen vian esiintyessä turvatoiminto suoritetaan aina. Vikojen on paljastuttava ajoissa, ettei turvatoimintoa menetetä. Paljastumattomien vikojen kerääntyminen on luokan 4 järjestelmissä otettava huomioon, mutta käytännössä kahden vian muodostaman yhdistelmän tarkastelu voi olla riittävä. Suurin saavutettavissa oleva suoritustaso luokan 4 järjestelmille on $PL = e$ [10,15,19,20,22].

3.3.4 CCF eli common cause failure, yhteisvikaantuminen

Yhteisvikaantumisella tarkoitetaan yksittäisestä tapahtumasta johtuvaa useiden kohteiden vikaantumista. Tällaisessa tilanteessa yksittäiset viat eivät ole toistensa seurauksia. *Liitteessä 4* on luettelo toimenpiteistä, jotka edustavat osuutta yhteisvikaantumisen vähentämiseksi. Jokaiselle toimenpiteelle on annettu numeroarvo, joka kuvaa osuutta yhteisvikaantumisen pienentämiseksi. Jokaiselle toimenpiteelle voidaan antaa arvoksi vain täydet pisteet tai nolla pistettä. Mikäli tulokseksi saatu pistemäärä on vähintään 65, voidaan katsoa että riittävät toimenpiteet yhteisvikaantumista vastaan on toteutettu [19,20,22].

4 Vaarojen tunnistus ja PL_r -rajan määrittäminen

Tässä luvussa tarkastellaan autoklaavin vaaroja ja määritetään vaaroille vaadittavat PL_r -tasot. Riskejä arvioitaessa todennettiin, että koneessa on kolme vaaraa, jotka täytyy ottaa huomioon tämän standardin pohjalta turvapiirejä käsiteltäessä. Vaarana on jäädä oven ja rungon väliin ovea liikuteltaessa, altistua kuumalle höyrylle, joka vuotaa tiivisteiden välistä, ja altistua kuumalle höyrylle, kun ovi on auki. Riskinarvioinnin lähtötilanteessa on otettu huomioon mekaaniset ratkaisut, jotka parantavat jo itsessään koneen turvallisuutta [13,19,20,22].

4.1 Oven liike

Vaarana on, erityisesti ovea suljettaessa, että henkilö puristuu liikkuvan oven ja rungon, kammion tai verhoilupeltien väliin. Tarkastelu on tehty koneen käyttäjän näkökulmasta. Huoltotiloissa tapahtuvaa oven liikettä ei ole otettu huomioon, koska huoltotilaan saavat mennä vain koulutetut huoltohenkilöt. Normaalitytilanteessa huoltotilaan pääsyyn vaaditaan myös avain [13,4].

4.1.1 PL_r -tason määrittäminen

Jonkin ruumiinosan jääminen liikkuvan oven ja rungon väliin voi aiheuttaa vakaviakin vammoja, jotka vaativat välitöntä hoitoa. Erityisesti isommissa klaaveissa tämä voi johtaa murtumiin tai jopa raajan irtileikkautumiseen. Tästä syystä valitaan muuttujaksi S2 [4,9,13,19,20,21,22].

Vaaralle ollaan alttiina, kun ovea liikutellaan. Ovia liikutellaan aina lastauksen ja purun yhteydessä. Näin ollen vaaralle altistutaan harvemmin kuin kerran tunnissa ja altistumisaika on lyhyt. Tällöin voidaan muuttujaksi valita F1 [4,9,13,19,20,21,22].

Oven ohjaus tapahtuu tyypillisesti sellaisesta paikasta, josta käyttäjän on mahdotonta joutua puristuksiin oven ja rungon väliin. Oven liikenopeus säädetään niin pieneksi, että ulkopuolinen ihminen, joka on vaaravyöhykkeellä, ehtii huomata vaaran syntymisen ja täten pystyy väistämään sen. Näillä perusteilla voidaan valita muuttujaksi P1 [4,9,13,19,20,21,22].

Näillä muuttujilla voidaan lukea kuviosta 2 vaadittava suoritustaso PL_r , joka tässä tapauksessa on $PL_r = c$, eli turvallisuuden parantamisen tarve on keskinkertainen [4,9,13,19,20,21,22].

4.2 Oven tiivistyksen pettäminen

Vaarana on altistua kuumalle höyrylle, mikäli kammion tiivistys pettää, kun kammiossa on höyryä. Kammioista mahdollisesti purkautuva höyry ohjautuu osittain verhoilupeitteen ansiosta sivuun, eikä suoraan kohti käyttäjää [4,9,13,19,20,21,22].

4.2.1 PL_r -tason määrittäminen

Höyryn purkautuminen suoraan käyttäjän päälle on pääosin estetty koneen rakenteella, mutta altistuminen on tietyissä paikoissa mahdollista. Mahdolliset vammat ovat lähinnä pieniä itsestään palautuvia palovammoja, jotka eivät välttämättä vaadi lääkärinhoitoa. Näillä perusteilla voidaan valita muuttujaksi S1 [4,9,13,19,20,21,22].

Vaaralle ollaan alttiina aina, kun kammiossa on höyryä. Altistumisen taajuus on useammin kuin kerran tunnissa ja altistumisaika on suhteellisen suuri. Näistä syistä voidaan valita muuttujaksi F2 [4,9,13,19,20,21,22].

Vaara pystytään välttämään pakenemalla, kun havaitaan tiivistyksen puute. Tästä syystä valitaan P1. Vaikka höyrylle ehdittäisiin altistua hieman, vammaa pystytään lieventämään poistumalla paikalta [4,9,13,19,20,21,22].

Näillä muuttujilla voidaan lukea kuviosta 2 vaadittava suoritustaso PL_r , joka tässä tapauksessa on $PL_r = b$, eli turvallisuuden parantamisen tarve on suhteellisen pieni [4,9,13,19,20,21,22].

4.3 Kammioon höyryä vaikka ovi on auki

Käyttäjällä on vaarana altistua suurelle määrää kuumaa höyryä, joka purkautuu kammioista kun ovi on auki, tai ovi aukeaa kesken paineistuksen. Tämä on kolmesta vaarasta vakavin [4,9,13,19,20,21,22].

4.3.1 PL_r -tason määrittäminen

Höyryn purkautuessa käyttäjän päälle avoimesta ovesta, voi käyttäjä saada vakavia palovammoja, jotka vaativat lääkärin hoitoa. Koska oven ollessa auki, koneen rakenne ei estä tai vähennä höyryn määrää, jolle käyttäjä voi altistua, on muuttujaksi valittava S2 [4,9,13,19,20,21,22].

Käyttäjä on alttiina vaaralle oven ollessa auki. Altistumisen taajuus on vähemmän kuin kerran tunnissa ja altistumisaika on suhteellisen lyhyt. Näillä perusteilla voidaan valita muuttujaksi F1 [4,9,13,19,20,21,22].

Vaaratilanne syntyy yllättäen eikä käyttäjällä ole mahdollisuutta välttää vaaraa pakenemalla. Vaikka vamman vakavuutta joissain tilanteissa voidaan hieman pienentää pakenemalla, on silti hyvä valita muuttujaksi P2, jotta turvallisuutta parannetaan varmasti riittävästi [4,9,13,19,20,21,22].

Näillä muuttujien arvoilla voidaan lukea kuviosta 2 vaadittava suoritustaso PL_r , joka tässä tapauksessa on $PL_r = d$, eli turvallisuuden parantamisen tarve on suhteellisen suuri [4,9,13,19,20,21,22].

5 Turvapiirit

Turvapiirin voidaan katsoa olevan osa koneen ohjausjärjestelmää, jonka tarkoituksena on pienentää koneen käytöstä aiheutuvia vaaroja ja riskejä. Turvapiireillä pyritään siis estämään mahdolliset tapaturmat. Turvapiirin voidaan katsoa alkavan kohdasta, jossa turvallisuuteen liittyvät signaalit syntyvät, esimerkiksi oven rajakytkin, joka ilmaisee, onko ovi auki vai kiinni, ja päättyy tehonohjaukseen, esimerkiksi venttiiliin, joka ohjaa höyryn syöttöä kammioon [13,22,23].

Turvapiirejä laskettaessa on arvioitava, kuinka monta kytkentää komponentti toteuttaa vuoden aikana. Autoklaavien kierto kestää yleensä noin kaksi tuntia, eli komponentti vaihtaa tilaa vuorokaudessa noin 24 kertaa. Vuodessa kytkentöjä turvapiirin komponenteille tulee noin 8 760 kappaletta. Kun valmistajan antamat B_{10d} -arvo jaetaan kytkentöjen lukumäärällä, saadaan komponentin $MTTF_d$ [13].

5.1 Oven liike

5.1.1 Turvapiirin toiminnankuvaus

Oven liikkeestä aiheutuvana vaarana on jäädä puristuksiin oven ja rungon väliin. Tämä on estetty oven reunaan kiinnitettyllä tuntoturvaruunalla, joka on yhteydessä turvareleeseen. Kun turvareunaan vaikutetaan oven liikkeessä, eli jos oven ja rungon väliin jää jotain sinne kuulumatonta esimerkiksi käsi, tällainen tapahtuma saa aikaan signaalin turvareleelle, joka puolestaan pysäyttää oven liikkeen [4,13].

5.1.2 PL-tason saavutus

Oven turvapiirin turvareuna ja turvarele ovat Tapeswitchi:n valmistamia. Valmistaja vakuuttaa että, kun käytetään turvareunan TS28 kanssa turvarelettä PRSU/4, turvapiirin suoritustasoksi saadaan $PL = d$. Oven turvapiiriä ei tarvitse tarkemmin laskea vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan, diagnostiikan kattavuuden ja luokan avulla, koska valmistajan antamista tiedoista selviää suoraan saavutettava suoritustaso.

Kuten kohdassa 3.1 mainittiin, oven liikkeelle määritetty vaadittava suoritustaso on $PL_r = c$, joka on pienempi kuin saavutettu suoritustaso $PL = d$, eli riskiä on pienennetty tarpeeksi [19,20,22].

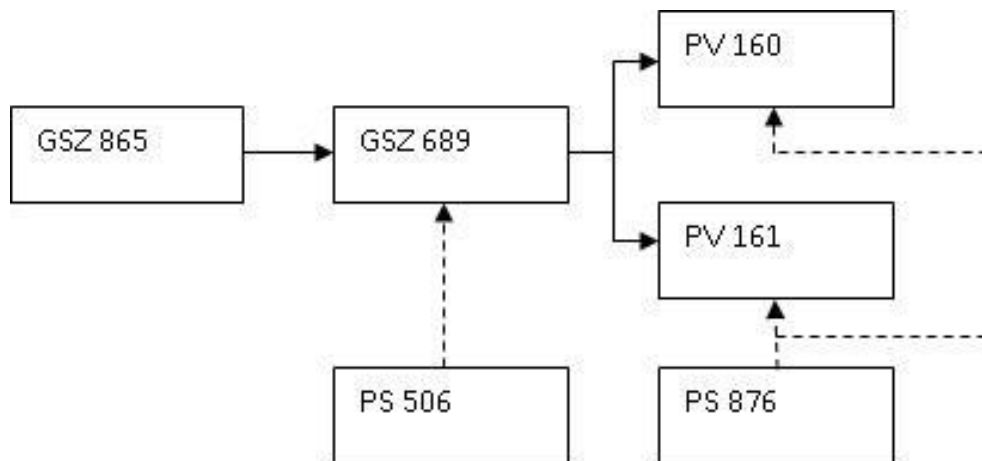
5.2 Oven tiivistys

5.2.1 Turvapiirin toiminnankuvaus

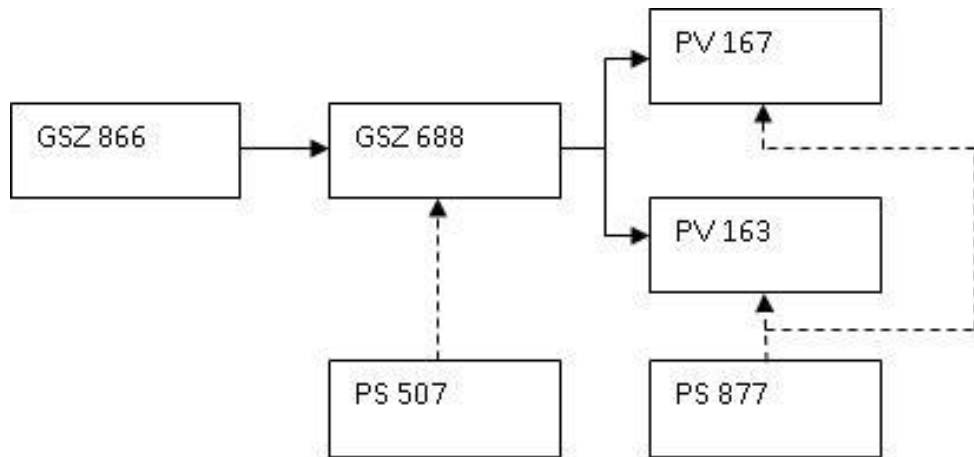
Oven tiivistys on toteutettu kahdella yksikanavaisella turvapiirillä, joissa voidaan katsoa olevan myös oma testauskanava komponenttien diagnostiikkaa varten.

Turvapiirin ensimmäinen osa on ovenssa oleva rajakytkin Telemecanique ZCK-M1H29 (GSZ 865, 866), jonka rajatieto ilmaisee onko ovi kiinni. Kun ovi on suljettu, se lukitaan paikalleen. Oven lukitus avaa Feston venttiilin R-3-1/4-B (GSZ 688, 689). Venttiilin avaaminen paineistaa linjan, jolla ohjataan Bürkertin venttiiliä 2000-A-13, 0-PTFE-RG-G1/2 (PV 160, 161, 163, 167), joka avautuessaan päästää paineen tiivisteelle ja tiivistää oven. Koska kyseessä on kaksiovinen autoklaavi, on molemmille oville oma, mutta samalla tavalla ja samoilla komponenteilla toteutettu turvapiiri.

Komponenttien diagnostiikka toteutetaan epäsuorasti paineantureilla ja painekeytkimillä. Feston venttiilin (GSZ 688, 689) toimintaa valvotaan Feston painekeytkimellä SDE5-D10-0-Q6E-P-M8 (PV 506, 507, 671). Venttiilien (PV 160, 161, 163, 167) toimintaa valvotaan Danfoss:n painekeytkimillä (PS 876, 877), joiden rajatiedot kertovat suoraan, onko tiivistelinja paineistettu. Turvapiirien PID-kaaviot löytyvät liitteestä 6 [1,13,23,22,16] (Kuviot 5 ja 6).



Kuvio 5. Oven turvapiiri ei-steriilillä puolella.



Kuvio 6. Oven turvapiiri steriilillä puolella

5.2.2 Muuttujien laskenta ($MTTF_d$, Luokka, DC)

Laskennassa käytettävien muuttujien arvot on saatu valmistajien tuote-esitteistä, suoraan valmistajalta tai standardin taulukosta C.1. Nämä tiedot on esitetty liitteessä 1.

Turvapiirin $MTTF_d$ laskettiin kaavalla 1, ja sen arvoksi saatiin $MTTF_d = 413$ vuotta. Koska standardissa turvapiirin suurin sallittu $MTTF_d$ on 100 vuotta, todetaan että arvo on korkea.

Järjestelmän diagnostiikan kattavuus laskettiin kaavalla 5. Diagnostiikan kattavuuden komponenteille GSZ 688, 689 ja PV 160, 161, 163, 167 voidaan todeta liitteen 2 mukaan olevan 99 %. Komponentteja GSZ 865 ja GSZ 866 ei valvota ollenkaan, mutta kyseisten komponenttien vaarallinen vikaantuminen voidaan pois sulkea, koska ne on valmistettu standardin ICE 60947-5-1 liitteen K mukaan. Näillä arvoilla $DC_{avg} = 99\%$, eli korkea.

Tämä järjestelmä täyttää luokan 2 vaatimukset kaikilta osin. Tästä syystä luokaksi valitaan luokka 2 [8,19,20,22].

5.2.3 PL -tason saavutus

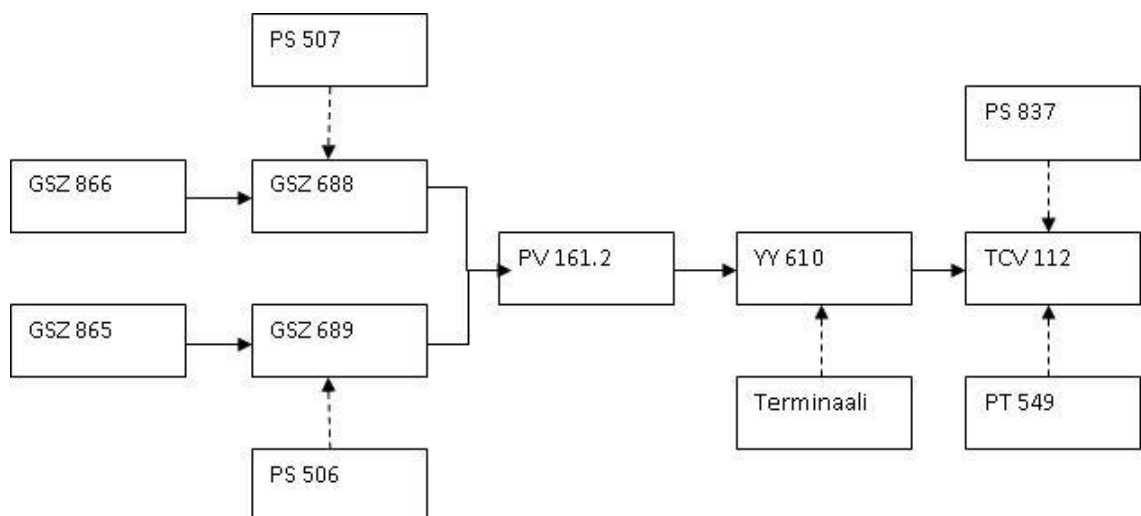
Näillä arvoilla saadaan kuvion 3 mukaan järjestelmän suoritustasoksi $PL = d$. Riskinarvioinnissa tämän turvapiirin vaadittavaksi suoritustasoksi saatiin $PL_r = c$, eli tässä tapauksessa voidaan katsoa, että riskiä on pienennetty tarpeeksi, koska $PL \geq PL_r$. Tarkat laskut löytyvät liitteestä 5 [19,22].

5.3 Kammioon höyryä vaikka ovi on auki

5.3.1 Turvapiirin toiminnankuvaus

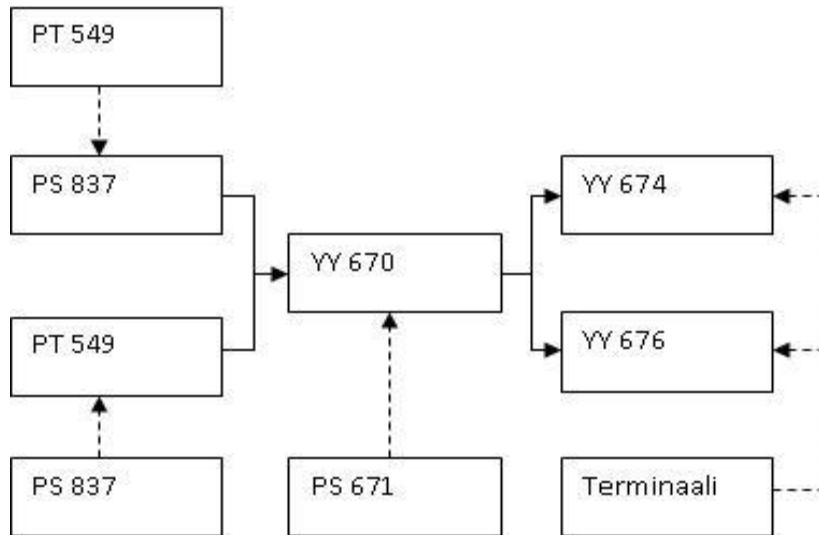
Tämä turvapiiri on toteutettu kaksikanavaisella järjestelmällä. Turvapiirissä voidaan katsoa olevan myös oma kanava diagnostiikalle. Turvapiirin ensimmäinen osa on rajakytkimet GSZ 865, 866, jotka ilmaisevat, kun ovet on suljettu. Tämän jälkeen ovet lukitaan, tämän seurauksena venttiilit GSZ 689, 688 avautuvat. Venttiin GSZ 688 avautuminen paineistaa linjan, joka ohjaa venttiiliä PV 161.2, venttiin GSZ 689 on oltava myös auki, jotta paine saadaan venttiin PV 161.2 taakse. Seuraavaksi painelinja on vedetty Feston terminaalin venttiilille YY 610, joka lopulta ohjaa höyrylinjan venttiiliä TCV 112.

Tämän piirin diagnostiikka on toteutettu seuraavasti. Venttiilejä GSZ 688 ja GSZ 689 valvotaan epäsuorasti painekeytkimillä niiden takana olevasta linjasta. Feston terminaali valvoo venttiin YY 610 toimintaa. Höyryventtiin TCV 112 toimintaa valvotaan epäsuorasti painekeytkimellä PS 837 ja paineanturilla PT549.



Kuvio 7. Höyryn syötön turvapiiri

Tätä turvapiiriä tarkasteltaessa on otettava huomioon myös oven aukaisun estäminen kammion paineistuksen aikana. Kammion painetta luetaan nolla-painekeytkimellä PS 837 ja paineanturilla PT 549. Näiltä antureilta saadun tiedon perusteella venttiili YY670 aukeaa ja päästää paineen Feston venttiiliterminaalille. Terminaalin venttiilit YY674 ja YY676 ohjaavat oven sylintereitä.



Kuvio 8. Oven aukaisun estäminen

Paineanturien PS 837 ja PT 549 valvonta on suoritettu ristiin valvonnalla, jossa nämä komponentit valvovat toisiaan. Venttiilin YY 670 toimintaa valvotaan painekeytkimellä PS 671. Feston terminaali valvoo venttiilien YY 674 ja YY 676 toimintaa suoraan. Turvapiirin PID-kaavio löytyy liitteestä 6 [13,1,23,22,16].

5.3.2 Muuttujien laskenta ($MTTF_d$, Luokka, DC)

Laskennassa käytetyt arvot muuttujille on katsottu liitteestä 1. Höyryn syöttöä ohjaavan turvapiirin $MTTF_d$ laskettiin kaavalla 1, ja sen arvoksi saatiin $MTTF_d = 531$ vuotta. Koska standardissa turvapiirin suurin sallittu $MTTF_d$ on 100 vuotta, todetaan että arvo on korkea.

Ovea ohjaavan turvapiirin $MTTF_d$ laskettiin kaavalla 1, ja sen arvoksi saatiin $MTTF_d = 4596$ vuotta. Koska standardissa piirin suurin sallittu $MTTF_d$ on 100 vuotta, todetaan että arvo on korkea.

Höyryn syötön turvapiirin diagnostiikan kattavuus laskettiin kaavalla 5. Komponenttia PV 161.2 ei valvota ollenkaan, eli sen diagnostiikan kattavuus on nolla. Diagnostiikan kattavuus kaikille muille järjestelmän komponenteille voidaan todeta liitteen 2 mukaan olevan 99 %. Komponentteja GSZ 865 ja GSZ 866 ei valvota ollenkaan, mutta kyseisten komponenttien vaarallinen vikaantuminen voidaan pois sulkea, koska ne on valmistettu standardin ICE 60947-5-1 liitteen K mukaan. Näillä arvoilla $DC_{avg} = 82 \%$, eli matala.

Ovien ohjausta koskevalle turvapiirille diagnostiikan kattavuus laskettiin kaavalla 5. Diagnostiikan kattavuuden kaikille piirin komponenteille voidaan todeta liitteen 2 mukaan olevan 99 %. Näillä arvoilla $DC_{avg} = 99\%$, eli korkea.

Sekä ovea ohjaavat, että höyrynsyöttöä ohjaavat turvapiirit täyttävät luokan 3 vaatimukset. Näissä piireissä yksittäisen komponentin vikaantuminen ei aiheuta turvatoiminnon menettämistä. Lisäksi on käytetty toimenpiteitä yhteisvikaantumisten estämiseksi, liite 4 ja kohta 5.4. Näillä perusteilla molempien järjestelmien luokaksi voidaan valita luokka 3 [8,19,20,22].

5.3.3 *PL*-tason saavutus

Näillä muuttujilla höyryn syöttöä koskevan turvapiirin suoritustasoksi saatiin kuvion 3 mukaan $PL = d$. Vastaavasti ovea ohjaavan turvapiirin suoritustasoksi saatiin edellä mainituilla arvoilla $PL = d$.

Koska turvapiirien suoritustasot on laskettu erikseen, ne on yhdistettävä kuvion 4 mukaan. Näin koko piirin suoritus tasoksi saatiin $PL = d$. Näin ollen riskiä on pienennetty riittävästi [19,22].

5.4 CCF, autoklaavin yhteisvikaantuminen

Kuten edellä mainittiin, on luokissa 3 ja 4 käytettävä toimenpiteitä yhteisvikaantumista vastaan. Autoklaavissa signaalireitit on eroteltu toisistaan, järjestelmän käyttö- ja ohjausjännitteiden johdot pyritään aina pitämään erillään ja johdot ovat omissa kouruissaan erillään autoklaavin putkistosta. Näillä perusteilla liitteen 4 ensimmäisestä kohdasta tulee pisteitä 15.

Autoklaavin turvapiireissä on käytetty sekä analogisia että digitaalisia komponentteja. Esimerkiksi painetta luetaan painelähettimillä ja paineantureilla. Usean eri ehdon täytyy täytyä, ennen kuin koneen käyttö voidaan sallia. Kohdasta 2 saadaan pisteitä 20.

Autoklaavin sähköt on turvattu ylijännitteeltä usean eri sulakkeen avulla. Ylipainetta vastaa on suojauduttu asentamalla kammioon murtokalvo, joka rikkoutuessaan vapauttaa kammion paineen turvallisesti, mikäli kaikki muut turvatoiminnot olisi menetetty. Kohdasta 3.1 saadaan pisteitä 15.

Autoklaavin turvapiireissä on käytetty usean eri valmistajan komponentteja, joten kohdasta 3.2 saadaan pisteitä 5. Asiakas antaa tiedot koneen käyttötavasta ja ympäristöstä johon se asennetaan, nämä seikat otetaan huomioon suunnittelussa. Kohdasta 6.2 pisteitä saadaan 10.

Kohtien 4 - 6.1 kaikkia ehtoja ei ole täytetty, joten niistä ei jaeta pisteitä. Tässä tarkastelussa saatiin pisteitä 65, eli toimenpiteet yhteisvikaantumisten välttämiseksi ovat riittävät [14,19,20].

6 Yhteenveto

Yritys oli jo aikaisemmin käyttänyt autoklaavien suunnittelussa ja rakentamisessa standardia SFS-EN ISO 954-1, joka oli standardin SFS-EN ISO 13849-1 edeltäjä. Tästä syystä oli jo työn alkaessa tieto siitä, että turvallisuusasiat on otettu autoklaaveissa hyvin huomioon.

Kuten laskelmista selviää, mitään muutoksia autoklaavin turvapiireihin ei tarvitse tehdä, että ne toteuttavat kaikki standardin SFS-EN ISO 13849-1 asettamat ehdot. Vaikka turvapiirit saavuttivat riittävän korkean suoritustason, suurimpana puutteena oli joidenkin komponenttien diagnostiikka. Koska kaikkia piirin komponentteja ei valvota, jää järjestelmän DC_{avg} hyvin helposti alle 60 % ja korkeampien suoritustasojen saavutus voi olla vaikeaa [19,14].

7 Suositukset jatkotoimenpiteiksi

Tämän työn pohjalta heräsi yrityksellä kiinnostus järjestää suunnittelijoille koulutus turvapiireistä ja niiden laskennasta. Tämä siitä syystä, että turvallisuusasiat otettaisiin huomioon heti suunnittelun alkuvaiheessa ja että jokainen suunnittelija voi laskea ja suunnitella laitteiden turvapiirit ja varmistaa niiden pitävyyden helposti ja yksinkertaisesti.

Jatkossa on myös syytä miettiä laskelmien arkistointia. On syytä selvittää, saadaanko laskelmat liitettyä jotenkin järkevästi jo olemassa oleviin tietokantoihin vai lähdetäänkö suunnittelemaan kokonaan uutta.

Yrityksen hoidettua edellä mainitut seikat, voidaan aloittaa toimenpiteet standardin validoinniksi, joka tehdään standardin SFS-EN ISO 13849-2 Koneturvallisuus, Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat. Osa 2: Kelpuutus, mukaan. Validoinnissa on osoitettava, että kaikki turvapiirit ja niiden komponentit vastaavat standardissa 13849-1 esitettyjä vaatimuksia. Validoinnin voi suorittaa henkilö/henkilöt, joka ei ole ollu osallisena turvapiirien tai niissä käytettyjen komponenttien suunnittelussa, mutta validoinnin suorittajan ei tarvitse olla kolmannen osapuolen henkilö [20,7,14].

Lähteet

- 1 Aunola, M. Automaatiosuunnittelija, Helsinki. Autoklaavin turvapiirit. Keskustelu 17.2.2012.
- 2 Company overview. Verkkodokumentti. www.steris.com. Luettu 20.2.2012.
- 3 Comparison of PFD calculation. Verkkodokumentti <http://www.eic2.com/pdf/HIMA%20=855e7dc62efdb7e4432708b9219d8f7d>. Luettu 21.2.2012.
- 4 Description for horizontal doors, door safety systems. Intranet-dokumentti. Luettu 21.2.2012.
- 5 GMB Bio pharma sterilizer. Tuote esite. PDF. Luettu 20.2.2012.
- 6 Hälli, A. Pääsuunnittelija, Helsinki. Autoklaavi. Keskustelu 4.1.2012.
- 7 Hälli, A. Pääsuunnittelija, Helsinki. Pehdytys. Keskustelu 12.12.2011.
- 8 IEC 60947-5-1 Low-voltage switchgear and controlgear. Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices.
- 9 ISO/TR 14121-1 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.
- 10 Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Verkkodokumentti. www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2485.pdf. Luettu 2.3.2012.
- 11 Koneturvallisuuden standardit. Verkkodokumentti www.metsta.fi/adds/esite/kone.pdf. Luettu 3.3.2012.
- 12 Koneturvallisuus. Verkkodokumentti. http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2008/12/tso_16-2009.pdf. Luettu 3.3.2012.
- 13 Miettinen, A. Laatupäällikkö, Helsinki. Autoklaavin riskianalyysi. Palveri 30.1.2012.
- 14 Miettinen, A. Laatupäällikkö, Helsinki. Koneturvallisuus. Keskustelu 13.1.2012.
- 15 Ohjausjärjestelmien koneturvallisuus. Verkkodokumentti. [http://www.sks.fi/download/SKS_SKS_koneturvapaiva_2011_koulutusmateriaalit/\\$file/SKSkoneturvDirektStand_JTu.pdf](http://www.sks.fi/download/SKS_SKS_koneturvapaiva_2011_koulutusmateriaalit/$file/SKSkoneturvDirektStand_JTu.pdf). Luettu 22.2.2012.
- 16 Petterson, J. Automaatiosuunnittelija, Helsinki. Feston venttiiliteminaali. Keskustelu 20.1.2012.
- 17 SFS-EN IEC 62061 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus.

- 18 SFS-EN ISO 12100 Safety of machinery. General principles for design. Risk assessment and risk reduction.
- 19 SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet.
- 20 SFS-EN ISO 13849-2 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat. Osa 2: Kelpuus.
- 21 SFS-EN ISO 14121-1 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 1: Periaatteet.
- 22 SFS-EN ISO 5974. Opastusta standardien ISO 13849-1 ja IEC 62061 soveltamiseksi koneen turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelussa.
- 23 Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmät konesovelluksissa. Verkkodokumentti. www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2264.pdf. Luettu 21.2.2012.

Komponenttien vikaantumisajat

Taulukko C.1 MTTF_d- tai B_{10d}- arvoja käsitteleviä kansainvälisiä standardeja

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

Valmistaja	Malli	PF Nro.	Osa Nro.	B10d	MTTFd
Telmec	ZCK-M1H29+ZCK-D23	P72110150F	GSZ 865, 866	3000000	342,5
Festo	8985, R-3-1/4-B	P15017845F	GSZ 688, 689	20000000	2283,1
Festo	549868, VL/O-3-1/8-B	P15017897F	PV 161.1, 161.2, 163.1	20000000	2283,1
Festo	CPE14-M1BH-5L-1/8	P15013016F	YY 670	50000000	5707,8
Festo	SDE5-D10-0-Q6E-P-M8	P15013404F	PS 671, 506, 507	16150000	1843,61
Festo	Terminaali CPX/MPA	P15024343F	U 784		50
Festo	Terminaalin venttiili K			25000000	2853,9
Festo	Terminaalin venttiilit E,X			10000000	1141,6
Burkert	2000-A-13, 0-PTFE-RG-G1/2	P66304125F	PV 160, 161, 163, 167		505,1
Burkert	2000-A-15, 0-PTFE-VA-TK46-C-D	P15010269F	TCV 112		505,1
Wika	SA-11	P15010626F	PT 549	20000000	2283,1
Wika	PSA-21	P15010680F	PS 837	20000000	2283,1
Danfoss	KPI35	P15020649F	PS 876, 877	20000000	2283,1

Taulukot diagnostiikan kattavuudesta

Toimenpide	Diagnostiikan kattavuus (DC)
Tuloyksikkö	
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 paineakytkimellä, toimilaitteiden aseman sähköinen valvonta)	90...99 % riippuen sovelluksesta
Suora valvonta (esim. ohjausventtiilien asennon sähköinen valvonta, sähkömekaanisten laitteiden valvonta mekaanisesti yhdistetyillä kosketinelementeillä)	99 %
Vikojen paljastuminen prosessin kautta	0...90 % riippuen sovelluksesta: tämä toimenpide ei yksistään ole riittävä vaadittavalle suoritustasolle PL _r e.
Anturien joidenkin ominaisuuksien valvonta (vasteaika, analogisten signaalien vaihtelualue, kuten sähköinen vastus, kapasitanssi)	60 %

Toimenpide	Diagnostiikan kattavuus (DC)
Logiikka	
Epäsuora valvonta (esim. painekeytkimen suorittama valvonta, toimilaitteiden aseman sähköinen valvonta)	90...99 % sovelluksesta riippuen
Suora valvonta (esim. ohjausventtiilien asennon sähköinen valvonta, sähkömekaanisten laitteiden valvonta mekaanisesti yhdistetyillä kosketinelementeillä)	99 %
Logiikan toiminnan yksinkertainen tilapäinen valvonta (esim. ajastinvahti, jolloin liipaisukohdat ovat logiikan ohjelmassa)	60 %
Logiikan toiminnan tilapäinen ja looginen valvonta ajastinvahdilla, jolloin testauslaitteet tarkistavat logiikan käyttäytymisen mielekkyyttä	90 %
Käynnistyksen itsetestaus piilevien vikojen paljastamiseen logiikan osissa (esim. ohjelma ja datamuistit, tulo- ja lähtöportit, rajapinnat)	90 % (riippuen testaustekniikasta)
Valvontalaitteiden reaktiokyvyn tarkistus (esim. ajastinvahti), joka tehdään pääkanavalla käynnistyksen 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 bittiä)	90 %
Kiinteä muisti: kahden sanan pituinen varmenne (16 bittiä)	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 suoritustasolle PL _r e.

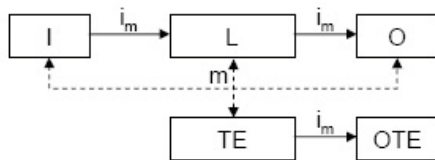
Toimenpide	Diagnostiikan kattavuus (DC)
Lähtöyksikkö	
Yhden kanavan lähtöjen valvonta ilman dynaamista testausta	0...99 % riippuen siitä, kuinka usein sovelluksessa muutetaan signaalia
Lähtöjen ristiinvalvonta ilman dynaamista testausta	0...99 % riippuen siitä, kuinka usein sovelluksessa muutetaan signaalia
Lähtöjen ristiinvalvonta dynaamisella testauksella ilman oikosulkujen paljastumista	90 %
Lähtösignaalien ja logiikan (L) väliarvojen ristiinvalvonta sekä ohjelman suorituksen tilapäinen looginen ohjelmallinen valvonta sekä pysyvien vikojen ja oikosulkujen paljastaminen (useille I/O-yksiköille)	99 %
Redundanttinen signaalin sulkupolku ilman toimilaitteen valvontaa	0 %
Redundanttinen signaalin sulkupolku yhden toimilaitteen valvonnalla joko logiikan tai testauslaitteen avulla	90 %
Redundanttinen signaalin sulkupolku toimilaitteiden valvonnalla joko logiikan tai testauslaitteen avulla	99 %
Epäsuora valvonta (esim. valvonta paineakytkimellä, toimilaitteiden aseman sähköinen valvonta)	90...99 % sovelluksesta riippuen
Vikojen paljastuminen prosessin kautta	0...99 % sovelluksesta riippuen, tämä menetelmä ei ole riittävä vaadittavalle suoritustasolle PL _r e.
Suora valvonta (esim. ohjausventtiilien asennon sähköinen valvonta, sähkömekaanisten laitteiden valvonta mekaanisesti yhdistetyillä kosketinelementeillä)	99 %
<p>HUOM. 1 Muita arviointimenetelmiä diagnostiikan kattavuudelle: katso esimerkiksi standardin IEC 61508-2:2000 taulukot A.2...A.15.</p> <p>HUOM. 2 Jos logiikalle vaaditaan diagnostiikan kattavuutta "keskimääräinen (medium)" tai "korkea (high)", on muuttuvalle muistille, kiinteälle muistille ja prosessointiyksiköille kullekin sovellettava vähintäänkin yhtä toimenpidettä, jolla saadaan diagnostiikan kattavuus tasolle 60 %. Tässä taulukossa lueteltujen toimenpiteiden lisäksi voi olla myös muita käytettävissä olevia toimenpiteitä.</p>	

Luokkien nimetyt rakenteet

Luokka B ja 1



Luokka 2



Merkintöjen selitykset

i_m = kytkentävälineet

I = tuloyksikkö (esim. anturi)

L = logiikka

O = lähtöyksikkö (esim. pääkontaktori)

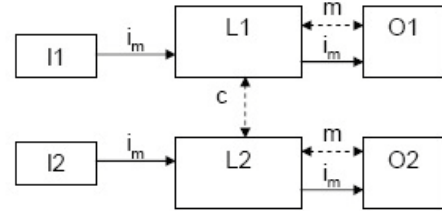
m = valvonta

TE = testauslaitteisto

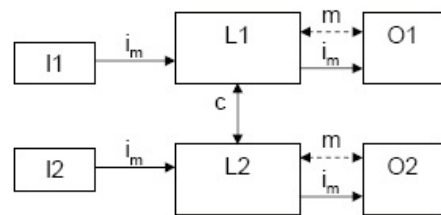
OTE = testauslaitteiston lähdöt

c = ristiinvalvonta

Luokka 3



Luokka 4



Taulukko yhteisvikaantumisen tarkasteluun

Taulukko F.1 Pisteytysprosessi ja yhteisvikaantumista estävien toimenpiteiden määrällinen arviointi

Nro	Yhteisvikaantumista estävä toimenpide	Pisteet
1	Erottelu/erottaminen	
	Signaalireittien fyysinen erottaminen – johdotuksen/putkituksen erilleen sijoittaminen – riittävät ilma- ja pintavälit painetuissa piirilevyissä	15
2	Erilaisuus (diversiteetti)	
	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 mittaustapa: – digitaalinen ja analoginen Eri valmistajien komponentit	20
3	Suunnittelu, soveltaminen ja kokemukset	
3.1	Suojaustoimenpiteet ylijännitteelle, ylipaineelle, ylivirralla jne.	15
3.2	Käytetyt komponentit ovat hyvin koeteltuja	5
4	Arviointi ja analyysit	
	Onko vika- ja vaikutusanalyysin tulokset otettu huomioon toteutuksessa yhteisvikaantumisten estämiseksi?	5
5	Pätevyys ja koulutus	
	Onko suunnittelu- ja ylläpitohenkilöstö koulutettu ymmärtämään yhteisvikaantumisten syyt ja seuraukset?	5
6	Ympäristöolosuhteisiin liittyvä toimenpiteet	
6.1	Likaantumisen estäminen ja sähkömagneettinen yhteensopivuus yhteisvikaantumisten estämiseksi soveltuviin standardien mukaisesti Pneumaattiset- ja hydrauliset järjestelmät: väliaineen suodatus, liikkaisen 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	25
6.2	Muut vaikutukset Onko kaikkien asiaankuuluvien ympäristövaikutusten sietokyky otettu huomioon kuten lämpötila, iskut, värinä, kosteus (asiaankuuluvien standardien erittelyn mukaisesti)?	10
	Yhteensä	[mahdolliset maksimipisteet 100]
Kokonaispisteet		Toimenpiteet yhteisvikaantumisen välttämiseksi ^a
65 tai enemmän		Täyttää vaatimukset
vähemmän kuin 65		Ei täytä vaatimuksia => valitaan lisätoimenpiteitä
^a Jos teknologiset toimenpiteet eivät ole merkityksellisiä, tähän sarakkeeseen liittyviä pisteitä voidaan tarkastella kokonaisvaltaisessa laskelmassa.		

Turvapiirien laskut

$$MTTF_{865.866} := 342.5$$

$$MTTF_{506.507} := 1843$$

$$MTTF_{688.689} := 2283$$

$$MTTF_k := 2853$$

$$MTTF_{161.1.161.2.163.1} := 2283$$

$$MTTF_{e.x} := 1141$$

$$MTTF_{160.161.163.167} := 505$$

$$MTTF_{\text{terminaali}} := 50$$

$$MTTF_{112} := 505$$

Höyryn syöttö

$$MTTF_{ch1} := 1$$

Given

$$\frac{1}{MTTF_{ch1}} = \frac{1}{MTTF_{865.866}} + \frac{1}{MTTF_{688.689}}$$

$$\text{Find}(MTTF_{ch1}) = 297.882$$

$$MTTF_{ch2} := 1$$

Given

$$\frac{1}{MTTF_{ch2}} = \frac{1}{MTTF_{865.866}} + \frac{1}{MTTF_{688.689}}$$

$$\text{Find}(MTTF_{ch2}) = 297.882$$

$$MTTF_{ch3} := 1$$

Given

$$\frac{1}{MTTF_{ch3}} = \frac{1}{MTTF_{161.1.161.2.163.1}} + \frac{1}{MTTF_{e.x}} + \frac{1}{MTTF_{112}}$$

$$\text{Find}(MTTF_{ch3}) = 303.575$$

$$MTTF_{tot} := \frac{2}{3} \left(297 + 297 + 303 - \frac{1}{\frac{1}{297} + \frac{1}{297} + \frac{1}{303}} \right)$$

$$MTTF_{tot} = 531.561$$

$$DC_{avg} := \frac{\frac{99}{MTTF_{688.689}} + \frac{0}{MTTF_{161.1.161.2.163.1}} + \frac{99}{MTTF_{e.x}} + \frac{90}{MTTF_{112}}}{\frac{1}{MTTF_{688.689}} + \frac{1}{MTTF_{161.1.161.2.163.1}} + \frac{1}{MTTF_{e.x}} + \frac{1}{MTTF_{112}}}$$

$$DC_{avg} = 82.608$$

$$\text{MTTF}_{865.866} := 342.5$$

$$\text{MTTF}_{506.507} := 1843$$

$$\text{MTTF}_{688.689} := 2283$$

$$\text{MTTF}_k := 2853$$

$$\text{MTTF}_{161.1.161.2.163.1} := 2283$$

$$\text{MTTF}_{e.x} := 1141$$

$$\text{MTTF}_{160.161.163.167} := 505$$

$$\text{MTTF}_{\text{terminaali}} := 50$$

$$\text{MTTF}_{112} := 505$$

$$\text{MTTF}_{837} := 2283$$

$$\text{MTTF}_{549} := 2283$$

$$\text{MTTF}_{876.877} := 2283$$

$$\text{MTTF}_{670} := 5707$$

Oven aukaisun esto kierron aikana

$$\text{MTTF}_{\text{ch1}} := 1$$

Given

$$\frac{1}{\text{MTTF}_{\text{ch1}}} = \frac{1}{\text{MTTF}_{837}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{e.x}}$$

$$\text{Find}(\text{MTTF}_{\text{ch1}}) = 760.84$$

$$\text{MTTF}_{\text{ch2}} := 1$$

Given

$$\frac{1}{\text{MTTF}_{\text{ch2}}} = \frac{1}{\text{MTTF}_{837}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{e.x}}$$

$$\text{Find}(\text{MTTF}_{\text{ch2}}) = 760.84$$

$$\text{MTTF}_{\text{ch3}} := 1$$

Given

$$\frac{1}{\text{MTTF}_{\text{ch3}}} = \frac{1}{\text{MTTF}_{670}}$$

$$\text{Find}(\text{MTTF}_{\text{ch3}}) = 5730.814$$

$$\text{MTTF}_{\text{tot}} := \frac{2}{3} \left(760 + 760 + 5731 - \frac{1}{\frac{1}{760} + \frac{1}{760} + \frac{1}{5731}} \right)$$

$$\text{MTTF}_{\text{tot}} = 4596.42$$

$$\text{DC}_{\text{avg}} := \frac{\frac{99}{\text{MTTF}_{549}} + \frac{99}{\text{MTTF}_{837}} + \frac{99}{\text{MTTF}_{e.x}} + \frac{99}{\text{MTTF}_{e.x}} + \frac{99}{\text{MTTF}_{670}}}{\frac{1}{\text{MTTF}_{549}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{837}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{e.x}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{e.x}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{670}}}$$

$$\text{DC}_{\text{avg}} = 99$$

$$\text{MTTF}_{865.866} := 342.5 \quad \text{MTTF}_{506.507} := 1843$$

$$\text{MTTF}_{688.689} := 2283 \quad \text{MTTF}_k := 2853$$

$$\text{MTTF}_{161.1.161.2.163.1} := 2283 \quad \text{MTTF}_{e.x} := 1141$$

$$\text{MTTF}_{160.161.163.167} := 505 \quad \text{MTTF}_{\text{terminaali}} := 50$$

$$\text{MTTF}_{112} := 505$$

Oven tiivistys

$$\text{MTTF}_{\text{ch1}} := 1$$

Given

$$\frac{1}{\text{MTTF}_{\text{ch1}}} = \frac{1}{\text{MTTF}_{688.689}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{160.161.163.167}}$$

$$\text{Find}(\text{MTTF}_{\text{ch1}}) = 413.53$$

$$\text{MTTF}_{\text{ch2}} := 1$$

Given

$$\frac{1}{\text{MTTF}_{\text{ch2}}} = \frac{1}{\text{MTTF}_{688.689}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{160.161.163.167}}$$

$$\text{Find}(\text{MTTF}_{\text{ch2}}) = 413.53$$

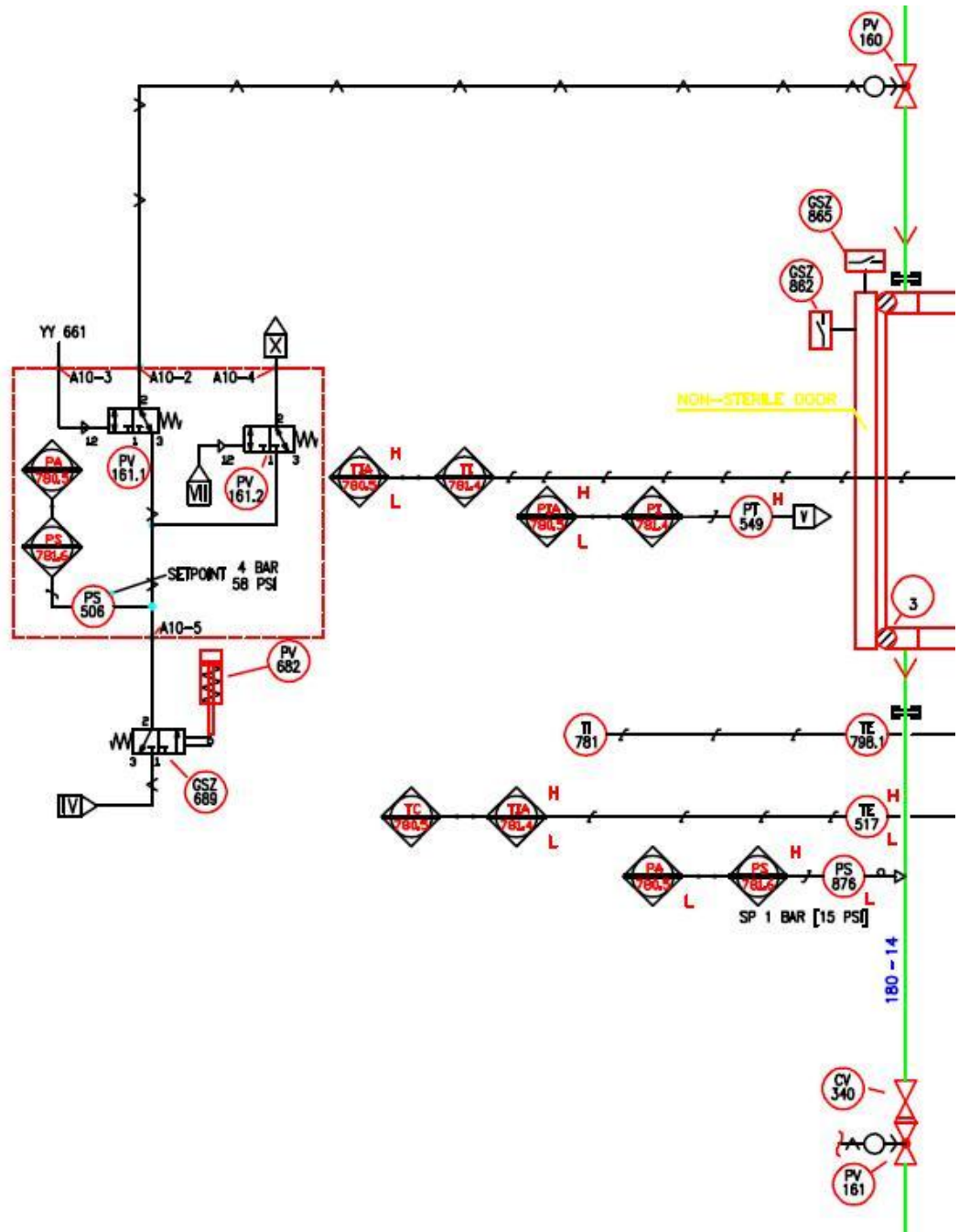
$$\text{MTTF}_{\text{tot}} := \frac{2}{3} \left(413 + 413 - \frac{1}{\frac{1}{413} + \frac{1}{413}} \right)$$

$$\text{MTTF}_{\text{tot}} = 413$$

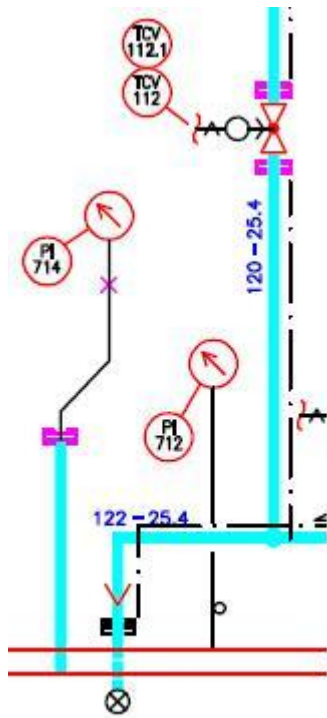
$$\text{DC}_{\text{avg}} := \frac{\frac{99}{\text{MTTF}_{688.689}} + \frac{99}{\text{MTTF}_{160.161.163.167}}}{\frac{1}{\text{MTTF}_{688.689}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{160.161.163.167}}}$$

$$\text{DC}_{\text{avg}} = 99$$

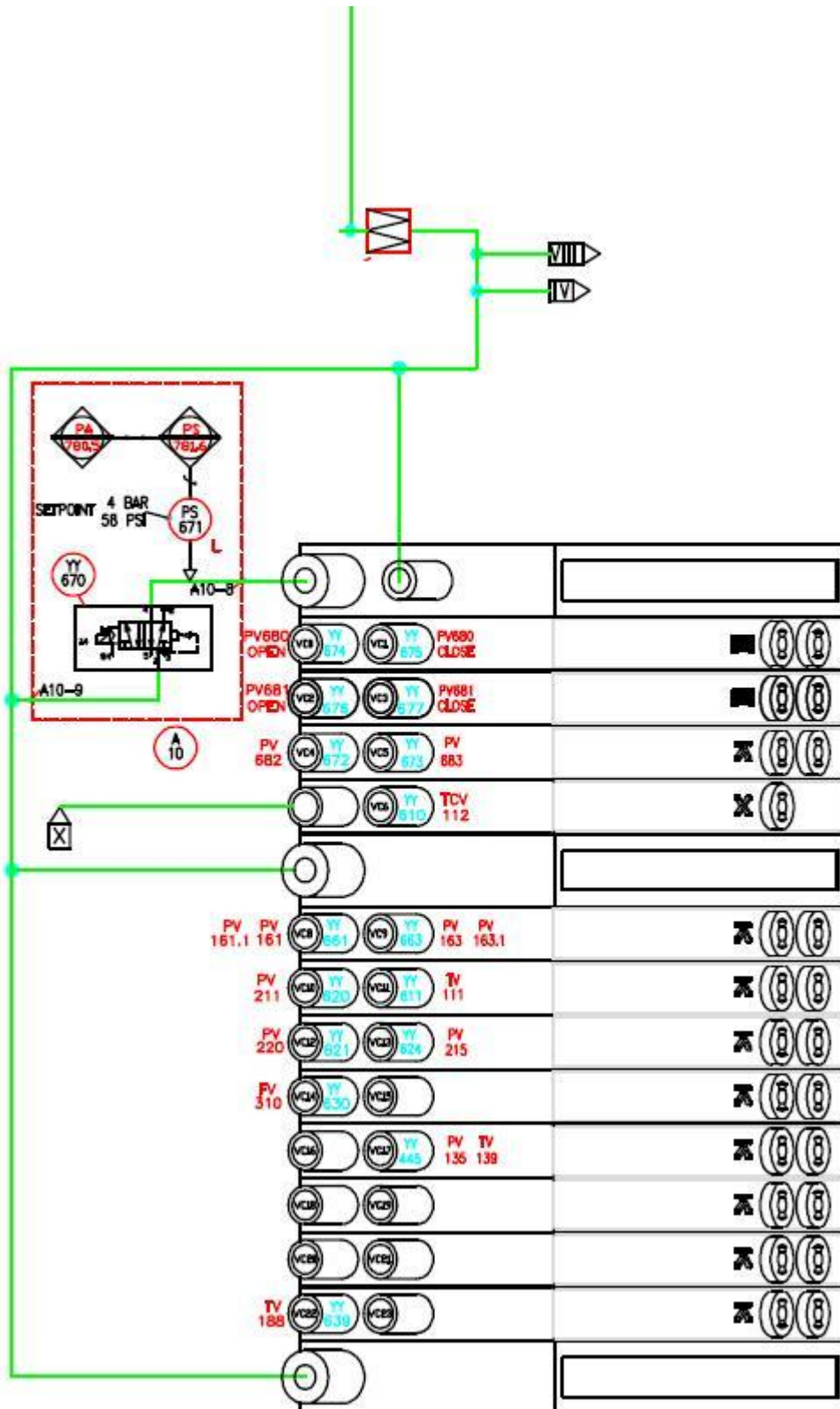
Turvapiirien PID –kaaviot



Ei steriilin puolen PID- kaavio



Höyryn syöttö



Feston terminaali

