



Satunnaisvikaantumisten hallinta ja laskenta

Juha Korhonen, ÅF-Consult Oy

8.11.2010

Innovation by experience





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Mitä vikaantuminen on?
 - Järjestelmä/yksikkö/moduuli/komponentti ei toteuta oikein sille tarkoitettua tehtävää
- Laite tai järjestelmä voi vikaantua eri tavoilla
 - Systemaattinen vikaantuminen
 - Satunnaisvikaantuminen
- Luotettavuusteoria
 - Järjestelmän eliniän arviointi
 - Arviointisuureita (esim. MTTF, MTBF, MTTR)
 - Fyysinen vikaantuminen on satunnaistapahtuma
 - Vikaantuminen noudattaa kuitenkin tilastollisia malleja





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Vaaralliset vikaantumiset ja turvalliset vikaantumiset
 - Jaottelu perustuu järjestelmän tilan tarkkailuun vikaantumisen jälkeen
 - Turvallisessa vikaantumisessa järjestelmän ohjattavat laitteet toimivat yhä halutulla tavalla osana turvallisuuteen liittyvää järjestelmää, eli saattavat prosessin turvalliseen tilaan
 - Vaarallisella vikaantumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa turvallisuuteen liittyvä järjestelmä on estynyt reagoimasta potentiaalisesti vaaralliseen tilanteeseen
 - Lepovirtaperiaate vs. työvirtaperiaate





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Turvallisessa vikaantumisessa järjestelmä tulkitsee prosessin olevan virheellisesti vaarallisessa tilassa ja suorittaa usein näin ollen virheellisen järjestelmän alasajon eli turhan laukaisun
- Vaarallisessa vikaantumisessa järjestelmän toiminta on vikaantumisen vuoksi estynyt, jolloin vaadetilanteessa järjestelmä ei pysty suorittamaan laukaisua



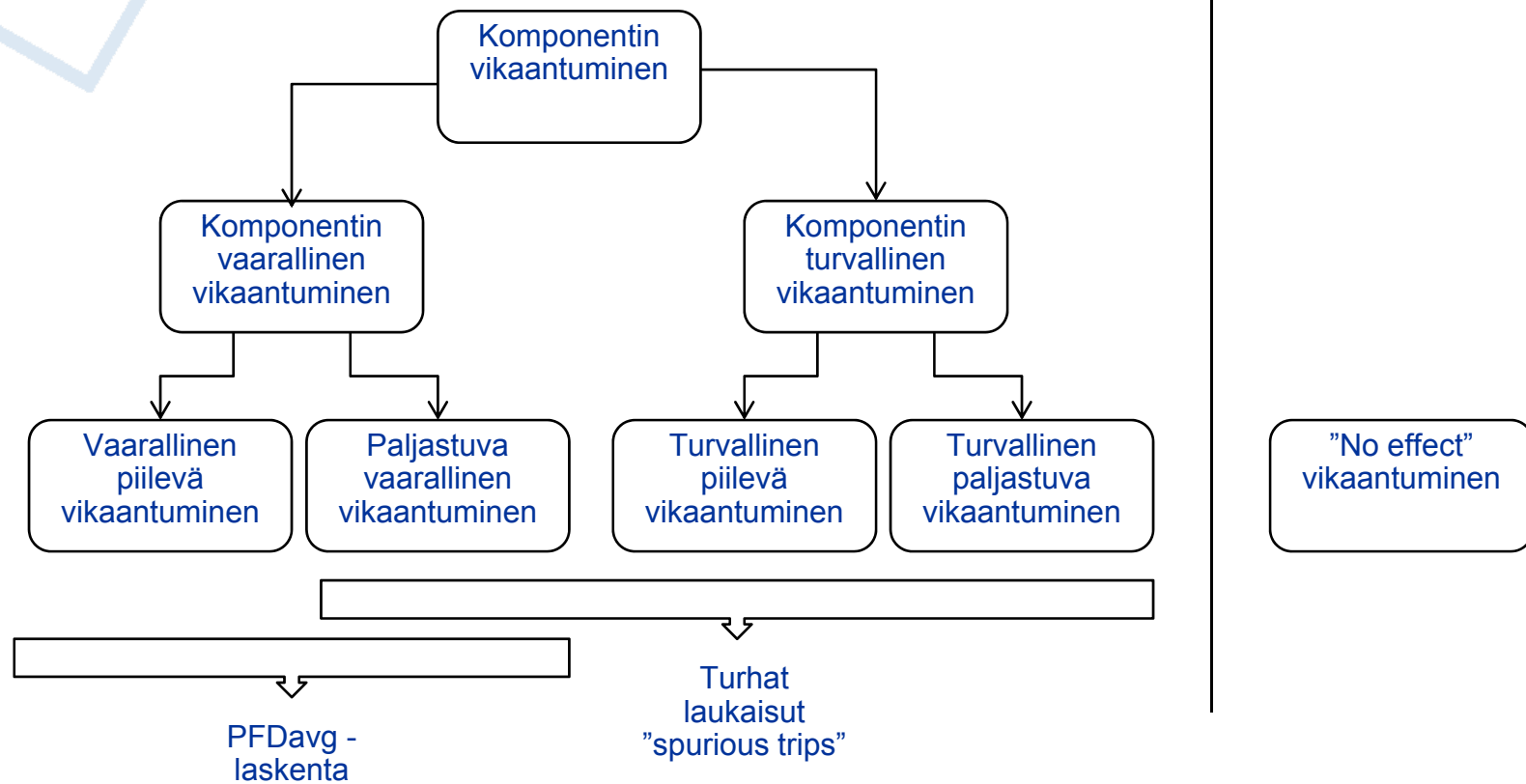


Vikaantumisen mekaniikkaa

- Paljastuvat vikaantumiset ja piilevät vikaantumiset
 - Paljastuva vika on vikaantuminen, joka havaitaan järjestelmän sisäisellä diagnostiikalla tai normaalin operoinnin yhteydessä, esimerkiksi valvomosta käsin
 - Piilevällä vikaantumisella vastaavasti tarkoitetaan tilannetta, jossa järjestelmä vikaantuu, mutta vikaantumista ei havaita lainkaan
 - Esim. analogiamittauksen 4-20 mA –mittausalueen tarkkailu



Vikaantumisen mekaniikkaa





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Määritellään termi vikatiheys (λ), jolla kuvataan komponentin kaikkea satunnaista vikaantumista tietyllä aikavälillä.
 - λ_S Turvallinen vikaantuminen
 - λ_{SD} Turvallinen, paljastuva vikaantuminen
 - λ_{SU} Turvallinen, piilevä vikaantuminen

 - λ_D Vaarallinen vikaantuminen
 - λ_{DD} Vaarallinen paljastuva vikaantuminen
 - λ_{DU} Vaarallinen piilevä vikaantuminen

- $\lambda = \lambda_{SD} + \lambda_{SU} + \lambda_{DD} + \lambda_{DU}$





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Turvallisten vikaantumisten suhde, SFF (safe failure fraction)
 - Termillä tarkoitetaan sitä määrää kaikista satunnaisista virheistä, jotka johtuvat joko turvallisista vioista tai diagnosoiduista vaarallisista vioista
 - Vaikutus lähinnä arkkitehtuuristen vaatimusten varmistamisessa

$$SFF = \frac{\sum \lambda_S + \sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_S + \sum \lambda_D}$$





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Diagnostiikan kattavuus, DC (diagnostics coverage)
 - Termi määritellään havaittujen vikaantumisten suhteeksi kaikista vikaantumisista
 - Määriteltävä erikseen vaarallisille vikaantumisille ja turvallisille vikaantumisille
 - PFDavg –laskennassa mielenkiinto kohdistuu vaarallisten vikaantumisten diagnostiikan kattavuuteen

$$DC_D = \frac{\sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_D}$$





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Referenssidiagnostiikka
 - Referenssidiagnostiikassa (reference diagnostics) voidaan mitata yksittäisen virtapiirin toimintaa, jolloin mittaus perustuu tietyn turvallisuuteen liittyvän järjestelmän suureen tarkkailuun
 - Arvoja yleensä 0 ja 0.9 välillä
- Vertailudiagnostiikka
 - Vertailudiagnostiikassa (comparison diagnostics) vertaillaan kahden tai useamman turvallisuuteen liittyvän järjestelmän yksikön informaation sisältöä. Jos tutkittavan järjestelmän virtapiirissä, prosessorissa tai muistiyksikössä tapahtuu vikaantuminen, se havaitaan erona vertailtavaan yksikköön nähden.
 - Arvoja yleensä 0.9 ja 0.999 välillä





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Yhteisvikaantuminen (common-cause failure)
 - Yhteisvikaantumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa yksittäinen vikaantumistilanne aiheuttaa usean eri komponentin vikaantumisen
 - Redundanssi
 - Hyvällä suunnittelulla voidaan välttää osa yhteisvikaantumistilanteista
 - Kuinka määrittää yhteisvikaantumisen todennäköisyys?
 - IEC 61508 esitteli niin kutsutun β –tekijään perustuvan mallin
 - Kvalitatiivinen lähestymistapa





Vikaantumisen mekaniikkaa

- Määräaikaiskoestusväli, TI (test interval)
 - Piilevät vikaantumiset havaitaan yleensä vasta määräaikaistestauksen yhteydessä
 - Paljastuvat vikaantumiset korjataan ennalta määritellyn korjausajan puitteissa, MTTR (mean time to repair)
 - Onko määräaikaiskoestus täydellinen, eli löytyvätkö kaikki piilevät vikaantumiset testauksen yhteydessä?
 - Testausohjelman suunnittelu tärkeässä roolissa
 - Määräaikaistestauksen yhteydessä oletetaan laitteet korjattavaksi ”uutta vastaavaan kuntoon”, onko todellisuutta?





Järjestelmäkonfiguraatiot - turvallisuus ja luotettavuus

- 1001 –konfiguraatio
 - Ei redundanssia
 - Turvallisuusmielessä suhteellisen heikko valinta
 - Luotettavuusmielessä suhteellisen heikko valinta
 - TET 1 –tason ratkaisu





Järjestelmäkonfiguraatiot - turvallisuus ja luotettavuus

- 1002 –konfiguraatio
 - Vikaantuu vaarallisesti, kun konfiguraation molemmat laitteet vikaantuvat vaarallisesti
 - Turvallisuusmielessä huomattavasti parempi kuin 1001 –konfiguraatio
 - Luotettavuusmielessä jopa heikompi valinta kuin 1001 –konfiguraatio
 - TET 2 –tason ratkaisu





Järjestelmäkonfiguraatiot - turvallisuus ja luotettavuus

- 2002 –konfiguraatio
 - Vikaantuu vaarallisesti, kun kumpi tahansa konfiguraation laitteista vikaantuu vaarallisesti, näin ollen turvallisuusmielessä konfiguraatio on hyvin haavoittuvainen
 - Luotettavuusmielessä konfiguraatio on erittäin hyvä ratkaisu. Turha laukaisu tapahtuu vasta, kun molemmat konfiguraation laitteet vikaantuvat turvallisesti
 - TET 1 –tason ratkaisu





Järjestelmäkonfiguraatiot - turvallisuus ja luotettavuus

- 2003 –konfiguraatio
 - Äänestysmenettely, konfiguraation ulostulo määräytyy vähintään kahden konfiguraation laitteen päätyessä samaan tulokseen
 - Yhdistää 2002- ja 1002- konfiguraatioiden hyvät puolet, hyvät ominaisuudet niin luotettavuus- kuin turvallisuusmielessä
 - Kalliimpi toteuttaa kuin edellä mainitut konfiguraatiot





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

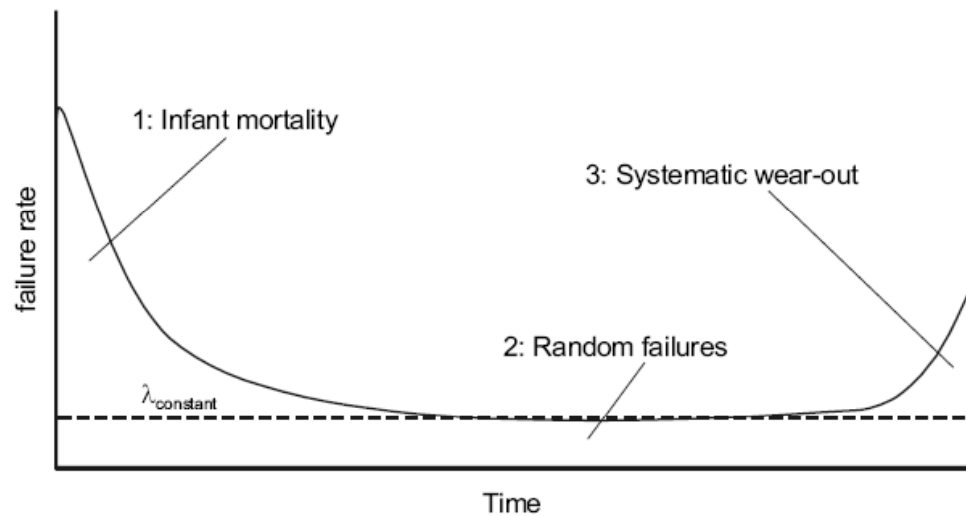
- Vikatiheys
 - Tärkein mittasuure vikaantumistodennäköisyyden laskennassa
 - Kuvaa sitä, kuinka usein komponentti vikaantuu tietyllä aikavälillä
 - Matemaattinen määritelmä (Oreda 1997):
 - Vikatiheys lausutaan todennäköisyytenä sille, että komponentin todellinen elinikä (T) pysyy välillä $[t, t+\delta t]$. Näin ollen vikatiheys on keskimääräinen todennäköisyys sille, että vikaantuminen tapahtuu mainitulla aikavälillä.

$$\lambda(t) \cdot \Delta t \approx \Pr(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t)$$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Ammekäyrä
 - Varhaisvikaantumisvaihe
 - Vakiovikaantumisvaihe
 - Vanhenemisvikaantumisvaihe





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Toimintavarmuus (reliability)
 - Matemaattisesti toimintavarmuuden määritelmä voidaan esittää todennäköisyytenä sille, että järjestelmä toimii halutulla tavalla aikavälillä nolasta t:hen, T edustaa vikaantumisen ajanhetkeä, joka on satunnaismuuttuja:

$$R(t) = P(T > t)$$

- Kääntäen toimintavarmuuden puute (unreliability) voidaan määritellä:

$$F(t) = 1 - R(t)$$





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Komponentin vikaantumisen mahdollisuutta tietyllä toimintavälillä voidaan kuvata todennäköisyyden tiheysfunktiolla (probability density function)
- Tiheysfunktio jakautunut jonkin jakaumamallin mukaisesti

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

- Vikatiheys ajan suhteen voidaan lausua todennäköisyyden tiheysfunktion ja toimintavarmuuden kautta

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Esimerkki: vikatiheys jakaantunut eksponentiaalisesti
 - Näin ollen tiheysfunktio voidaan määritellä

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

- Ja edelleen toimintavarmuus

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

- Ja vikatiheys

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$$





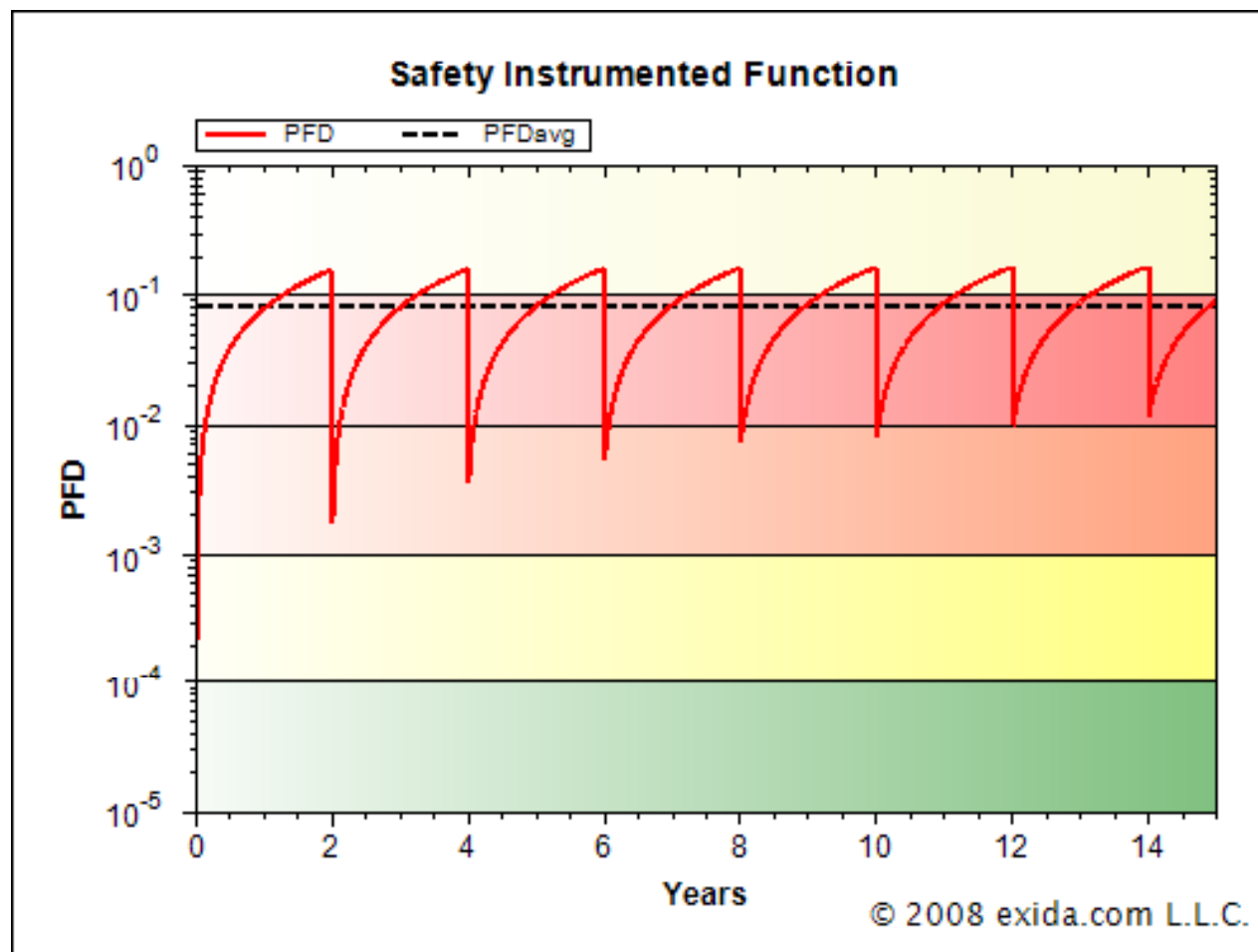
Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Hetkellinen vikaantumisen todennäköisyys $PFD(t)$ (probability of failure on demand) riippuu tarkasteltavasta ajanhetkestä tarkasteluvälillä. Siksi käytännöllisempi suure on keskimääräinen vikaantumisen todennäköisyys tarkasteluvälillä PFD_{avg} (average probability of failure on demand)

$$PFD_{AVG}(TI) = \frac{1}{TI} \int_0^{TI} (PFD) dt$$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Käyttövarmuus (availability)
 - Komponenteille, joilla on eksponentiaalisesti vähenevä todennäköisyyden tiheysfunktio ja siten myös vakioarvoinen vikatiheyden arvo, voidaan määritellä keskimääräistä vikaantumisaikaa kuvaava termi MTTF (mean time to failure):

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

- Keskimääräisellä käyttövarmuudella A tarkoitetaan sitä suhdetta tarkasteluvälistä, jolloin se on käyttökunnossa.

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- IEC 61508:n esimerkkilaskentamalli perustuu luotettavuuslohkokaavioihin
- Laskennassa määritetään PFD_{AVG} –lukuarvo, joka kuvaa todennäköisyyttä sille, että turvallisuuteen liittyvä toiminto ei toimi oikein vaadetilanteessa (harvojen vaateiden järjestelmä) tai PFH_{AVG} –lukuarvo, joka kuvaa vikaantumisen todennäköisyyttä tuntia kohden (tiheiden vaateiden järjestelmä)
- Standardin mukaisesti järjestelmäkonfiguraatiot koostuvat kanavista, jokainen kanava koostuu edelleen kahdesta komponentista
 - Paljastuva vikaantuminen
 - Piilevä vikaantuminen





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Piilevä vaarallinen vikaantuminen jää vaikuttamaan komponentin määräaikaikoestusväliin asti, jolloin se määritelmän mukaan korjataan ”uutta vastaavaan kuntoon”. Paljastuvat vaaralliset vikaantumiset korjataan korjausajan, MTTR kuluessa
- Piilevästä vikaantumisesta johtuva kanavakohtainen vikaantuneenaoloaika t_{cl}

$$t_{cl} = E(T_1 - t) + MTTR = \frac{T_1}{2} + MTTR$$

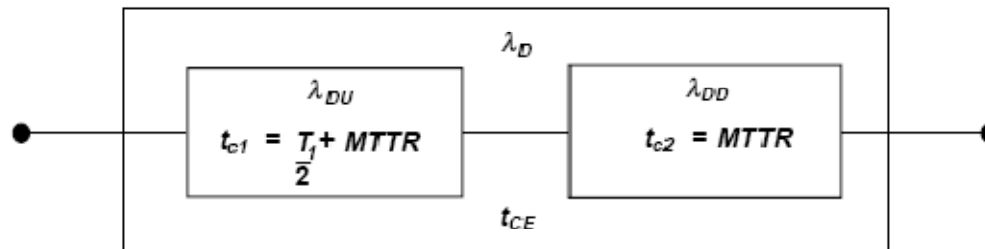
- Paljastuvasta vikaantumisesta johtuva vikaantuneenaoloaika on MTTR mittainen. Näin ollen kanavakohtainen vikaantuneenaoloaika T_{CE} voidaan lausua:

$$t_{CE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \left(\frac{T_1}{2} + MTTR \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} MTTR$$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- 1001 –konfiguraatio vikaantuu vaarallisesti, kun konfiguraation ainoa laite vikaantuu vaarallisesti joko piilevästi tai paljastuvasti



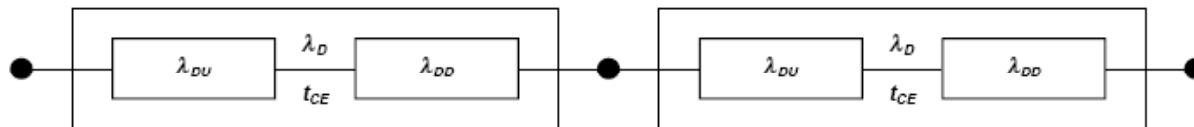
IEC 325/2000

$$PFD_{AVG}(1001) = (\lambda_{DD} + \lambda_{DU}) \cdot t_{CE}$$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- 2oo2 –konfiguraation laskenta on samankaltaista 1oo1 –konfiguraation kanssa, sillä luotettavuuslohkokaaviomielessä laitteet ovat sarjassa. Käytännössä konfiguraatiossa on 2 kpl 1oo1 –



IEC 328/2000

- Konfiguraatio vikaantuu, kun kumpi tahansa laitteista vikaantuu vaarallisesti piilevästi tai paljastuvasti

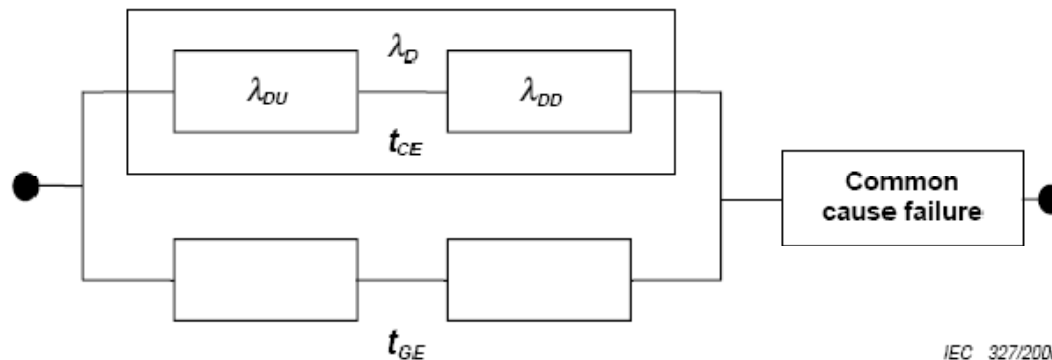
$$PFD_{AVG}(2oo2) = 2(\lambda_{DD} + \lambda_{DU})t_{CE}$$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- 1oo2 –konfiguraatiossa on otettava huomioon myös äänestysporttikohtainen vikaantuneenaoloaika T_{GE} sekä yhteisvikaantumisen mahdollisuus

$$t_{GE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \left(\frac{T_1}{3} + MTTR \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} MTTR$$



IEC 327/2000





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

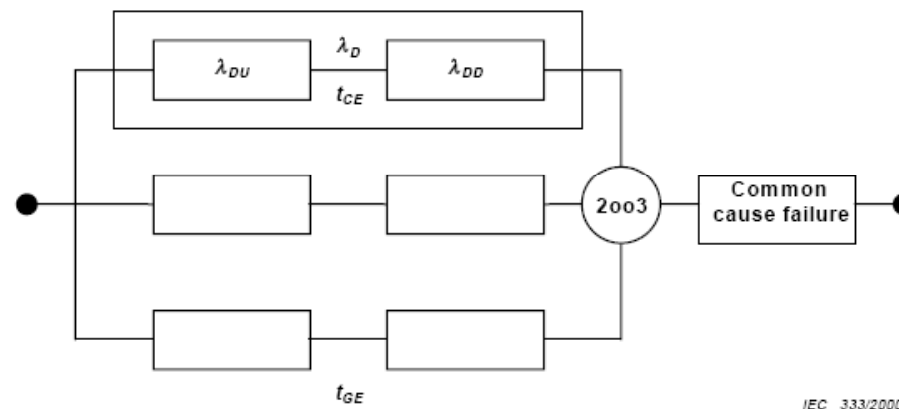
- Yhteisviat jaotellaan myös piileviin sekä paljastuviin ja niiden vaikutusajat määritellään kuten 1001 – konfiguraation tapauksessa kanavakohtaisena vikaantuneenaoloaikana

$$PFD_{AVG}(1002) = 2[(1 - \beta_D)\lambda_{DD} + (1 - \beta)\lambda_{DU}]^2 t_{CE}t_{GE} \\ + \beta_D\lambda_{DD}MTTR + \beta_D\lambda_{DU}\left(\frac{T_1}{2} + MTTR\right)$$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- 2003 –konfiguraation vikaantuminen lasketaan lähes kuin 1002 –konfiguraation tapauksessa



$$\begin{aligned}
 PFD_{AVG}(2003) &= 6[(1 - \beta_D)\lambda_{DD} + (1 - \beta)\lambda_{DU}]^2 t_{CE}t_{GE} \\
 &+ \beta_D\lambda_{DD}MTTR + \beta_D\lambda_{DU}\left(\frac{T_1}{2} + MTTR\right)
 \end{aligned}$$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- 1003 –konfiguraation tapauksessa laskenta samankaltaista 2003 –konfiguraation laskennan kanssa.

$$PFD_{AVG}(1003) = 6[(1 - \beta_D)\lambda_{DD} + (1 - \beta)\lambda_{DU}]^3 t_{CE} t_{GE} t_{G2E} + \beta_D \lambda_{DD} MTTR + \beta_D \lambda_{DU} \left(\frac{T_1}{2} + MTTR\right)$$

- Lisänä kuitenkin termi T_{G2E}

$$t_{GE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \left(\frac{T_1}{4} + MTTR\right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} MTTR$$





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Esimerkki turvatoiminnon PFD_{AVG} -laskennasta
 - Riskianalyysissä päädytty turvatoimintoon, on tarkoituksena pysäyttää savukaasupuhallin, kun painemittaus ylittää sallitun raja-arvon
 - Turvatoiminnon TET –tasoksi on määritetty 2
 - Ratkaisuna toteutus, jossa turvalogiikkaan on yhdistettynä anturipuolella kaksi painelähetintä ja toimilaittepuolella kaksi laukaisurelettä ja yksi kontaktori, joilla pysäytetään savukaasupuhallin
 - Turvatoiminnon kokonais- PFD_{AVG} –arvo lasketaan summaamalla anturi-, logiikka- ja toimilaittealijärjestelmien PFD_{AVG} -arvot yhteen





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Painemittauksen (lähetin, impulssiputkitus, yms.) sekä laukaisureleiden ja kontaktorin vikatiheyden arvot etsitään vikatietokannasta
- Turvalogiikkana käytetään SIL 3 –tason turvalogiikkaa, jonka vikaantumistodennäköisyys etsitään valmistajalta itseltään tai sertifikaatista

Turvallisuuden eheystaso	Harvojen vaateiden toimintatapa (keskimääräinen toiminnan epäonnistumisen todennäköisyys suunnitellun toiminnan toteuttamisessa vaadetilanteessa)
4	$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4} \dots < 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3} \dots < 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2} \dots < 10^{-1}$



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

SIL calculation of a safety related function

Component	Failure rate λ (10^{-6})	DC	Repair time (hours)	Dang. fail.	β_d	β	TI (years)	Non- perfect proof test	PFDavg	SFF	Failure tolerance	Repair time (hours)	MTBFsp (years)	NooM voting	Total PFDavg
Sensor subsystem															
Pressure measurement fails															
Pressure measurement	5,0	0,6	8	0,5	0,025	0,05	4	0,99							
Cabling	1,0	0,6	8	0,2	0,025	0,05	4	0,99							
Terminal * 2	0,24	0,6	8	0,1	0,025	0,05	4	0,99							
Impulse piping	4,0	0,6	8	0,5	0,025	0,05	4	0,99							
Total	10,2		8				4	0,99	3,02E-03	0,82	1	8	10	1 oo 2	3,02E-03
Actuator subsystem															
Stopping of ID -fan fails															
Main contactor	1,2	0	8	0,35	0	0	4	0,99							
Terminals	0,24	0	8	0,1	0	0	4	0,99							
Total	1,44		8				4	0,99	7,90E-03	0,69	0	8	115	1 oo 1	
Trip relay	0,4	0	8	0,35	0,025	0,05	4	0,99							
Cabling	1,0	0	8	0,2	0,025	0,05	4	0,99							
Terminal * 2	0,24	0	8	0,1	0,025	0,05	4	0,99							
Total	1,64		8				4	0,99	3,69E-04	0,78	1	8	45	1 oo 2	8,27E-03

SIF integrity	PFDavg	MTBFsp	Safety integrity	PFDavg	SIL
Sensor subsystem	3,02E-03		OR	1,14E-02	TET 1
Logic subsystem, Safety PLC	1,50E-04				
Actuator subsystem	8,27E-03				





Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

- Esimerkin SIL2 –tason laskennalliset vaatimukset eivät täyty
- Arkkitehtuuristen vaatimusten suhteen tilanne on OK
- Mitä tehdään?



Turvatoiminnon vikaantumistodennäköisyyden laskenta IEC 61508 –standardin mukaisesti

SIL calculation of a safety related function

Component	Failure rate λ (10^{-6})	DC	Repair time (hours)	Dang. fail.	β_d	β	TI (years)	Non- perfect proof test	PFDavg	SFF	Failure tolerance	Repair time (hours)	MTBFsp (years)	NooM voting	Total PFDavg
Sensor subsystem															
Pressure measurement fails															
Pressure measurement	5,0	0,9	8	0,5	0,025	0,05	4	0,99							
Cabling	1,0	0,9	8	0,2	0,025	0,05	4	0,99							
Terminal * 2	0,24	0,9	8	0,1	0,025	0,05	4	0,99							
Impulse piping	4,0	0,9	8	0,5	0,025	0,05	4	0,99							
Total	10,2		8				4	0,99	5,01E-04	0,95	1	8	10	1 oo 2	5,01E-04
Actuator subsystem															
Stopping of ID -fan fails															
Main contactor	1,2	0	8	0,35	0	0	4	0,99							
Terminals	0,24	0	8	0,1	0	0	4	0,99							
Total	1,44		8				4	0,99	7,90E-03	0,69	0	8	115	1 oo 1	
Trip relay	0,4	0	8	0,35	0,025	0,05	4	0,99							
Cabling	1,0	0	8	0,2	0,025	0,05	4	0,99							
Terminal * 2	0,24	0	8	0,1	0,025	0,05	4	0,99							
Total	1,64		8				4	0,99	3,69E-04	0,78	1	8	45	1 oo 2	8,27E-03

SIF integrity	PFDavg	MTBFsp	Safety integrity	PFDavg	SIL
Sensor subsystem	5,01E-04		OR	8,92E-03	TET 2
Logic subsystem, Safety PLC	1,50E-04				
Actuator subsystem	8,27E-03				





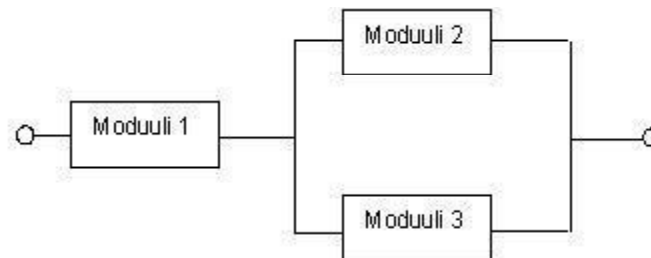
Vikaantumistodennäköisyyden laskentamenetelmistä

- Menetelmien vertailusta
 - Mielletään laskenta menetelmät ”mustina laatikkoina”
 - Laskentamenetelmät ottavat syötteinä informaatiota järjestelmästä ja tuottavat arvion järjestelmän turvallisuuden eheydestä
 - Verrataan menetelmiä sillä, kuinka paljon ne vaativat tietoa tarkasteltavasta järjestelmästä, mitä laskennan aikana tehdään ja mitä ne tuottavat tulostuloina



Vikaantumistodennäköisyyden laskentamenetelmistä

- Luotettavuuslohkokaaviot
 - Toimintavarmuuden laskentaan käytetty menetelmä, jolla on graafinen esitysmalli
 - Järjestelmä koostuu itsenäisistä moduuleista, joita voidaan asettaa rinnan tai sarjaan ja näistä edelleen muodostaa n-out-of-k –tason äänestysportteja
 - Yhden moduulin vikaantuminen ei aiheuta toisen moduulin vikaantumista





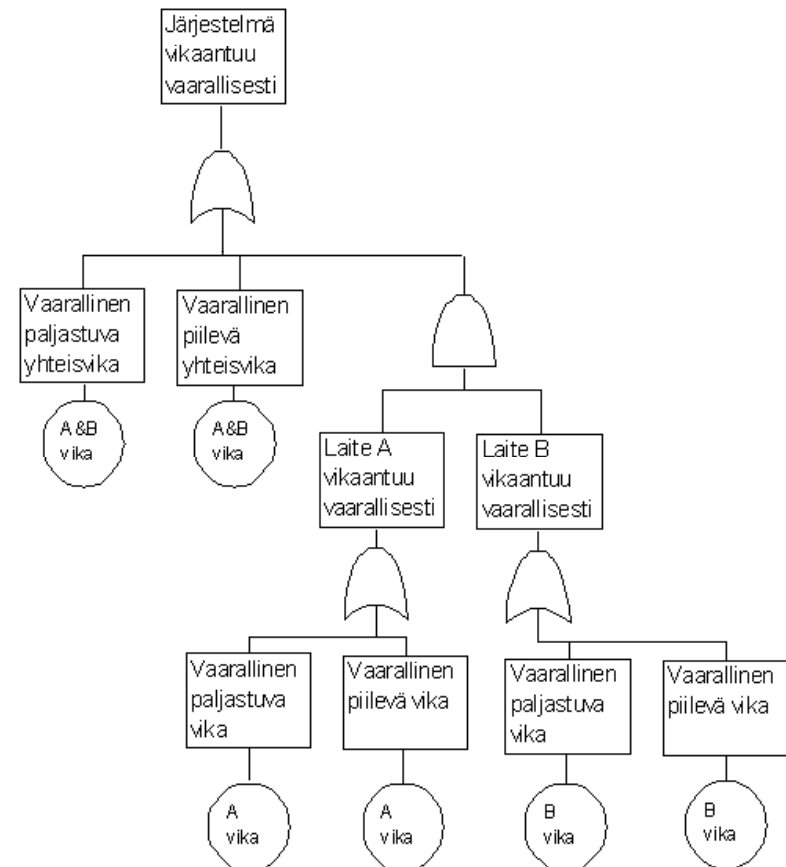
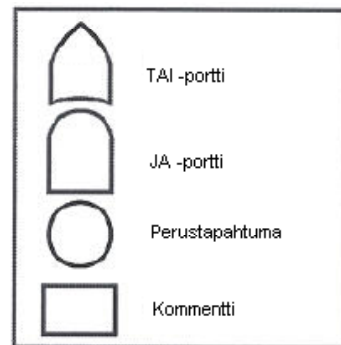
Vikaantumistodennäköisyyden laskentamenetelmistä

- Vikapuuanalyysi
 - Laskenta perustuu helposti ymmärrettävään graafiseen esitysmalliin, jossa tarkastelun kohteena on niin kutsutun ”top-tapahtuman” toteutuminen
 - PFD –laskennassa top-tapahtumana pidetään vaarallista vikaantumista
 - Vikapuun tapahtumat yhdistetään boolean logiikan mukaisesti JA sekä TAI -tapahtumiin



Vikaantumistodennäköisyyden laskentamenetelmistä

- Esimerkki vikapuun mallintamisesta 1002-konfiguraation vikaantumista varten





Vikaantumistodennäköisyyden laskentamenetelmistä

- Markovin malliin perustuva analyysi
 - Malli koostuu tiloista ja tilasiirtymistä
 - Tilasiirtymät kuvaavat komponentin vikaantumista ja korjaustoimenpiteitä
 - Tilasiirtymien mahdollisuutta kuvaa vakioarvoiset vikatiheyksien arvot
 - Matemaattisesti malli koostuu joukosta differentiaalisia yhtälöitä
 - Analyyttinen ratkaisu tai numeerinen ratkaisu (iterointi)
 - Malli voi kasvaa hyvin monimutkaiseksi ja raskaaksi mallinnettava järjestelmän koon kasvaessa



Vikaantumistodennäköisyyden laskentamenetelmistä

- Esimerkki Markovin mallista, joka kuvaa 1oo2 – konfiguraation vikaantumista

