Mål for betydningen av ulike komponenter i reparerbare multinære systemer. En simuleringsbasert analyse av et olje og gass produksjonssystem

Bent Natvig
Universitetet i Oslo, Norge

Februar 3, 2016

Dettte arbeidet er basert på (Natvig, Huseby og Reistadbakk 2011) som igjen er basert på simuleringsmetoder gitt i (Huseby og Natvig 2013).

Innhold

Nestenkatastrofen i kjernekraftverket ved Le Bugey i 1984

In the magazine (Nature 1986) there was an article on a near catastrophe on the night of 14 April 1984 in a French pressurized water reactor (PWR) at le Bugey on the Rhône river, not far from Geneva. This can serve as a motivation for multistate reliability theory.

"The event began with the failure of the rectifier supplying electricity to one of the two separate 48 V direct-current control circuits of the 900 MW reactor which was on full power at the time. Instantly, a battery pack switched in to maintain the 48 V supply and a warning light began to flash at the operators in the control room. Unfortunately, the operators ignored the light (if they had not they could simply have switched in an auxiliary rectifier).

Nestenkatastrofen i kjernekraftverket ved Le Bugey i 1984

What then happened was something that had been completely ignored in the engineering risk analysis for the PWR. The emergency battery now operating the control system began to run down. Instead of falling precipitously to zero, as assumed in the "all or nothing" risk analysis, the voltage in the control circuit steadily slipped down from its nominal 48 V to 30 V over a period of three hours. In response a number of circuit breakers began to trip out in an unpredictable fashion until finally the system, with the reactor still at full power, disconnected itself from the grid.

Nestenkatastrofen i kjernekraftverket ved Le Bugey i 1984

The reactor was now at full power with no external energy being drawn from the system to cool it. An automatic "scram" system then correctly threw in the control rods, which absorbed neutrons and shut off the nuclear reaction. However, a reactor in this condition is still producing a great deal of heat—300 MW in this case. An emergency system is then supposed to switch in a diesel generator to provide emergency core cooling (otherwise the primary coolant would boil and vent within few hours). But the first generator failed to switch on because of the loss of the first control circuit. Luckily the only back-up generator in the system then switched in, averting a serious accident."

Nestenkatastrofen i kjernekraftverket ved Le Bugey i 1984

Furthermore, Nature writes: "But the Le Bugey incident shows that a whole new class of possible events had been ignored—those where electrical systems fail gradually. It shows that risk analysis must not only take into account a yes or no, working or not working, for each item in the reactor, but the possibility of working with a slightly degraded system".

Multinære systemer

- La $S = \{0, 1, \ldots, M\}$ være mengden av tilstander til systemet; de $M + 1$ tilstandene representerer etterfølgende tilstander av ytelse rangert fra det perfekt funksjonerende nivå M ned til det totalt feilende nivå 0. La videre $C = \{1, \ldots, n\}$ være mengden av komponenter og la generelt S_i, $i = 1, \ldots, n$ være mengden av tilstander for $i$te komponent. Vi vil her anta at $\{0, M\} \subseteq S_i \subseteq S$. Dette betyr at vi antar her at tilstandene 0 og M er valgt til å representere endepunktene i en ytelsesskala som brukes både for systemet og komponentene.
- Legg merke at ved de fleste anvendelser er det ikke behov for den samme detaljerte beskrivelse av tilstander for komponentene som for systemet.

Multinære systemer

- La x_i, $i = 1, \ldots, n$ betegne tilstanden eller ytelsesnivået til $i$te komponent på et fast tidspunkt og $\boldsymbol{x} = (x_1, \ldots, x_n)$. Det antas at tilstanden, ϕ, til systemet på et fast tidspunkt er en deterministisk funksjon av $\boldsymbol{x}$; i.e., $\phi = \phi(\boldsymbol{x})$. Her antar $\boldsymbol{x}$ verdier i $S_1 \times S_2 \times \cdots \times S_n$ og ϕ verdier i S.
- Funksjonen ϕ kalles strukturfunksjonen til systemet. Vi betegner ofte det multinære systemet med (C, ϕ).

Multinære systemer

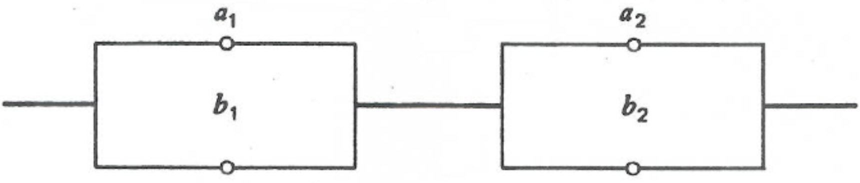
- Betrakt for eksempel et system av n komponenter i parallell der $S_i = \{0, M\}, i = 1, \ldots, n$. Følgelig har vi en binær beskrivelse av komponent tilstandene. I binær teori, i.e. når $M = 1$, er systemtilstanden 1 hvis og bare hvis minst en komponent funksjoner. I multinær teori kan vi la systemtilstanden være antall komponenter som funksjonerer. Dette er langt mer informativt. Her lar vi $M = n$ og får

$$\phi(\boldsymbol{x}) = \sum_{i=1}^{n} x_i / n. \tag{1}$$

Multinære systemer

- Som et litt mer avansert eksempel betrakt nettverket vist under. Her er komponent 1 parallellmodulen av grenene a_1 og b_1 og komponent 2 parallellmodulen av grenene a_2 og b_2. La for $i = 1, 2$ $x_i = 0$ hvis ingen av grenene funksjonerer, 1 hvis en gren funksjonerer og 3 hvis to grener funksjonerer. Tilstandene til systemet er gitt i tabellen under.

Multinære systemer



		3	0	2	3
	Component 2	1	0	1	2
Systemtilstander		0	0	0	0
			0	1	3
			Component 1		

Multinære systemer

- Legg merke til at tilstanden 1 er kritisk både for hver komponent og for systemet som en helhet i den betydning at en gren som feiler leder til at systemet feiler. I binær teori omfatter den funksjonerende systemtilstanden de multinære systemtilstandene $\{1, 2, 3\}$ og dermed er bare en røff beskrivelse av systemets yteevne mulig. Det er ikke vanskelig å se at den multinære strukturfunksjonen er gitt ved

$$\phi(\boldsymbol{x}) = x_1 x_2 - I(x_1 x_2 = 3) - 6I(x_1 x_2 = 9), \tag{2}$$

der $I(\cdot)$ er indikator funksjonen.

Sannsynlighetsteoretisk ytelse til systemet

- Vi ser nå på sammenhengen mellom den sannsynlighetsbaserte ytelse til systemet(C, ϕ) og de sannsynlighetsbaserte ytelsene til komponentene. Innfør den stokastiske tilstand, $X_i(t)$, til $i$te komponent ved tiden t, $i = 1, \ldots, n$ og den tilhørende stokastiske vektor $\boldsymbol{X}(t) = (X_1(t), \ldots, X_n(t))$. Hvis nå ϕ er en multinær strukturfunksjon, så er $\phi(\boldsymbol{X}(t))$ den tilhørende systemtilstand ved tiden t.
- Anta at de stokastiske prosessene $\{X_i(t), t \in [0, \infty)\}$, $i = 1, \ldots, n$, er innbyrdes uavhengige. For den dynamiske angrepsmåte i denne fremstillingen er dette en nødvendig antagelse for å få eksplisitte resultater.

Antagelser

- Vi betrakter tilfellet der komponentene, og dermed systemet, kan repareres. For at fremstillingen ikke skal bli for komplisert antar vi at hver komponent svekkes ved å gå gjennom alle tilstandene fra den perfekte tilstanden til den fullstendig feilete tilstanden før den repareres til den perfekte tilstanden. Videre antas at ved tiden $t = 0$ er alle komponentene i den perfekte funksjonstilstand M.
- La $i$te komponent ha en absolutt kontinuerlig fordeling, $F_i^k(t)$, for tiden den tilbringer i tilstand k, før den hopper nedover til tilstand $k-1$, med sannsynlighetstetthet $f_i^k(t)$, $\bar{F}_i^k(t) = 1 - F_i^k(t)$ og forventning μ_i^k. Anta i tillegg at $i$te komponent har en absolutt kontinuerlig reparasjonstids fordeling, $G_i(t)$, med sannsynlighetstetthet $g_i(t)$, $\bar{G}_i(t) = 1 - G_i(t)$ og forventning μ_i^0. Videre antas det at alle disse tidene er uavhengige.

Notasjon

Innfør notasjonen

$$P(X_i(t) = j) = a_i^j(t), \quad j = 0, \ldots, M$$
$$\boldsymbol{a}(t) = (a_1^1(t), \ldots, a_1^M(t), a_2^1(t), \ldots, a_n^M(t))$$
$$P[\phi(\boldsymbol{X}(t)) \geq j] = P[I(\phi(\boldsymbol{X}(t)) \geq j) = 1] = p_\phi^j(\boldsymbol{a}(t)).$$

Vi betegner $a_i^j(t)$ tilgjengeligheten til $i$te komponent på nivå j ved tiden t og $p_\phi^j(\boldsymbol{a}(t))$ tilgjengeligheten til systemet på nivå j ved tiden t.

Grunner for gode mål for komponenters pålitelighetsmessige betydning

- Det synes å være to hovedgrunner til å jakte på gode mål for komponenters pålitelighetsmessige betydning.
- Grunn 1: Det tillater analytikeren å bestemme hvilke komponenter som trenger mest forskning og utvikling for å forbedre systempåliteligheten med minst mulig kostnader og anstrengelse.

Grunner for gode mål for komponenters pålitelighetsmessige betydning

- Grunn 2: Dette kan foreslå den mest effektive måte for å finne årsaken til systemfeil ved å generere en sjekkliste for reparasjoner som kan brukes av reparatøren.
- En skal merke seg at ingen mål for komponenters pålitelighetsmessige betydning kan forventes å være universelt best uavhengig av bruksområde. Her vil vi konsentrere oss om det som kan kalles allround mål for komponenters pålitelighetsmessige betydning. Det er en utvidelse av det som er gjort i (Natvig et al. 2009) fra det binære til det multinære tilfellet.

Mål for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

- I (Natvig 2011) ble det introdusert dynamiske og stasjonære mål for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent i et reparerbart multinært system.
- Ifølge Birnbaum målet er en komponent viktig hvis det er en høy sannsynlighet for at tilstanden til komponenten er kritisk for om systemtilstanden er over en gitt tilstand.
- Ifølge Barlow-Proschan målet er en komponent viktig hvis det er en høy sannsynlighet for at en endring i tilstanden til komponenten forårsaker en endring i om systemtilstanden er over en gitt tilstand.
- På den annen side fokuserer Natvig type målene på hvordan en endring i tilstanden til komponenten påvirker den forventede oppetid og nedetid relativt til en gitt systemtilstand.

Mål for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

- I det multinære tilfellet beregnes den pålitelighetsmessige betydning av en komponent separat for hver komponenttilstand. Følgelig kan det hende at en komponent er veldig viktig for en tilstand og mindre viktig og til og med irrelevant for en annen. Sammenfattende mål som kombinerer betydningen for alle komponenttilstander kan oppnås ved å addere målene for hver enkelt tilstand. Ifølge disse sammenfattende målene kan en komponent være viktig relativt til en gitt systemtilstand men ikke til en annen.

Birnbaum målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

Innfør de M-dimensjonale vektorene

$$\boldsymbol{e}^k = (1_k, \mathbf{0}), \quad k = 1, \ldots, M \quad \boldsymbol{e}^0 = \mathbf{0}$$

Det generaliserte Birnbaum målet ved tiden t i reparerbare systemer er gitt ved

$$\begin{aligned} & I_B^{(i,k,j)}(t) = p_\phi^j((\boldsymbol{e}^k)_i, \boldsymbol{a}(t)) - p_\phi^j((\boldsymbol{e}^{k-1})_i, \boldsymbol{a}(t)), \\ & i = 1, \ldots, n, k \in \{1, \ldots, M\}, j \in \{1, \ldots, M\}. \end{aligned} \tag{3}$$

Dette er sannsynligheten ved tiden t for at systemet er i tilstandene $\{j, \ldots, M\}$ hvis $i$te komponent er i tilstand k og ikke hvis $i$te komponent er i tilstand $k-1$.

Barlow-Proschan målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

La for $i = 1, \ldots, n, k \in \{1, \ldots, M\}, j \in \{1, \ldots, M\}$

$N_i^{(k)}(t) =$ antall hopp av $i$te komponent fra tilstand k til tilstand $k-1$ i $[0, t]$.

$\tilde{N}_i^{(k,j)}(t) =$ antall ganger systemet forlater tilstandene $\{j, \ldots, M\}$ i $[0, t]$ pga. hoppet av $i$te komponent fra tilstandene k til $k-1$.

Betegn nå $EN_i^{(k)}(t)$ med $M_i^{(k)}(t)$. Som i (Barlow og Proschan 1975) har vi for $i = 1, \ldots, n, k \in \{1, \ldots, M\}, j \in \{1, \ldots, M\}$

$$E\tilde{N}_i^{(k,j)}(t) = \int_0^t I_B^{(i,k,j)}(u) dM_i^{(k)}(u), \tag{4}$$

Barlow-Proschan målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

der $I_B^{(i,k,j)}(u)$ er gitt i (3). Et generalisert tidsavhengig Barlow-Proschan mål for betydningen av $i$te komponent i tidsintervallet $[0, t]$ i reparerbare systemer er gitt ved

$$I_{B-P}^{(i,j)}(t) = \frac{\sum_{k=1}^{M} E\tilde{N}_i^{(k,j)}(t)}{\sum_{r=1}^{n}\sum_{k=1}^{M} E\tilde{N}_r^{(k,j)}(t)}. \tag{5}$$

Natvig målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

Vi starter med å introdusere noen basale tilfeldige variable for $i = 1, \ldots, n, k \in \{0, \ldots, M\}, m = 1, 2, \ldots$

$T_{i,k,m} =$ tiden for det $m$te hopp av den $i$te komponent til tilstand k.

$D_{i,m} =$ lengden av den $m$te reparasjons tid for den $i$te komponent.

Vi definerer $T_{i,M,0} = 0$ og har for $m = 1, 2, \ldots$

$$T_{i,M,m} = T_{i,0,m} + D_{i,m}.$$

Natvig målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

Parallelt til det ikke reparerbare tilfellet er det vår mening at komponenter som ved å svekkes, sterkt reduserer den forventede tiden systemet er i de bedre tilstandene, er veldig viktige. For å formalisere dette, introduserer vi for $i = 1, \ldots, n, k \in \{0, \ldots, M-1\}, m = 1, 2, \ldots$

$T'_{i,k,m}$ = fiktiv tiden til $m$te hopp av $i$te komponent til tilstand k etter en fiktiv minimal reparasjon av komponenten ved $T_{i,k,m}$; i.e. den blir reparert til å ha samme fordeling for gjenværende tid i tilstand $k+1$ som den hadde rett før den hoppet nedover til tilstand k.

Natvig målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

Som for Barlow-Proschan målet ser vi på intervallet $[0, t]$ og definerer for $i = 1, \dots, n, k \in \{1, \dots, M\}, j \in \{1, \dots, M\}, m = 1, 2, \dots$

$Y^1_{i,k,j,m}$ = system tiden i tilstandene $\{j, \dots, M\}$ i intervallet $[\min(T_{i,k-1,m}, t), \min(T'_{i,k-1,m}, t)]$ akkurat *etter* hoppet nedover fra tilstand k til tilstand $k-1$ av $i$te komponent, som, imidlertid, øyeblikkelig gjennomgår en fiktiv minimal reparasjon.

$Y^0_{i,k,j,m}$ = system tiden i tilstandene $\{j, \dots, M\}$ i intervallet $[\min(T_{i,k-1,m}, t), \min(T'_{i,k-1,m}, t)]$ akkurat *etter* hoppet nedover fra tilstand k til tilstand $k-1$ av $i$te komponent, i det vi antar at komponenten forblir i den sistnevnte tilstanden i dette intervallet.

Natvig målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

For å finne en stokastisk representasjon svarende til den i det ikke reparerbare tilfellet innfører vi følgende stokastiske variable

$$Z_{i,k,j,m} = Y^1_{i,k,j,m} - Y^0_{i,k,j,m}. \tag{6}$$

Dermed, kan $Z_{i,k,j,m}$ fortolkes som en fiktiv økning av systemets tid i tilstandene $\{j, \dots, M\}$ i intervallet $[\min(T_{i,k-1,m}, t), \min(T'_{i,k-1,m}, t)]$ pga. en fiktiv minimal reparasjon av $i$te komponent når den hopper nedover fra tilstand k til tilstand $k-1$. Bemerk at siden den minimale reparasjonen er fiktiv, så har vi valgt å beregne effekten av denne reparasjonen over hele intervallet $[\min(T_{i,k-1,m}, t), \min(T'_{i,k-1,m}, t)]$ selv om dette intervallet kan gå utover tiden for neste hopp av $i$te komponent. Dette siste representer en utfordring ved simuleringene.

Natvig målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

For å summere opp effektene av de fiktive minimale reparasjonene, har vi valgt å ganske enkelt summere opp bidragene. Ved å ta forventningen, får vi for $i = 1, \ldots, n, j \in \{1, \ldots, M\}$

$$
\begin{aligned}
&E\Big[\sum_{m=1}^{\infty} I(T_{i,k,m} \leq t) Z_{i,k,j,m}\Big] \stackrel{d}{=} EY_{i,k,j}(t),\ k \in \{1, \ldots, M-1\} \\
&E\Big[\sum_{m=1}^{\infty} I(T_{i,M,m-1} \leq t) Z_{i,M,j,m}\Big] \stackrel{d}{=} EY_{i,M,j}(t). \qquad (7)
\end{aligned}
$$

Natvig målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

Vi foreslår da følgende generaliserte Natvig mål, $I_N^{(i,j)}(t)$, av viktigheten av $i$te komponent i tidsintervallet $[0,t]$ i reparerbare systemer.

$$I_N^{(i,j)}(t) = \sum_{k=1}^{M} EY_{i,k,j}(t) / \sum_{r=1}^{n} \sum_{k=1}^{M} EY_{r,k,j}(t) \tag{8}$$

Natvig målet for den pålitelighetsmessige betydning av en komponent

Det kan bevises at

$$EY_{i,k,j}(t) = \int_0^t \int_u^t I_B^{(i,k,j)}(w)\bar{F}_i^k(w-u)(-\ln \bar{F}_i^k(w-u))dw\, dM_i^{(k+1)}(u),$$

$k \in \{1, \ldots, M-1\}$

$$EY_{i,M,j}(t) = \int_0^t I_B^{(i,M,j)}(w)\bar{F}_i^M(w)(-\ln \bar{F}_i^M(w))dw +$$

$$\int_0^t \int_u^t I_B^{(i,M,j)}(w)\bar{F}_i^M(w-u)(-\ln \bar{F}_i^M(w-u))dw\, dR_i(u),$$

der $I_B^{(i,k,j)}(w)$ er gitt i (3) for $k \in \{1, \ldots, M\}$.

Et olje og gass produksjonssystem

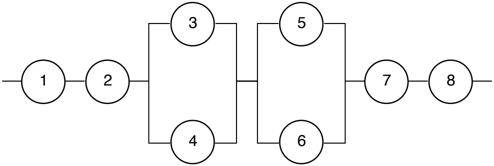
- Vi vil heretter analysere et olje og gass produksjonssystem fra Vest-Afrika, beskrevet i et memo (Signoret 2007). Olje og gass blir pumpet opp fra en produksjonsbrønn sammen med vann. Disse substansene blir separert i en separasjonsenhet. Vi vil anta at denne enheten funksjonerer perfekt. Etter å ha skilt ut oljen, lar en den renne gjennom en behandlingsenhet. Også denne antas å funksjonere perfekt. Deretter blir den behandlete oljen eksportert via en pumpeenhet.

8 komponents systemet

I. Brønn: En produksjonsbrønn som olje og gass kommer fra.
II. Vannrenser: En komponent som renser vannet som pumpes opp fra produksjonsbrønnen sammen med olje og gass.
III. Generator 1: En generator som leverer elektrisitet til systemet.
IV. Generator 2: Som Generator 1.
V. Kompressor 1: En kompressor som komprimerer gass.
VI. Kompressor 2: Som Kompressor 1.
VII. TEG: En komponent som dehydrerer gass.
VIII. Olje eksport pumpe: En pumpe som eksporterer olje.

Figur av olje og gass produksjonsstedet

- Strukturen til systemet er vist i figuren under. Komponentene 1, 2, 7 og 8 er alle i serie med resten av systemet, mens to generatorer, 3 og 4, opererer i parallell med hverandre. Tilsvarende opererer de to kompressorene, 5 og 6, i parallell med hverandre.



Multinær system modellering

- Vi vil her anta en multinær beskrivelse både av komponenter og system. For komponentene lar vi $S_i = \{0, 1, 2\}$ $i = 1, \ldots, 8$. Vi ser på systemet som et flytnettverk og lar systemtilstanden være mengden av flyt som kan transporteres gjennom nettverket. For å bestemme denne starter vi med å identifisere de binære minimale kuttmengdene til nettverket; dvs. de minimale mengdene av komponenter som hvis de fjernes, bryter forbindelsen mellom endepunktene i nettverket. Disse mengdene er opplagt $K_1 = \{1\}, K_2 = \{2\}, K_3 = \{3, 4\}, K_4 = \{5, 6\}, K_5 = 7$ og $K_6 = \{8\}$. Vi anvender så det velkjente max-flyt min-kutt teoremet, se (Ford og Fulkerson 1956), og får

$$\phi(\boldsymbol{X}(t)) = \min_{1 \leq \ell \leq 6} \sum_{i \in K_\ell} X_i(t). \tag{9}$$

Antagelser

- Vi ser at vi også har $S = \{0, 1, 2\}$.
- For å kunne sammenligne med den binære beskrivelsen i (Natvig et al. 2009) lar vi fordelingene til de totale tider komponentene er i de ikke fullstendig feilete tilstandene for det multinære tilfellet være lik levetidsfordelingene i det binære tilfellet.
- For enkelthets skyld antar vi også at fordelingene for tidene tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander være de samme for hver komponent.
- Endelig antar vi at fordelingene for reparasjonstidene er de samme for de binære og de multinære tIlfellene.

Feilrater, forventede reparasjonstider og totale tider tilbrakt i de ikke fullstendig feilete tilstander for komponentene

Komponent	Feilrate	μ_i^0	$\mu_i^1 + \mu_i^2$
1	$2.736 \cdot 10^{-4}$	7.000	3654.97
2	$8.208 \cdot 10^{-3}$	0.167	121.83
3 & 4	$1.776 \cdot 10^{-2}$	1.167	56.31
5 & 6	$1.882 \cdot 10^{-2}$	1.083	53.11
7	$1.368 \cdot 10^{-3}$	0.125	730.99
8	$5.496 \cdot 10^{-4}$	0.125	1819.51

- Tidsenheten er *dager*. De forventede totale tider tilbrakt i de ikke fullstendig feilete tilstander for komponentene er vesentlig større enn de forventede reparasjonstider. For noen komponenter (brønnen, TEG og olje eksport pumpen) er førstnevnte forventninger flere år.

Gamma fordelte reparasjonstider og tider tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander

- Vi antar at komponentene har gamma fordelte tider tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander og gamma fordelte reparasjonstider. Ved å velge forskjellige verdier for parametrene i sannsynlighetstetthetene er det mulig å endre variansene i fordelingene til tidene tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander og fortsatt holde forventningene fast. For å se effekten av dette på mål for betydningen av en komponent, ser vi nærmere på komponent 1 der vi ser på tre ulike parameter kombinasjoner for fordelingen av tider tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander. For alle disse kombinasjonene var den forventede tiden tilbrakt i hver av disse ikke fullstendig feilete tilstander 1827.49 dager, mens variansen varierte mellom $9.135 \cdot 10^2$ og $5.85 \cdot 10^5$.

Rangering av det utvidete Natvig mål

Kombinasjon	Rangering system nivå 1
1	$2 > 7 > 8 > 1 > 5 \approx 6 > 3 \approx 4$
2	$2 > 1 > 7 > 8 > 5 \approx 6 > 3 \approx 4$
3	$1 > 2 > 7 > 8 > 5 \approx 6 > 3 \approx 4$
Kombinasjon	Rangering system nivå 2
1	$2 > 5 \approx 6 > 7 > 8 > 3 \approx 4 > 1$
2	$2 > 1 > 5 \approx 6 > 7 > 8 > 3 \approx 4$
3	$1 > 2 > 5 \approx 6 > 7 > 8 > 3 \approx 4$

- Vi ser for begge system nivåene en forbedring i rangeringen av komponent 1 med økende varianser ifølge det utvidete Natvig mål for komponenters betydning. Legg også merke til at ifølge rangeringen er komponentene 1, 7 og 8 viktigere på system nivå 1 enn 2, mens det er motsatt for komponentene 5 og 6.

Avsluttende kommentarer

- Vi observerte at en viktig egenskap ved Natvig målene er at de reflekterer graden av usikkerhet i fordelingene til reparasjonstidene og tidene tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander til komponentene.
- Et funn fra simuleringene for dette eksemplet er at resultatene for det opprinnelige Natvig målet og den utvidete versjon, der en også trekker inn konsekvensene av reparasjon for systemets nedetid, er nesten identiske. Dette gir absolutt mening fordi det sistnevnte bidraget forsvinner siden den såkalte fiktive forlengete reparasjonstid er mye kortere enn de såkalte fiktive forlengete tider tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander. Svakhetene til dette systemet er knyttet til hver av de ikke fullstendig feilete tilstander og ikke til reparasjonstidene.

Avsluttende kommentarer

- Komponent 1 er brønnen som er i serie med resten av systemet. For denne komponenten er de utvidete Natvig komponent målene for begge system nivåene i gamma tilfellet økende i variansene til fordelingene til tidene tilbrakt i hver av de ikke fullstendig feilete tilstander. Dette er i overensstemmelse med et teoretisk resultat for Weibull fordelingen. Sammen med denne økende viktighet observerer vi en tilsvarende forbedring i rangering.
- Basert på presentasjonen i (Natvig 2011) mener vi at Natvig målene til komponent betydningen for reparerbare multinære systemer representerer på den ene side en teoretisk nyhet. På den annen side indikerer dette eksemplet et stort potensial for anvendelser, spesielt pga. simuleringsmetodene som er brukt slik de er presentert i (Huseby and Natvig 2013).

Referanser

Referenser

Barlow, R. E. and Proschan, F. Importance of system components and fault tree events. *Stochastic Process. Appl.*, (3): 153–173, 1975.

Ford, L. R. and Fulkerson, D. R. Maximal flow through a network. *Canadian J. Math*, (8): 399–404, 1956.

Huseby, A. B and Natvig, B. Discrete event simulation methods applied to advanced importance measures of repairable components in multistate network flow systems. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, (119): 186–198, 2013.

Nature, Near catastrophy at le Bugey. *Nature*, (321):462, 1986.

Natvig, B. Measures of component importance in nonrepairable and repairable multistate strongly coherent systems. *Methodol.Comput. Appl. Prob.*, (13):523-547, 2011.

Referanser

Natvig, B., Eide, K. A., Gåsemyr, J., Huseby, A. B. and Isaksen, S. L. Simulation based analysis and an application to an offshore oil and gas production system of the Natvig measures of component importance in repairable systems. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, (94): 1629–1638, 2009.

Natvig, B., Huseby, A. B. and Reistadbakk, M. O. Measures of component importance in repairable multistate systems-a numerical study. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, (96): 1680–1690, 2011.

Signoret, J. P. and Clave, N. SAFERELNET V3: Production Availability Test Case. *TOTAL*, (DGEP/TDO/EXP/SRF 04-013), 2007.