

Luento 7

Riskitekijöiden priorisointi

Jan-Erik Holmberg
Systeemianalyysin laboratorio
Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu
PL 11100, 00076 Aalto
jan-erik.holmberg@aalto.fi

Riskien priorisointi

- **Lähtökohtia**
 - Riskienhallintatoimenpiteet pyritään kohdistamaan siten, että kokonaisriskiä pystytään rajaamaan mahdollisimman tehokkaasti
 - » Toimenpiteitä esim. komponenttien testaus ja uusiminen, koulutus, turvajärjestelmien asentaminen
 - Siksi riskitekijät on priorisoitava – millä tekijöillä on eniten merkitystä?
 - » Vrt. komponenttien rakenteellinen luotettavuus koherenteissa järjestelmissä (ks. Luento 6)
- **Riskien tärkeysmitat**
 - Absoluuttiset mitat (engl. absolute measures) kuvaavat riskitekijän vaikutusta kokonaisriskiin
 - » Esim. millä todennäköisyydellä järjestelmä ei toimi, jos komponentti X pettää?
 - Suhteelliset mitat (engl. relative measures) kuvaavat riskitekijän tärkeyttä suhteessa muihin riskitekijöihin
 - » Esim. miten paljon enemmän tai vähemmän komponentin X vikaantuminen lisää järjestelmän kokonaisriskiä verrattuna komponenttiin Y ?
- **Huomioita**
 - Usein ns. Pareto-periaate pätee suuntaa-antavasti
 - » ~20% riskitekijöistä aiheuttaa ~80% kokonaisriskistä
 - Riskitekijöiden joukosta voi löytyä tärkeydeltään erilaisia ryhmiä eli klustereita

Riskipriorisoinnin käyttötarkoituksia

- Elinkaaren aikaiset priorisoinnit
 - Järjestelmän suunnittelu
 - » Esim. luotettavuuden parantaminen ex ante (=etukäteen)
 - Operatiivinen toiminta
 - » Esim. tarkastus- ja uusimispolitiikkojen arviointi
 - Järjestelmän muuttaminen ja uudelleenkonfigurointi
 - » Esim. osakokonaisuuksien korvaaminen toisilla
- Priorisoinnissa tehtävä herkkyysanalyysiä
 - Esim. komponenttien vikaantumistn:iä ei välttämättä tunneta varmuudella
 - » Miten prioriteetit muuttuvat, jos nämä tn:t muuttuvat?
 - Yhden riskitekijän herkkyysanalyysi
 - » Miten järjestelmän kokonaisriski muuttuu, jos yhden riskitekijän tn muuttuu?
 - Herkkyysanalyysi useamman tekijän suhteen
 - » Miten kokonaisriski muuttuu, jos useampia riskitekijöitä koskevat arviot voivat muuttua yhtä aikaa?
 - Preference programming -menetelmät (Salo & Hämäläinen, 1992, 2001, Salo, 1995, Liesiö et al. 2007, 2008, Liesiö & Salo, 2012, Toppila & Salo, 2013)
 - » Miten kokonaisriski muuttuu, jos kaikkien tekijöiden vikaantumistn:t saavat vaihdella?
- Kysymyksiä
 - Missä rajoissa riskitekijöiden tn:t voivat vaihdella?
 - Miten montaa riskitekijää tarkastellaan yhtäaikaan?

Riskien priorisointi vikapuissa

- Lähtökohtia
 - Vikapuuanalyysissä järjestelmän vikaantuminen voidaan esittää minimiskatkosjoukkojen loogisena summana
 - Jos kiinnostuksen kohteen on yksittäinen riskitekijä P , niin kokonaisriski voidaan esittää muodossa

$$R = aP + b$$

- Tässä aP muodostuu niistä minimikatkosjoukoista, joihin P kuuluu ja b niistä, joihin P ei kuulu
- Tapahtuma P voidaan faktoroida ulos ensimmäisen termin minimikatkosjoukoista
- b kuvaa muiden kuin P :n sisältävien minimikatkos-joukkojen vaikutusta riskiin
- a niiden yhteistapahtumien tn:ää, jotka muodostava minimikatkosjoukkoja yhdessä P :n kanssa
 - » Huom! Modarraksen notaatio ei selvin mahdollinen

- Esim. vikapuun minimikatkosjoukkoesitys

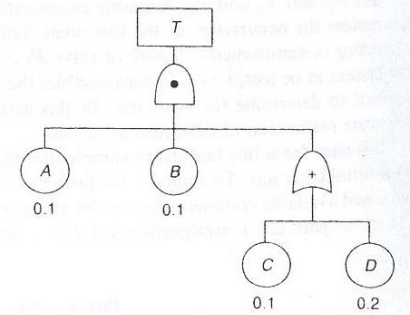
$$T = A \cdot B \cdot (C + D) = A \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot D$$

- Esim. C :tä vastaa

$$P \sim C$$

$$a \sim A \cdot B$$

$$b \sim A \cdot B \cdot D$$



Birnbaum (1/2)

- Määritelmä
 - Miten paljon kokonaisriski kasvaa silloin, jos riskitekijä toteutuu verrattuna siihen, että se ei toteudu?
 - Kun tapahtuma P ei toteudu, niin mitkään P :n sisältämistä minimikatkosjoukoista eivät toteudu
 - Kun P toteutuu, niin joku aP :n sisältämistä minimikatkosjoukoista toteutuu a :ta vastaavalla tn:llä
 - Todennäköisyyden kasvu siis

$$I_B = \frac{dR}{dP} = a$$

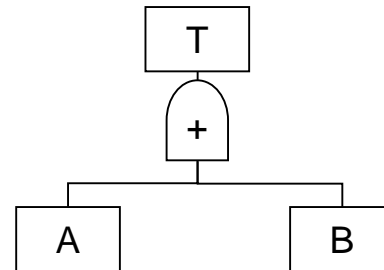
- Sama määritelmä toisin

$$I_B(A) = P(T|A) - P(T|\neg A)$$

- missä
 - » T on vikapuun huipputapahtuma
 - » A on kiinnostuksen kohteena oleva riskitekijä
 - » $\neg A$ tarkoittaa, että A ei toteudu
- Huomioita
 - Birnbaumin tärkeysmitta ei huomioi riskitekijän tn:ää
 - » Voi kohdistaa huomioita liiaksi erittäin pienellä tn:llä toteutuviin riskitekijöihin (perustapahtumiin)
 - Jos näistä tn:istä ei tietoa, niin Birnbaumit voidaan laskea 'entropiaperiaateella' käyttäen arvoa $p = 0.5$

Birnbaum (2/2)

- Esim. Yhden OR-portin vikapuu



- Perustapahtumien tn:t $P(A) = 0.1$ ja $P(B) = 0.2$

- Tällöin

$$P(T|A) = 1.0, \quad P(T|\neg A) = P(B) = 0.2$$
$$P(T|B) = 1.0, \quad P(T|\neg B) = P(A) = 0.1$$

- Birnbaum-tärkeysmitoiksi saadaan siis

$$I_B(A) = P(T|A) - P(T|\neg A) = 1.0 - 0.2 = 0.8$$

$$I_B(B) = P(T|B) - P(T|\neg B) = 1.0 - 0.1 = 0.9$$

- So. Komponentti B näyttää tärkeämmältä kuin A

Kriittinen tärkeys

- Määritelmä (engl. critical importance)

- Ajatus: Miten suurella todennäköisyydellä riski toteutuu P :n sisältämän minimikatkosjoukon seurauksena, kun riskin tiedetään toteutuneen?
- Tämä määritelmä ottaa huomioon myös järjestelmän kokonaisriskin

$$I_C = \frac{aP}{R} = \frac{dP}{dR} \times \frac{P}{R} = I_B \times \frac{P}{R}$$

- Muutoksia Birnbaumiin verrattuna
 - » Huomio perustapahtumien tn:t, mikä auttaa suuntaamaan huomion tärkeisiin perustapahtumiin
 - » Voidaan verrata myös saman perustapahtuman merkitystä eri vikapuissa (tilanteissa, joissa sama perustapahtuma on mukana monissa)

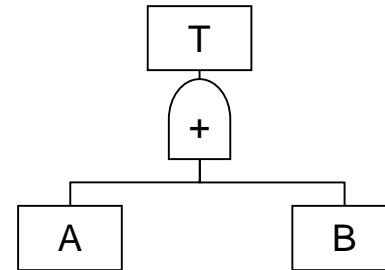
- Sama määritelmä toisin

$$I_C(A) = I_B(A) \frac{P(A)}{P(T)}$$

- Ts. Birnbaumia muunnetaan ottamalla huomioon perustapahtumien tn:t

Kriittinen tärkeys (2/2)

- Esim. yksinkertainen OR-vikapuu



- Jos A ja B ovat riippumattomia, niin

$$\begin{aligned} P(T) &= P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \\ &= P(A) + P(B) - P(A)P(B) = 0.1 + 0.2 - 0.1 \times 0.2 = 0.28 \end{aligned}$$

- Aiemmin laskettiin $I_B(A) = 0.8$, $I_B(B) = 0.9$
- Kriittisiksi tärkeyksiksi saadaan

$$I_C(A) = \frac{I_B(A)P(A)}{P(T)} = \frac{0.8 \times 0.1}{0.28} = 0.2857$$

$$I_C(B) = \frac{I_B(B)P(B)}{P(T)} = \frac{0.9 \times 0.2}{0.28} = 0.6428$$

- Huom! Jos kyseessä olisi AND-porttinen vikapuu, niin $P(T) = P(A \cap B) = P(A)P(B) = 0.02$ ja

$$I_B(A) = P(T|A) - P(T|\neg A) = P(B)$$

$$I_B(B) = P(T|B) - P(T|\neg B) = P(A)$$

$$\Rightarrow I_C(A) = \frac{I_B(A)P(A)}{P(T)} = 1.0 = I_C(B)$$

- Kriittinen tärkeys ei ole siis mielekäs mitta AND-porteille!

Fussell-Vesely (1/2)

- Määritelmä

- Fussell-Vesely riskimitta määritellään suhteena, jossa kiinnostuksen kohteena olevan riskitekijän sisältämien minimikatkosjoukkojen t_n :ien summa jaetaan huipputapahtuman t_n :llä
- Tämä on suunnilleen sama kuin

$$I_{FV} \approx \frac{aP}{R}$$

missä osoittajaa approksimoidaan sen sisältämien minimikatkosjoukkojen t_n :ien summana (ts. tällöin ei huomioida sitä, että minimikatkosjoukot voivat leikata toisiaan)

- Tarkka määritelmä voidaan esittää muodossa

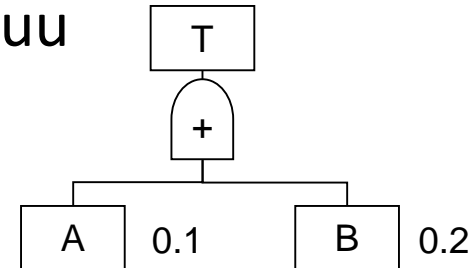
$$I_{FV}(A) = \frac{\sum_{\{MKJ_i | A \in MKJ_i\}} p(MKJ_i)}{p(\cup_i MKJ_i)}$$

- Huomioita

- Fussell-Vesely ei ole mielekäs riskimitta AND-porteille
 - » Kaikkien portin perustapahtumille arvo on $I_{FV} = 1$

Fussell-Vesely (2/2)

- Esim. sama yksinkertainen OR-vikapuu



- Minimikatkosjoukot $MKJ_1 = \{A\}$ ja $MKJ_2 = \{B\}$
- Näiden todennäköisyydet ovat $p(MKJ_1) = 0.1$ ja $p(MKJ_2) = 0.2$
- Fussell-Vesely riskitärkeysmitan arvoiksi saadaan

$$I_{FV}(A) = p(MKJ_1)/p(A \cup B) = 0.1/0.28 = 0.357$$

$$I_{FV}(B) = p(MKJ_2)/p(A \cup B) = 0.2/0.28 = 0.714$$

missä $0.28 = 0.1 + 0.2 - 0.1 \times 0.2$ on huipputapahtuman todennäköisyys

- Huomioita

- Tässä tapauksessa kaikki mitat antoivat riskitekijöille saman järjestyksen — aina näin ei ole
- Miten edetä, jos mitat antavat erilaisia tuloksia?

Huomioita riskimitoista

- Jos kaikki kolme riskimittaa antavat riskitekijöille saman järjestyksen, toimenpiteet voidaan suunnata tämän mukaisesti
- Muulloin valinta ei ole ilmeinen
- Valintaa voidaan tukea seuraavasti
 - Tarkasteluajankohdan on oltava mielekäs
 - » Tulokset voivat riippua ratkaisevasti esimerkiksi siitä, mitkä komponentit ovat tarkasteluajanhetkellä vikaantuneita
 - Eri riskimittojen antamien tärkeysjärjestysluvut voidaan keskiarvottaa ja tuottaa näin esitys, joka huomio kaikki mitat
 - Mittoja voidaan tarkastella myös vaiheistetusti siten, että järjestys johdetaan ensisijaisesti joko Fussell-Vesely-mitan tai kriittisen tärkeyden perusteella siten, että mahdolliset 'tasapelit' ratkotaan Birnbaumilla
 - Jos analyysissä voidaan käyttää laskennallisista tai muista syistä vain yhtä mittaa, kriittinen tärkeys on luultavasti tarkoituksenmukaisin

Risk reduction worth (RRW)

- Parannuspotentiaali

- Miten paljon pienemmäksi kokonaisriski jää, jos tarkasteltava riskitekijä eliminoidaan kokonaan?
- Antaa tässä mielessä teoreettisen rajan sille, miten paljon riskiä pystytään pienentämään kohdistamalla toimenpiteet ao. tekijään
- Saadaan kaavasta

$$I_{RRW} = \frac{R}{R(P=0)} = \frac{aP + b}{b}$$

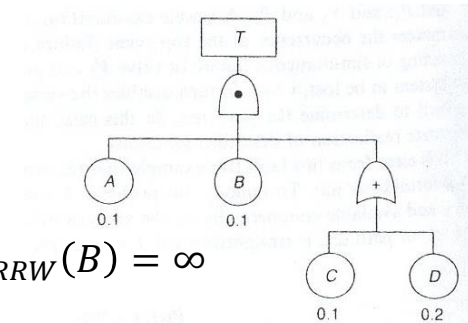
- Esim. vikapuu

$$T = A \cdot B \cdot (C + D) = A \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot D$$

- Komponentit A ja B molemmissa minimikatkosjoukoissa $\Rightarrow I_{RRW}(A) = I_{RRW}(B) = \infty$
- Komponenttien C ja D osalta

$$I_{RRW}(C) = \frac{0.1 \times 0.1 \times (0.1 + 0.2 - 0.1 \times 0.2)}{0.1 \times 0.1 \times 0.28} = \frac{0.28}{0.2} = 1.4$$

$$I_{RRW}(D) = \frac{0.1 \times 0.1 \times (0.1 + 0.2 - 0.1 \times 0.2)}{0.1 \times 0.1 \times 0.1} = \frac{0.28}{0.1} = 2.8$$



Risk achievement worth (RAW)

- Heikennyspotentiaali

- Miten paljon suuremmaksi kokonaisriski kasvaa nykyisestä, josta tarkasteltava riskitekijä toteutuu?
- Antaa siis teoreettisen rajan sille, miten suureksi riski voi muodostua kyseisen riskitekijän toteutuessa
- Auttaa näin vastaamaan erityisesti kysymykseen siitä, missä järjestyksessä voittuneet komponentit tulisi uusia ja/tai korjata
- Saadaan kaavasta

$$I_{RAW} = \frac{R(P = 1)}{R} = \frac{a + b}{aP + b}$$

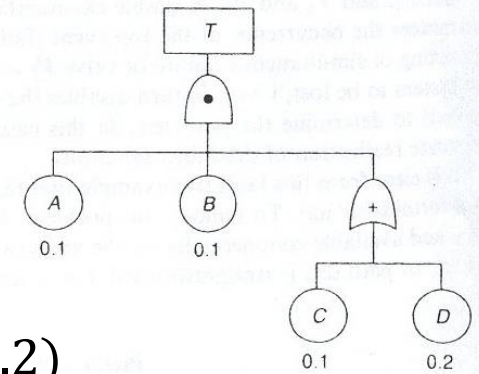
- Esim. edellinen vikapuu

- Komponentit *A* ja *B*

$$I_{RAW}(A) = I_{RAW}(B) = \frac{0.1 \times (0.1 + 0.2 - 0.1 \times 0.2)}{0.1 \times 0.1 \times 0.28} = 10$$

- Komponentit *C* ja *D*

$$I_{RAW}(C) = I_{RAW}(D) = \frac{0.1 \times 0.1}{0.1 \times 0.1 \times 0.28} = 3.57$$



Vikaantumis- ja toiminta-tn ulottuvuudet

Importance Measures	Failure Space		Success Space	
	Mathematical Definition	Interpretation	Mathematical Definition	Interpretation
Birnbaum	$I_B = F_{i=0} - F_{i=1}$	The rate of system failure changes with respect to the failure of component i	$I_B = S_{i=1} - S_{i=0}$	The rate of system success changes with respect to the success of component i
Risk reduction worth	$I_{RRW} = \frac{F}{F_{i=1}}$	The relative improvements in system failure, realizable by improving component i	$I_{RRW} = \frac{S_{i=1}}{S}$	The relative improvement in system, realizable by improving component i
Risk achievement worth	$I_{RAW} = \frac{F_{i=0}}{F}$	Factor by which probability of system failure would increase with no credit for component i	$I_{RAW} = \frac{S}{S_{i=0}}$	Factor by which probability of system success would decrease with no credit for component i
Fussell-Vesely	$I_{FV} = \frac{F - F_{i=1}}{F}$	Fraction of system unavailability (or risk) involving failure of component i	$I_{FV} = \frac{S - S_{i=0}}{S}$	Fraction of system success, involving success of component i

I_i , importance measure for component I ; $i = 1$, the condition that element i operates successfully; $i = 0$, the condition that element i has failed;
 S , total success of the system; F , total failure of the system.

Esimerkki

- Komponenttia C koskevat järjestelmän vikaantumistn:t

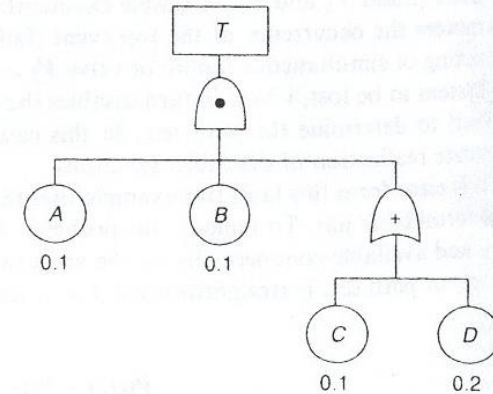
$$\left. \begin{aligned} F_{C=1} &= P(A)P(B)P(D) = 0.002 \\ F &= P(A)P(B)P(C \cup D) = 0.0028 \\ F_{C=0} &= P(A)P(B) = 0.01 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$I_{RRW} = \frac{F}{F_{C=1}} = 1.4, I_{RAW} = \frac{F_{C=0}}{F} = 3.57, I_{FV} = \frac{F - F_{C=1}}{F} = 0.286$$

- Vastaavat toimintatodennäköisyydet

$$\left. \begin{aligned} S_{C=1} &= 1 - F_{C=1} = 0.998 \\ S &= 1 - F = 0.9972 \\ S_{C=0} &= 1 - F_{C=0} = 0.99 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$I_{RRW} = \frac{S_{C=1}}{S} = 1.0008, I_{RAW} = \frac{S}{S_{C=0}} = 1.0072, I_{FV} = \frac{S - S_{C=0}}{S} = 0.0072$$



Lisää toiminta-tn-esimerkkejä

- Esim. sama OR-vikapuu
 - Nyt S -notaatioissa $A = 1$ tarkoittaa, komponentti A toimii

- Birnbaum

$$I_B(A) = S_{A=1} - S_{A=0} = 0.8 - 0 = 0.8$$

$$I_B(B) = S_{B=1} - S_{B=0} = 0.9 - 0 = 0.9$$

- Risk reduction worth (RRW)

$$I_{RRW}(A) = \frac{S_{A=1}}{S} = \frac{0.8}{0.8 \times 0.9} = 1.11$$

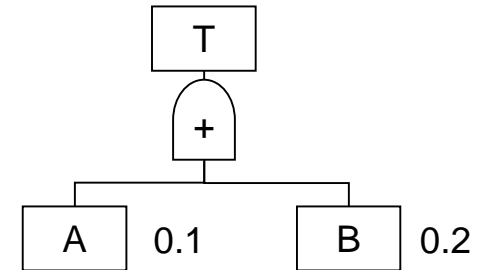
$$I_{RRW}(B) = \frac{S_{B=1}}{S} = \frac{0.9}{0.8 \times 0.9} = 1.25$$

- Risk achievement worth (RAW)

$$I_{RAW}(A) = \frac{S}{S_{A=0}} = \frac{0.8 \times 0.9}{0} = I_{RAW}(B) = \infty$$

- Fussell-Vesely

$$I_{FV}(A) = \frac{S - S_{A=0}}{S} = \frac{0.72 - 0}{0.72} = 1 = I_{FV}(B)$$



Huomioita

- Osa näistä edellisistä riskimitoista ei ole erityisen järkeviä
 - RRW:n ja RAW:n osalta usean kertaluokan erot ovat mahdollisia vikaantumistodennäköisyyksien osalta, mutta ei toimintatodennäköisyyksien osalta
 - Voidaan esittää myös paremmat määritelmät

Importance Measures	Success Space	
	Mathematical Definition	Interpretation
Risk reduction worth	$I_{RRW} = \frac{S_{i=1} - S}{S}$	The percentage of improvements in system success, realizable by improving component i
Risk achievement worth	$I_{RAW} = \frac{S - S_{i=0}}{S}$	The percentage of degradations of system success, realizable by failure of component i

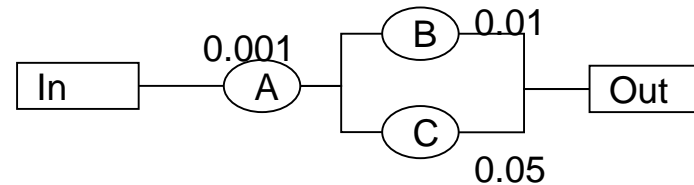
$$I_{RRW}(A) = \frac{S_{A=1} - S}{S} = \frac{0.8 - 0.72}{0.72} = 0.11$$

$$I_{RRW}(B) = \frac{S_{B=1} - S}{S} = \frac{0.9 - 0.72}{0.72} = 0.25$$

$$I_{RAW}(A) = \frac{S - S_{A=0}}{S} = \frac{0.72 - 0}{0.72} = 1 = I_{RAW}(B)$$

Huomioita Fussell-Veselystä

- Tarkastellaan järjestelmää



- Minimikatkosjoukkoesitys

$$T = A + B \cdot C$$

- Fussell-Vesely ei erottele B :tä eikä C :tä vikaantumistn:ien avulla esitettynä

$$I_{FV}(B) = \frac{F - F_{B=1}}{F} = \frac{F - p(A)}{F} = I_{FV}(C)$$

- Toimintatodennäköisyyksien puolella

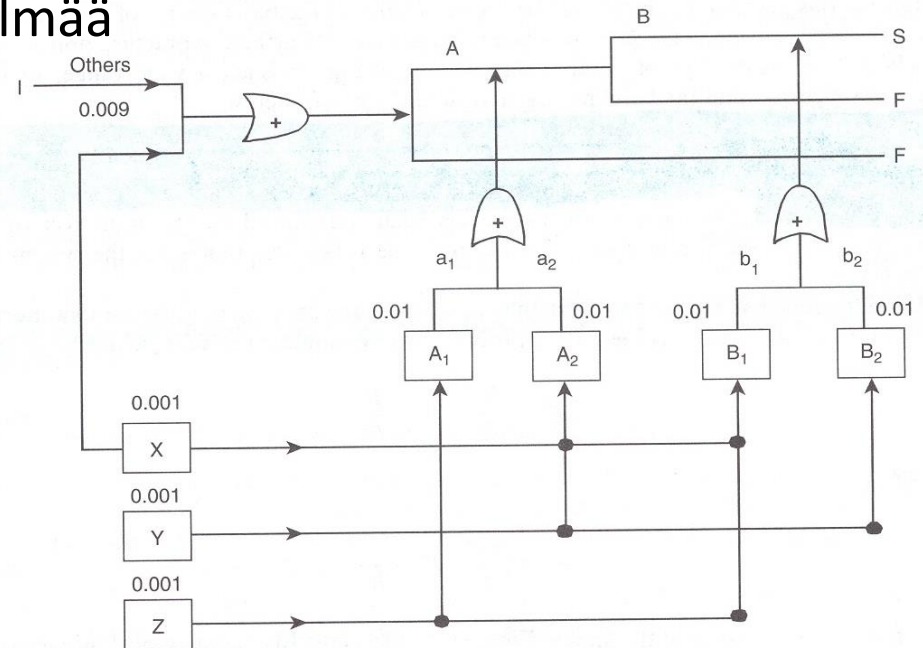
$$I_{FV}(B) = \frac{S - S_{B=0}}{S} = \frac{S - (1 - p(A))(1 - p(C))}{S} = 0.05$$

$$I_{FV}(C) = \frac{S - S_{C=0}}{S} = 0.0095$$

$$S = (1 - 0.001) \times (1 - 0.01 \times 0.05) = 0.999$$

Esimerkki riskimittojen käytöstä

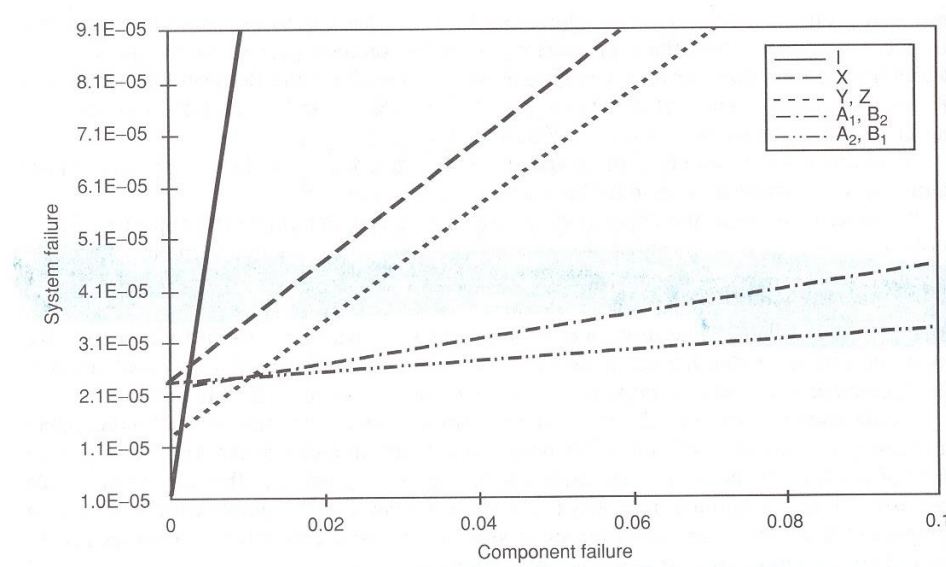
- Tarkastellaan seuraavaa järjestelmää



- Huomioita
 - Nuolenkärjet vastaavat AND-portteja
 - Perustapahtumia kaikkiaan $8 \Rightarrow 2^8$ vaihtoehtoista vikaantumisskenaariota
 - Näistä voidaan määrittää vikaantumis- ja toimintat:n: eri komponenttien tn:ien avulla

Riskitekijöiden vaikutus

- Miten yksittäisten komponenttien vikaantuminen vaikuttaa kokonaisriskiin?



- Tässä kaaviossa kunkin suoran kulmakerroin on Birnbaumin riskimitta
- y -akselin leikkauspiste kuvaa esityksen

$$R = aP + b$$

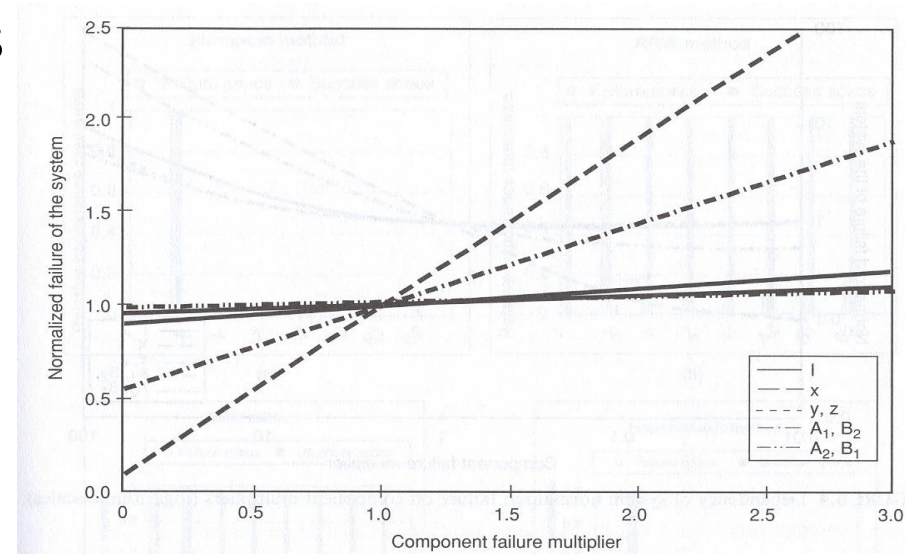
mukaista minimiriskitasoa

Suhteellisten muutosten merkitys

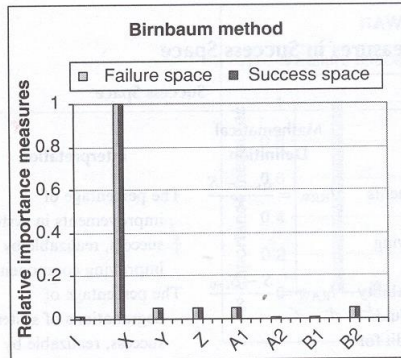
- Miten kokonaisriski muuttuu, jos komponenttien vikaantumistn:t muuttuvat suhteessa alkuperäisiin?
- Olkoon
 - R_b alkuperäinen kokonaisriski (baseline), R kokonaisriski
 - P' uuden ja aiemman komponenttiriskin suhde

$$R' = \frac{R}{R_b}, P' = \frac{P}{P_i}$$

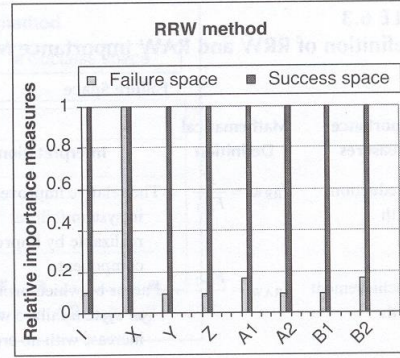
$$\Rightarrow R' = \frac{R}{R_b} = \frac{aP + b}{R_b} = \frac{aP_i}{R_b} P' + \frac{b}{R_b}$$



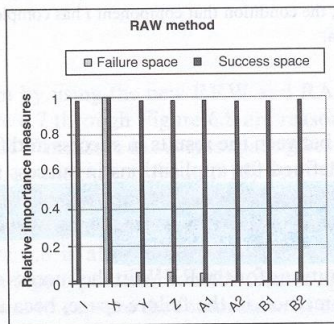
Eri riskimittojen tulokset



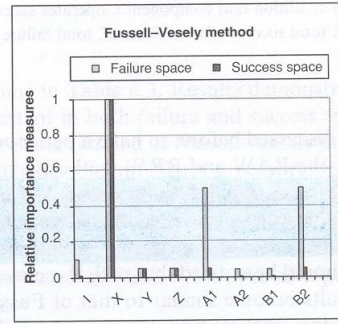
(a)



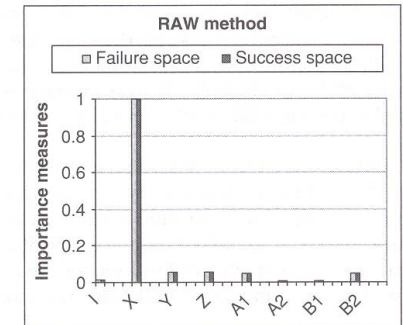
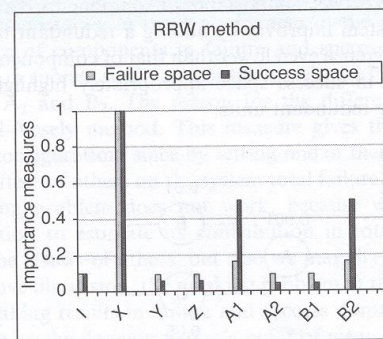
(b)



(c)



(d)

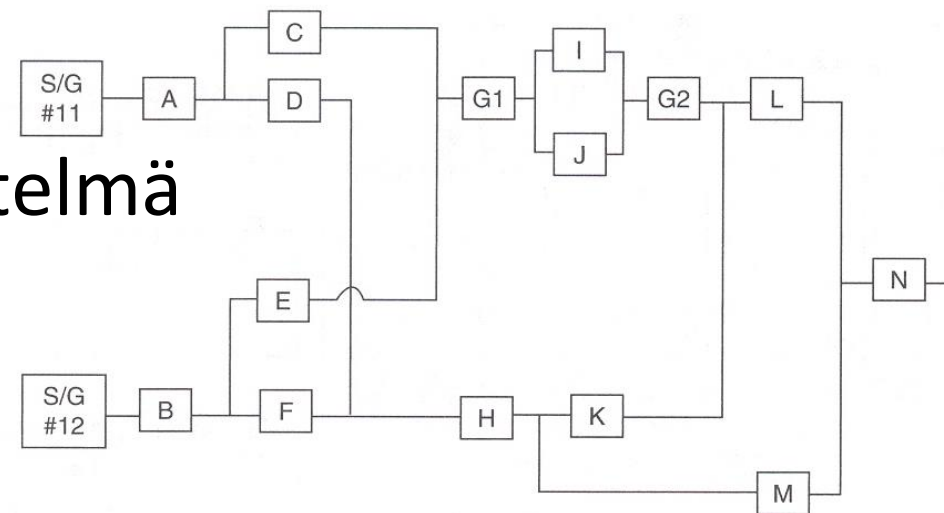


- Päivitetty RAW (ks. kalvo 16)

Riskimittojen määrittäminen simuloimalla

- Lähtökohta
 - Generoidaan otoksia, jossa kussakin suuri määrä realisaatioita
 - Kussakin otoksessa riskitekijöille voidaan määrittää niitä vastaavat riskimitat
 - » Esim. pakotetaan yksittäiset riskitekijät toimiviksi
 - Näin otosten pohjalta voidaan arvioida riskimittojen jakautumista

- Esim. vedensyöttöjärjestelmä



Vedensyöttöjärjestelmä (1/2)

Fussell–Vesely Rank Order of Components Using Monte Carlo Simulation

Block Name	Lognormal Distribution for Failure Rate λ		Frequency of Repair f_r	Average Test Duration T_I (h)	Average Repair Time T_R (h)	Test Interval T (h)	Block Name	Rank Order													
	Mean (μ)	SD (λ)						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	9.2×10^{-3}	0	5	720	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0.483	0.512	0.002	0.003	0	0
B	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	9.2×10^{-3}	0	5	720	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0.513	0.484	0.001	0.002	0	0
C	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0.069	0.434	0.423
D	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.003	0.429	0.418	0.076	0.073
E	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.075	0.074	0.422	0.428
F	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720	F	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	0.419	0.434	0.068	0.076
G (G1&G)	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	7.7×10^{-4}	0	15	720	G	0	0	0	0	0	0	0.261	0.739	0	0	0	0	0	0
H	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	1.8×10^{-4}	0	24	720	H	0	0	0	0	0	0	0.739	0.261	0	0	0	0	0	0
I	1×10^{-4}	5.0×10^{-5}	6.8×10^{-1}	2	36	720	I	0	0.011	0.095	0.645	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	1×10^{-4}	5.0×10^{-5}	6.8×10^{-1}	2	36	720	J	0	0	0.011	0.095	0.645	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0
K	1×10^{-5}	5.0×10^{-6}	5.5×10^{-1}	2	24	720	K	0	0.004	0.029	0.259	0.089	0.619	0	0	0	0	0	0	0	0
L	5×10^{-7}	2.5×10^{-7}	4.3×10^{-3}	0	10	720	L	0	0.224	0.68	0	0.012	0.084	0	0	0	0	0	0	0	0
M	3×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-1}	0	10	720	M	0.46	0.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	5.8×10^{-4}	0	5	720	N	0.54	0.221	0.185	0.001	0.005	0.047	0	0	0	0	0	0	0	0

- Millä t_n :llä komponentti X on i :nneksi tärkein?
 - Esim. N tärkein t_n :llä 0.54, 2. tärkein t_n :llä 0.221 jne.

Vedensyöttöjärjestelmä (2/2)

RAW-Based Rank-Order Monte Carlo Simulation Results

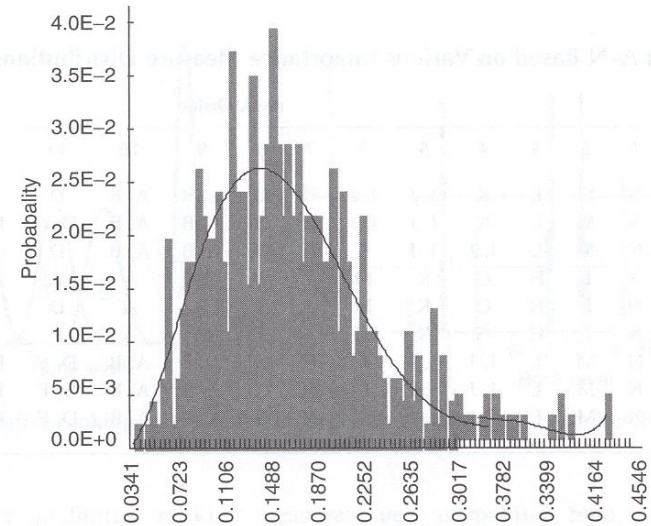
Block Name	Rank Order													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	0	0	0	0	0	0.004	0.091	0.129	0.387	0.389	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0.003	0.093	0.133	0.387	0.384	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.059	0.07	0.417	0.454
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0.434	0.076	0.05
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.054	0.07	0.433	0.443
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.447	0.425	0.075	0.053
G	0	0	0.087	0.913	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0.913	0.087	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0.086	0.359	0.323	0.114	0.118	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0.077	0.367	0.335	0.112	0.109	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0.741	0.253	0.004	0.002	0	0	0	0	0	0
L	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0.259	0.576	0.085	0.079	0	0	0	0	0	0
N	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLE 6.7

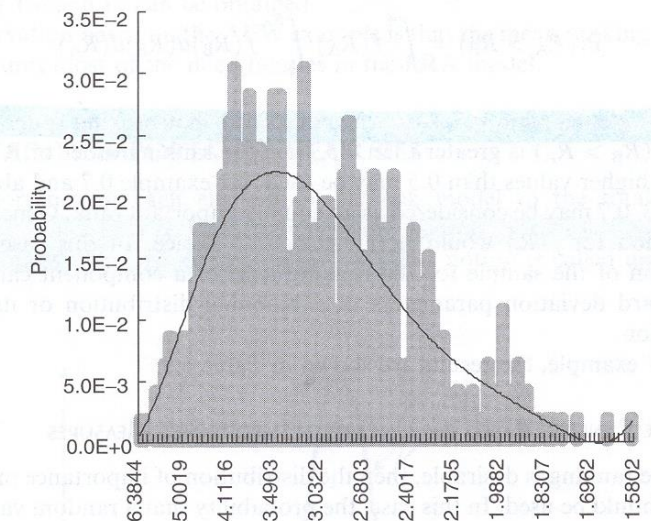
RRW-Based Rank-Order Monte Carlo Simulation Results

Block Name	Rank Order														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.571	0.424	0.002	0.002	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.425	0.572	0.001	0.002	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.094	0.06	0.575	0.27
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002	0.507	0.344	0.093	0.051
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.058	0.086	0.278	0.578
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	0.337	0.506	0.054	0.101
G	0	0	0	0	0	0	0.261	0.739	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0.739	0.261	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0.011	0.095	0.645	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0.011	0.095	0.645	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0.004	0.029	0.259	0.089	0.619	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0.224	0.68	0	0.012	0.084	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M	0.46	0.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0.54	0.221	0.185	0.001	0.005	0.047	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Riskimittojen absoluuttijakaumat



(a) Importance values



(b) Importance value

Importance measure distribution for block 1 of AFW systems. (a) FV and (b) RAW.

Riskimittajakaumat järjestyslukuilla

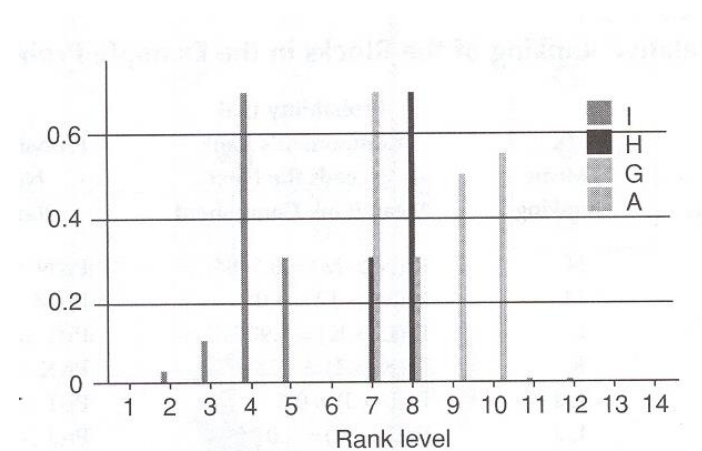
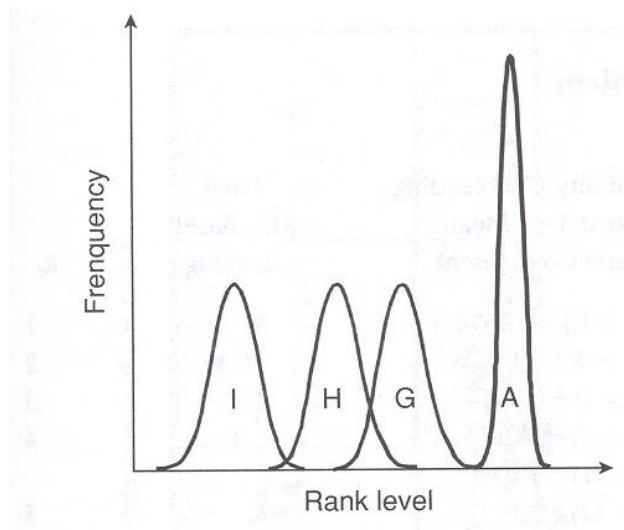


FIGURE 6.12 Relative ranking results based on order obtained from Fussell–Vesely.