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 monta riskitekijää tarkastellaan yhtä aikaa?

Riskien priorisointi vikapuissa

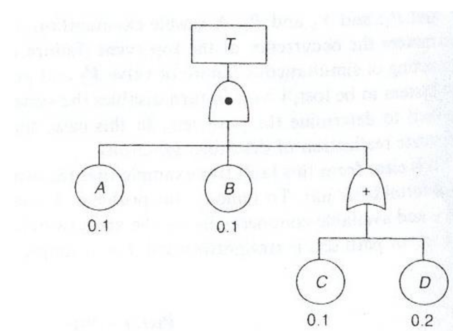
- Lähtökohtia
  - Vikapuuanalyysissä järjestelmän vikaantuminen voidaan esittää minimiskatkosjoukkojen loogisena summana
  - Jos kiinnostuksen kohteen on yksittäinen riskitekijä P, niin kokonaisriski voidaan esittää muodossa

$$R = aP + b$$

  - 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

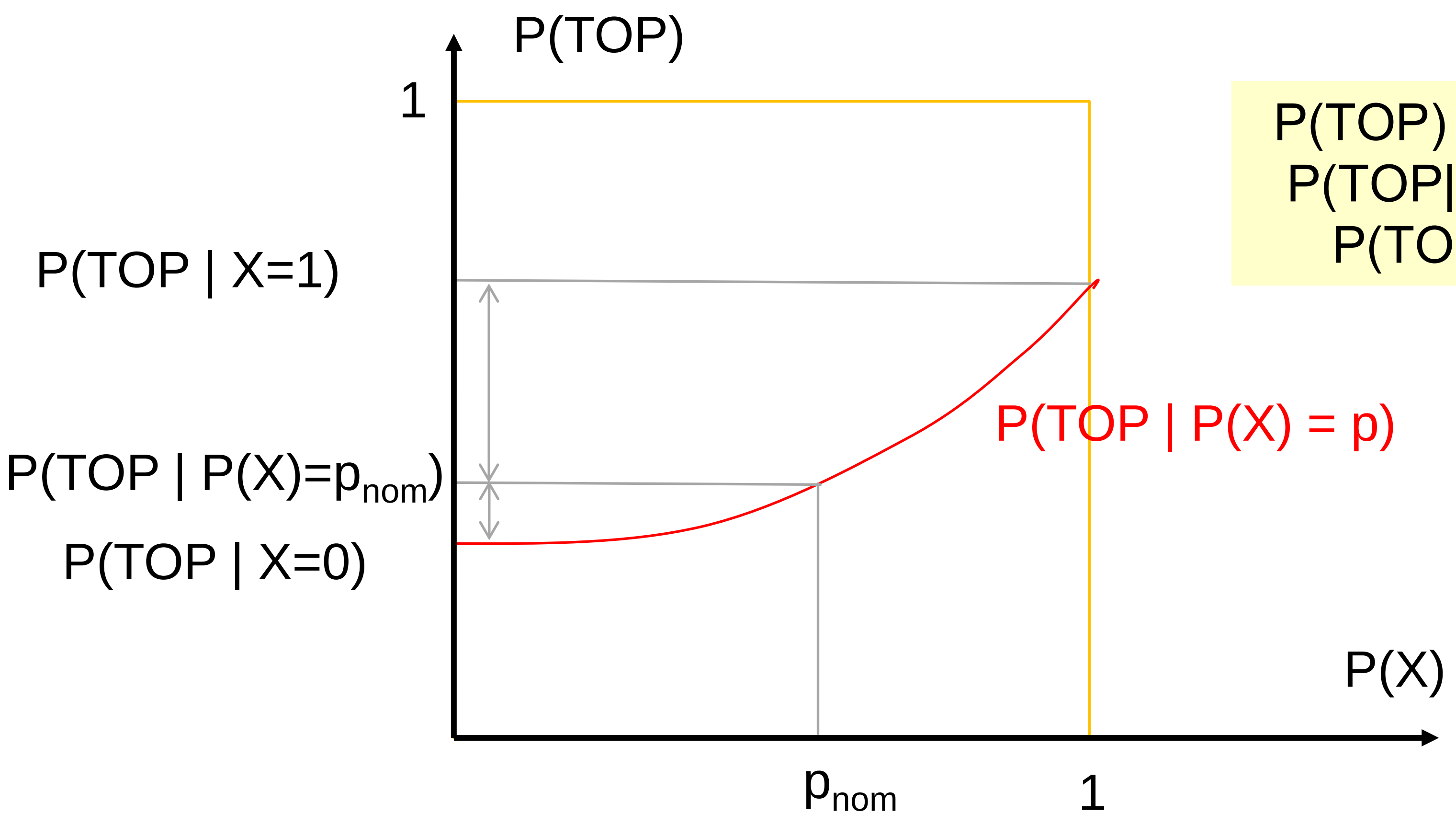
- Esim. vikapuun minimikatkosjoukkoesitys

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



  - Esim. C:tä vastaa

$$P \sim C$$
$$a \sim A \cdot B$$
$$b \sim A \cdot B \cdot D$$



P(TOP) $= R = aP + b$
P(TOP|X=1) $= a + b$
P(TOP|X=0) $= b$

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

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

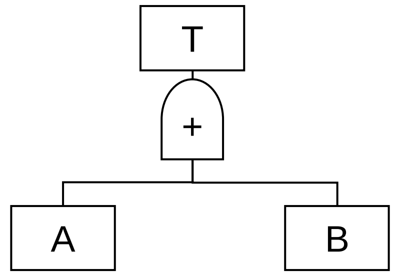
- Sama määritelmä toisin

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

  - 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

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

  - 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

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

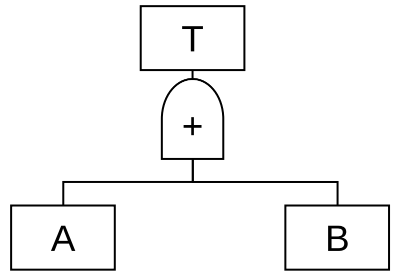
  - Muutoksia Birnbaumiin verrattuna
    - » Huomio perustapahtumien tn:t, mikä auttaa suuntaamaan huomion tärkeisiin perustapahtumiin
    - » Voidaan verrata myös saman perustapahtuman merkitystä eri vikapuissa (tilanteissa, joissa sama perustapahtuma on mukana monissa)
- Sama määritelmä toisin

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

  - Ts. Birnbaumia muunnetaan ottamalla huomioon perustapahtumien tn:t

Kriittinen tärkeys (2/2)

- Esim. yksinkertainen OR-vikapuu



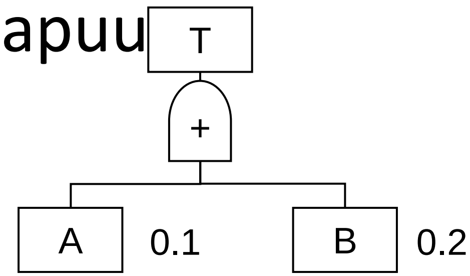
  - Jos A ja B ovat riippumattomia, niin
$$P(T) = P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$
$$= P(A) + P(B) - P(A)P(B) = 0.1 + 0.2 - 0.1 \times 0.2 = 0.28$$
  - Aiemmin laskettiin $I_B(A) = 0.8,\ \ I_B(B) = 0.9$
  - Kriittisiksi tärkeyksiksi saadaan
$$I_C(A) = \frac{I_B(A)P(A)}{P(T)} = \frac{0.8 \times 0.1}{0.28} = 0.2857$$
$$I_C(B) = \frac{I_B(B)P(B)}{P(T)} = \frac{0.9 \times 0.2}{0.28} = 0.6428$$
  - 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 tn:ien summa jaetaan huipputapahtuman tn:llä
  - Tämä on suunnilleen sama kuin
  $$I_{FV} \approx \frac{aP}{R}$$
  missä osoittajaa approksimoidaan sen sisältämien minimikatkosjoukkojen tn:ien summana (ts. tällöin ei huomioida sitä, että minimikatkosjoukot voivat leikata toisiaan)
  - Tarkka määritelmä voidaan esittää muodossa
  $$I_{FV}(A) = \frac{\sum_{\{MKJ_i | A \in MKJ_i\}} p(MKJ_i)}{p\left(\bigcup_i MKJ_i\right)}$$
- 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?

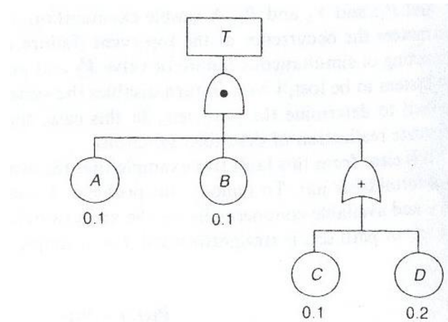
Huomioita riskimitoista

- 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 syitä 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 ⇒ $I_{RRW}(A) = I_{RRW}(B) = \infty$
  - Komponenttien C ja D osalta

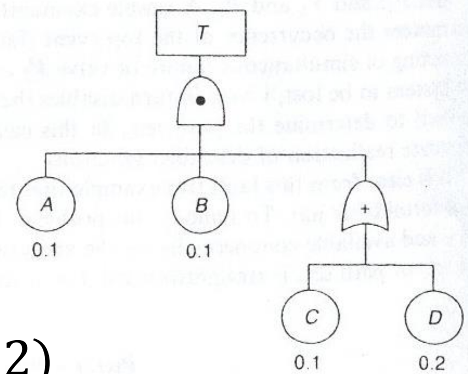
$$I_{RRW}(C) = \frac{0.1 \times 0.1 \times (0.1 + 0.2 - 0.1 \times 0.2)}{0.1 \times 0.1 \times 0.28} = \frac{0.28}{0.2} = 1.4$$

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

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 vioittuneet komponentit tulisi uusia 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

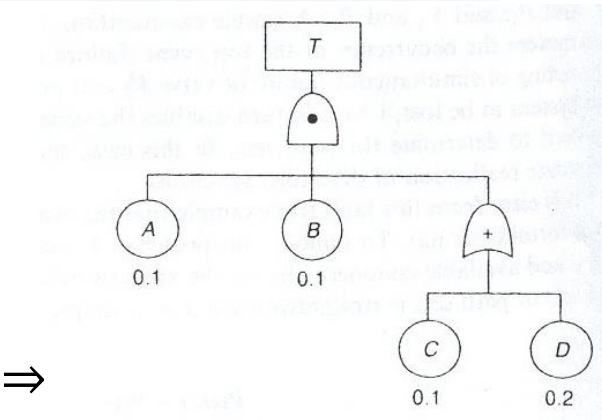
$$I_{RAW}(C) = I_{RAW}(C) = \frac{0.1 \times 0.1}{0.1 \times 0.1 \times 0.28} = 3.57$$

Vikaantumis- ja toiminta-tn ulottuvuudet

Importance Measures	Failure Space: Mathematical Definition	Failure Space: Interpretation	Success Space: Mathematical Definition	Success Space: 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

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

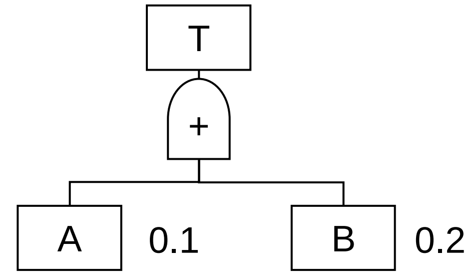
$$I_{RRW} = \frac{F}{F_{C=1}} = 1.4, I_{RAW} = \frac{F_{C=0}}{F} = 3.57, I_{FV} = \frac{F - F_{C=1}}{F} = 0.286$$

- Vastaavat toimintatodennäköisyydet

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

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

Lisää toiminta-tn-esimerkkejä



- Esim. sama OR-vikapuu
  - Nyt S-notaatiossa $A = 1$ 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	Success Space: Interpretation
Risk reduction worth	$I_{\text{RRW}} = \frac{S_{i=1} - S}{S}$	The percentage of improvements in system success, realizable by improving component i
Risk achievement worth	$I_{\text{RAW}} = \frac{S - S_{i=0}}{S}$	The percentage of degradations of system success, realizable by failure of component i

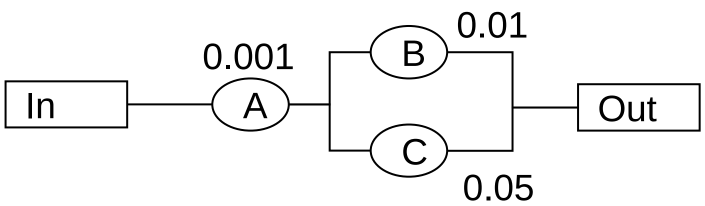
$$I_{RRW}(A) = \frac{S_{A=1} - S}{S} = \frac{0.8 - 0.72}{0.72} = 0.11$$

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

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

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

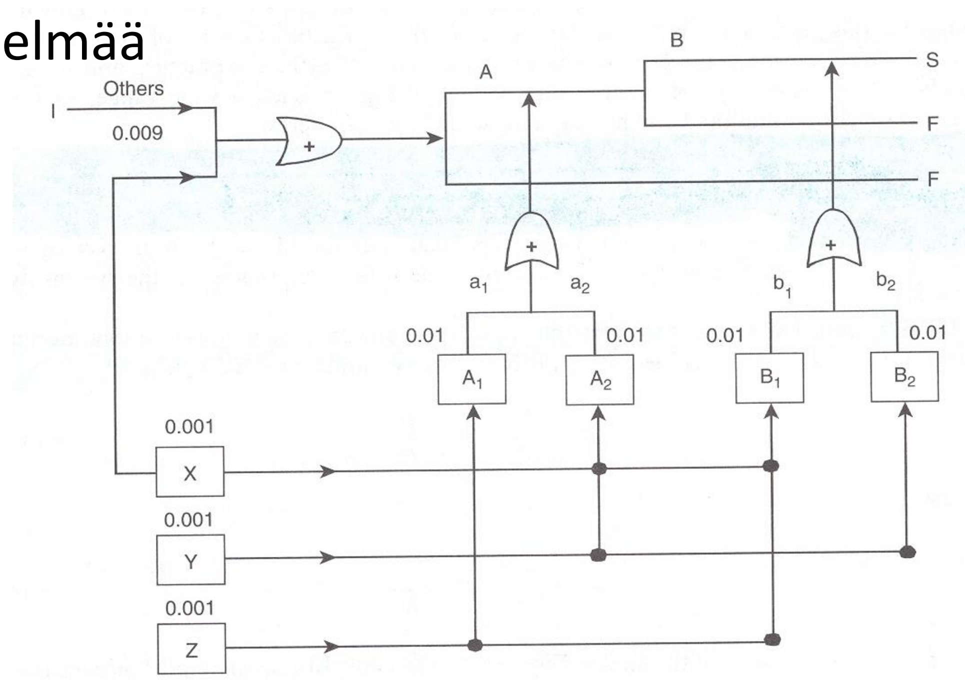
$$I_{FV}(B) = \frac{S - S_{B=0}}{S} = \frac{S - (1 - p(A))(1 - p(C))}{S} = 0.05$$

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

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

Esimerkki riskimittojen käytöstä

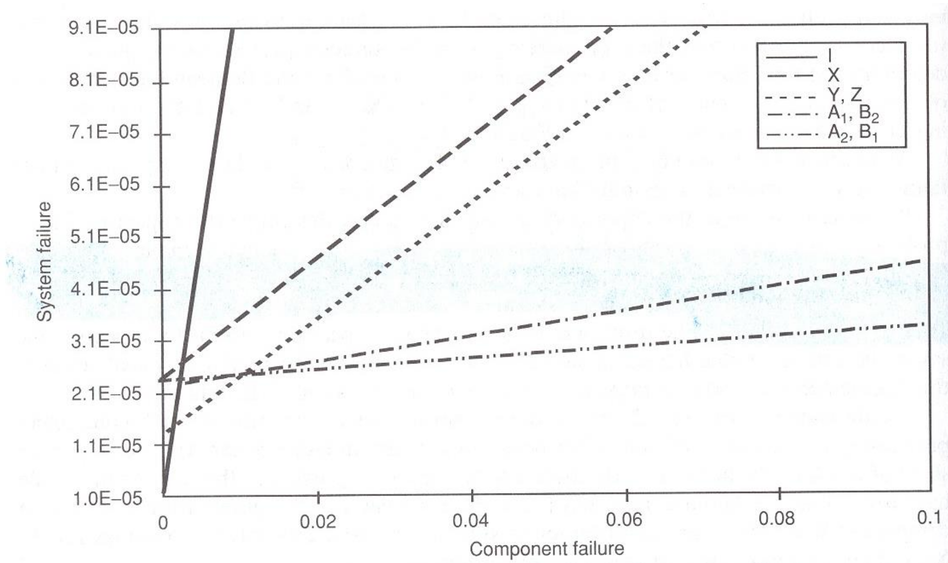
- Tarkastellaan seuraavaa järjestelmää



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

Riskitekijöiden vaikutus

- Miten yksittäisten komponenttien vikaantuminen vaikuttaa kokonaisriskiin?



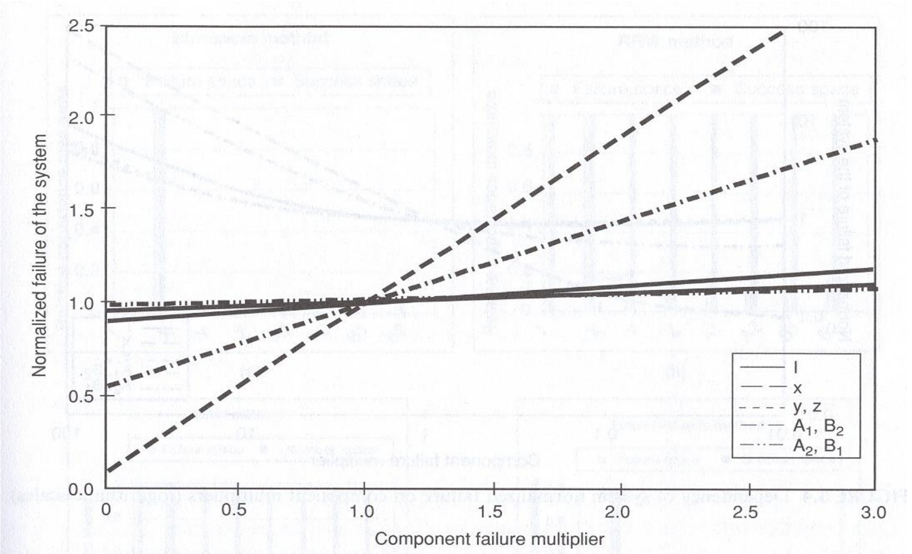
  - Tässä kaaviossa kunkin suoran kulmakerroin on Birnbaumin riskimitta
  - y-akselin leikkauspiste kuvaa esityksen

$$R = aP + b$$

mukaista minimiriskitasoa

Suhteellisten muutosten merkitys

- Miten kokonaisriski muuttuu, jos komponenttien vikaantumistn:t muuttuvat suhteessa alkuperäisiin?

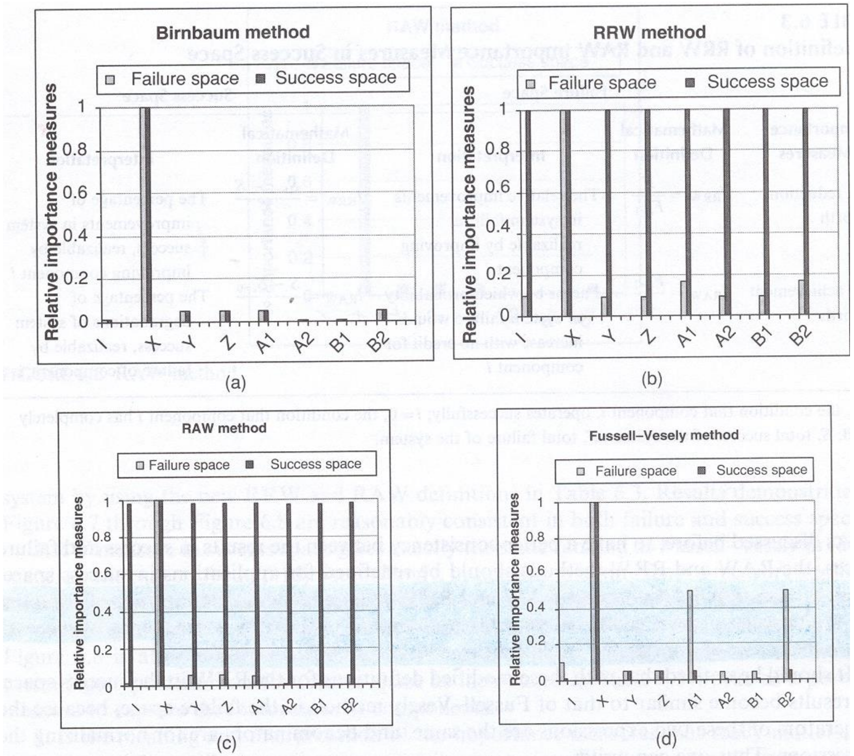


- Olkoon
  - R_b alkuperäinen kokonaisriski (baseline), R kokonaisriski
  - P' uuden ja aiemman komponenttiriskin suhde

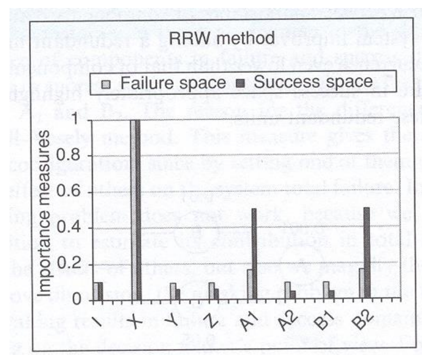
$$R' = \frac{R}{R_b}, P' = \frac{P}{P_i}$$

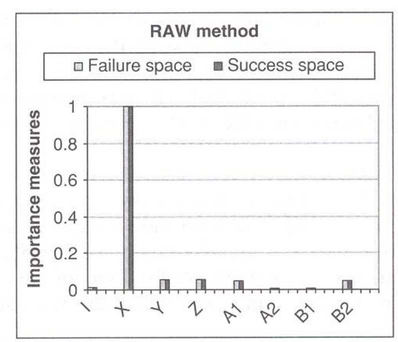
$$\Rightarrow R' = \frac{R}{R_b} = \frac{aP + b}{R_b} = \frac{aP_i}{R_b} P' + \frac{b}{R_b}$$

Eri riskimittojen tulokset



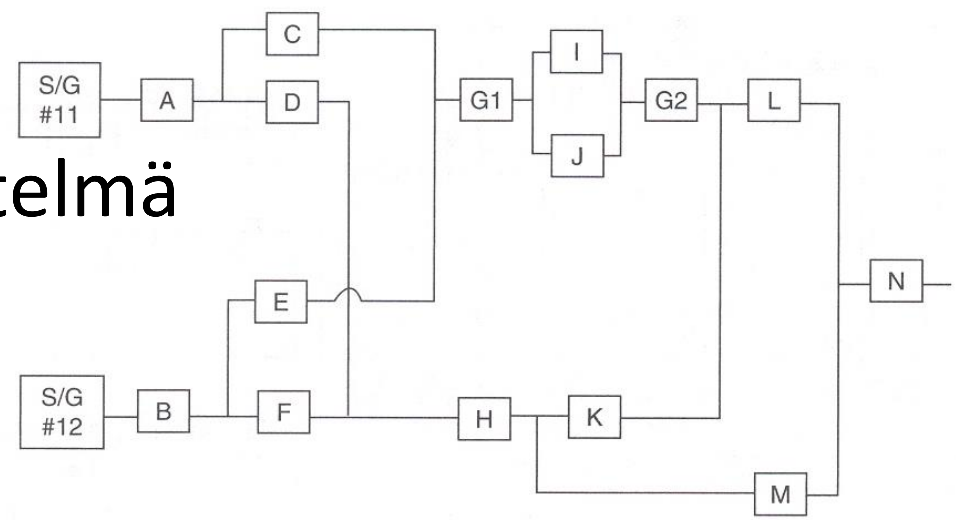
- Päivitetty RAW (ks. kalvo 16)





Riskimittojen määritys 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)

Block Name	Lognormal Distribution for Failure Rate λ Mean (μ)	SD (λ)	Frequency of Repair f_r	Average Test Duration T_t (h)	Average Repair Time T_R (h)	Test Interv T (h)
A	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	9.2×10^{-3}	0	5	720
B	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	9.2×10^{-3}	0	5	720
C	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
D	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
E	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
F	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
G (G1&G)	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	7.7×10^{-4}	0	15	720
H	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	1.8×10^{-4}	0	24	720
I	1×10^{-4}	5.0×10^{-5}	6.8×10^{-1}	2	36	720
J	1×10^{-4}	5.0×10^{-5}	6.8×10^{-1}	2	36	720
K	1×10^{-5}	5.0×10^{-6}	5.5×10^{-1}	2	24	720
L	5×10^{-7}	2.5×10^{-7}	4.3×10^{-3}	0	10	720
M	3×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-1}	0	10	720
N	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	5.8×10^{-4}	0	5	720

Fussell–Vesely Rank Order of Components Using Monte Carlo Simulation

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	0.483	**0.512**	0.002	0.003	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	**0.513**	**0.484**	0.001	0.002	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0.069	**0.434**	**0.423**
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.003	**0.429**	**0.418**	0.076	0.073
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.075	0.074	**0.422**	**0.428**
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	**0.419**	**0.434**	0.068	0.076
G	0	0	0	0	0	0	0.261	**0.739**	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	**0.739**	0.261	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
J	0	0	0.011	0.095	**0.645**	0.249	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
L	0	0.224	**0.68**	0	0.012	0.084	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
N	**0.54**	0.221	0.185	0.001	0.005	0.047	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Vedensyöttöjärjestelmä (2/2)

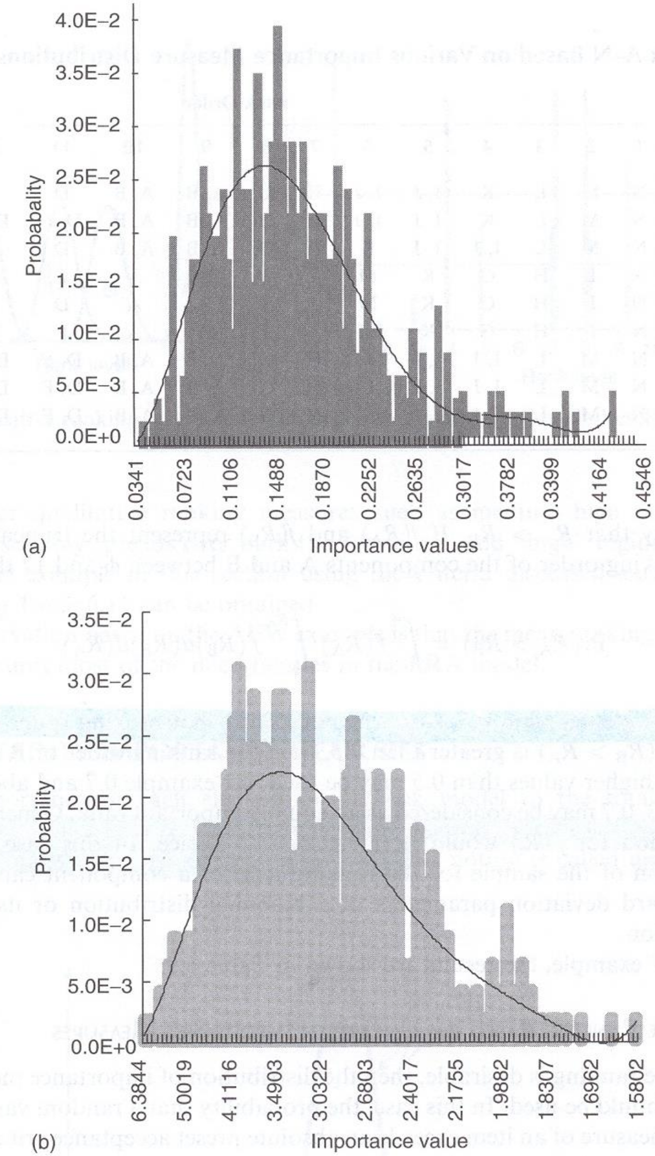
RAW-Based Rank-Order Monte Carlo Simulation Results

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	**0.571**	0.424	0.002	0.002	0	0
B	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	0.094	0.06	**0.575**	0.27
D	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	0.058	0.086	0.278	**0.578**
F	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
H	0	0	0	0	0	0	**0.739**	0.261	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
J	0	0	0.011	0.095	**0.645**	0.249	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
L	0	0.224	**0.68**	0	0.012	0.084	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
N	**0.54**	0.221	0.185	0.001	0.005	0.047	0	0	0	0	0	0	0	0

Riskimittojen absoluuttijakaumat



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

Riskimittajakaumat järjestysluvuilla

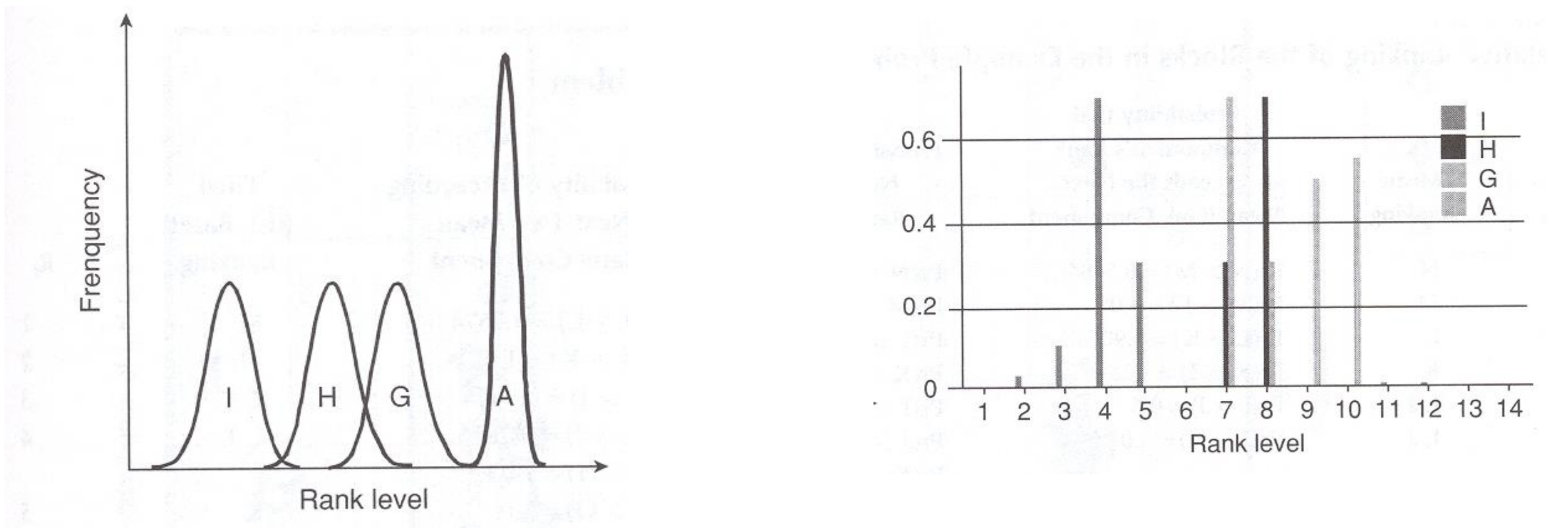


FIGURE 6.12 Relative ranking results based on order obtained from Fussell–Vesely.