



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Riskitärkeysmittojen laskeminen skenaarioanalyysissä (valmiin työn esittely)

Sami Härkönen

10.05.2021

Ohjaaja: DI *Juho Roponen*

Valvoja: Prof. *Ahti Salo*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta: Riskitärkeysmitat

- Riskitärkeysmitat auttavat tunnistamaan merkittävimmät haittatekijät, jotka vaikuttavat systeemin toimintaan ja turvallisuuteen eniten.
- Perinteisissä riskitärkeysmitoissa on rajoitteita, joiden vuoksi ne eivät sovellu kaikkiin tarkasteluihin.

Tausta: Riskitärkeysmitat

- Tavanomaisissa riskitärkeysmitoissa:
 - I. Komponenttien tilat yleensä luokitellaan binäärisesti joko toimiviksi tai vikaantuneiksi.
 - II. Keskitytään enimmäkseen yksittäisiin komponentteihin eikä juurikaan niiden yhteisvaikutuksiin.
 - III. Systemin kokonaistoimintaa tarkastellaan binäärisesti.

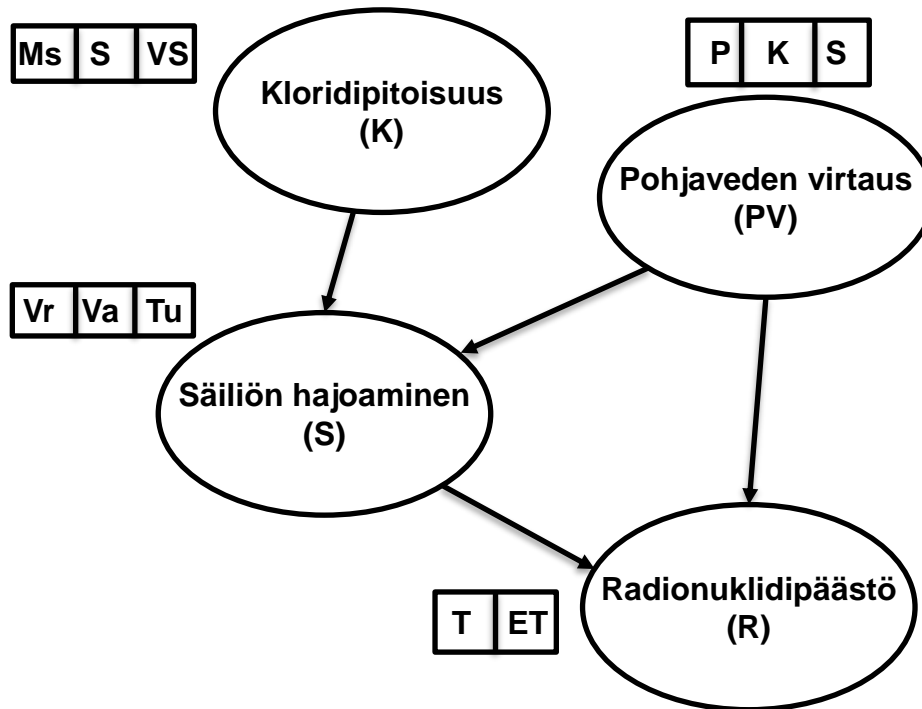
Tavoite

- Esitellä laajennuksia tavanomaisiin riskitärkeysmittoihin tarkastelemalla systeemeitä, joissa:
 - I. Komponenteilla voi olla useita erilaisia tiloja.
 - II. Systemi kuvataan Bayes-verkolla.
 - III. Systemin kokonaistoimintaa arvioidaan haittafunktiolla.

Tavoite

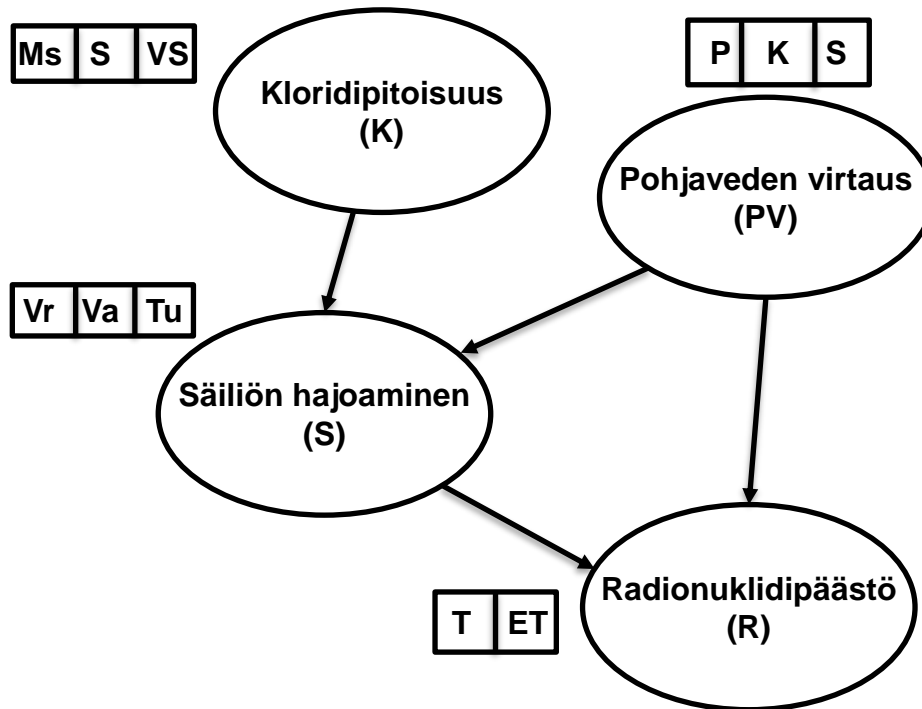
- Esitellä, kuinka skenaarioihin perustuen voidaan määritellä riskitärkeysmittoja, joilla voidaan tarkastella yksittäisiä komponentteja tai niiden yhdistelmiä.
- Soveltaa esiteltyjä menetelmiä maanpinnan lähellä sijaitsevaan ydinjätevarastoon.

Bayes-verkot ja skenaariot



- Verkkotodennäköisyysmalli, jossa solmut ovat satunnaismuuttujia.
- Solmujen väliset riippuvuudet esitetään suunnatuilla kaarilla.
- Bayes-verkot ovat yhtenäisiä ja syklittömiä.

Bayes-verkot ja skenaariot



- Skenaariot ovat komponenttien tilojen kokoelmia.
- Esimerkiksi skenaario (K_ms, PV_k,s) muodostuu kaikista niistä poluista, joissa *kloridipitoisuus* on tilassa “mieto suolaliuos” ja *pohjaveden virtaus* on joko tilassa “keskiverto” tai “suuri”.

Riskitärkeysmitat

Heikennyspotentiaali (*RAW, risk achievement worth*)

$$RAW(S) = \frac{E[U|S]}{E[U]}$$

- S : Tarkasteltava skenaario
- $E[U]$: Perustason riski

Parannuspotentiaali (*RRW, risk reduction worth*)

$$RRW(S) = \frac{E[U]}{E[U|\bar{S}]}$$

- \bar{S} : Skenaarion S komplementti

Riskitärkeysmitat

Birnbaum-tärkeysmitta (BI, *Birnbaum importance measure*)

$$BI(S) = E[U|S] - E[U|\bar{S}]$$

Kriittinen tärkeysmitta (CI, *critical importance*)

$$CI(S) = \frac{E[U|S] - E[U|\bar{S}]}{E[U]} p(S)$$

- $p(S)$: Skenaarion S todennäköisyys

Riskin osuus (RS, *risk share*)

$$RS(S) = \frac{E[U|S] p(S)}{E[U]}$$

Riskitärkeysmittojen laskeminen

x	RS(S)	RAW(S)	RRW(S)	CI(S)
RS(S)	x	$\frac{x}{p}$	$\frac{1-p}{1-x}$	$\frac{x-p}{1-p}$
RAW(S)	px	x	$\frac{1-p}{1-px}$	$\frac{p(x-1)}{1-p}$
RRW(S)	$\frac{x-(1-p)}{x}$	$\frac{x-(1-p)}{px}$	x	$\frac{x-1}{x}$
CI(S)	$p + x(1 - p)$	$\frac{p+(1-p)x}{p}$	$\frac{1}{1-x}$	x

- Riskitärkeysmittojen ja skenaariotodennäköisyyden väliset riippuvuudet

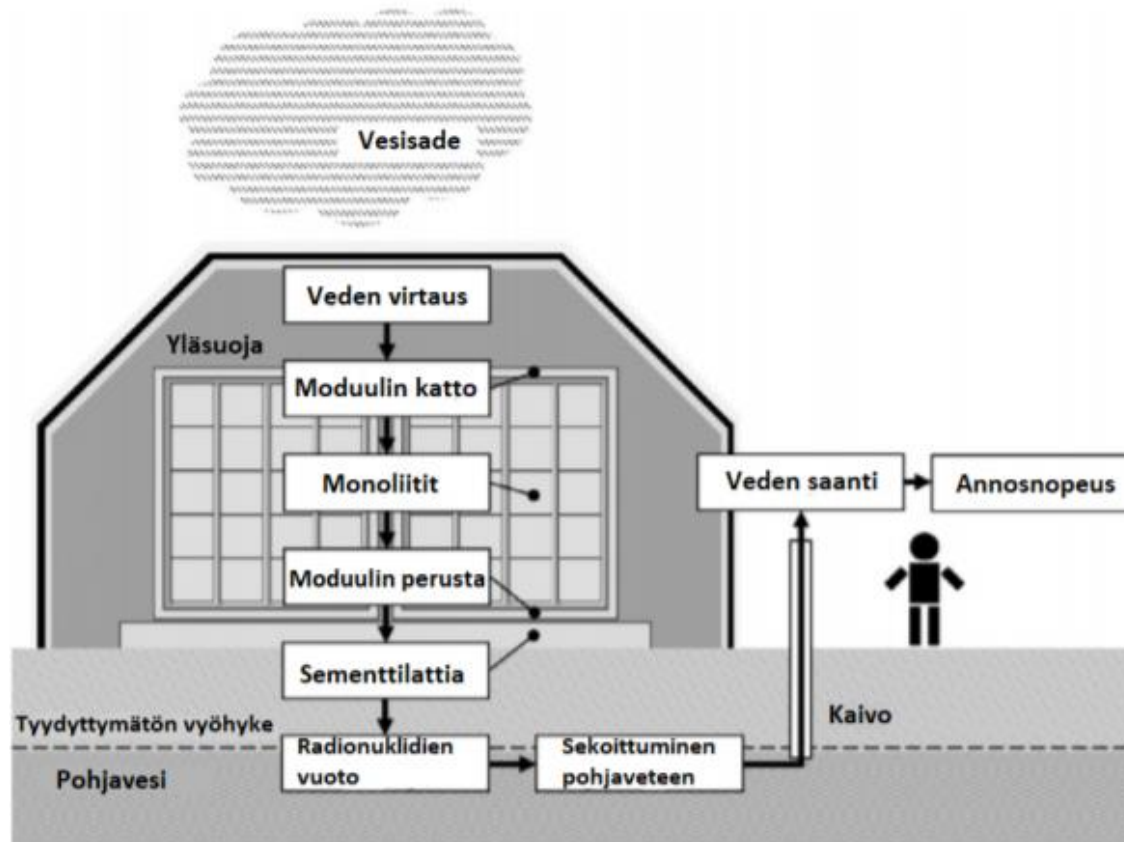
Riskitärkeysmittojen laskeminen

x	RS(\$)	RAW(\$)	RRW(\$)	CI(\$)
RS(\$)	x	$\frac{x}{p}$	$\frac{1-p}{1-x}$	$\frac{x-p}{1-p}$
RAW(\$)	px	x	$\frac{1-p}{1-xp}$	$\frac{p(x-1)}{1-p}$
RRW(\$)	$\frac{x-(1-p)}{x}$	$\frac{x-(1-p)}{px}$	x	$\frac{x-1}{x}$
CI(\$)	$p + x(1 - p)$	$\frac{p+(1-p)x}{p}$	$\frac{1}{1-x}$	x

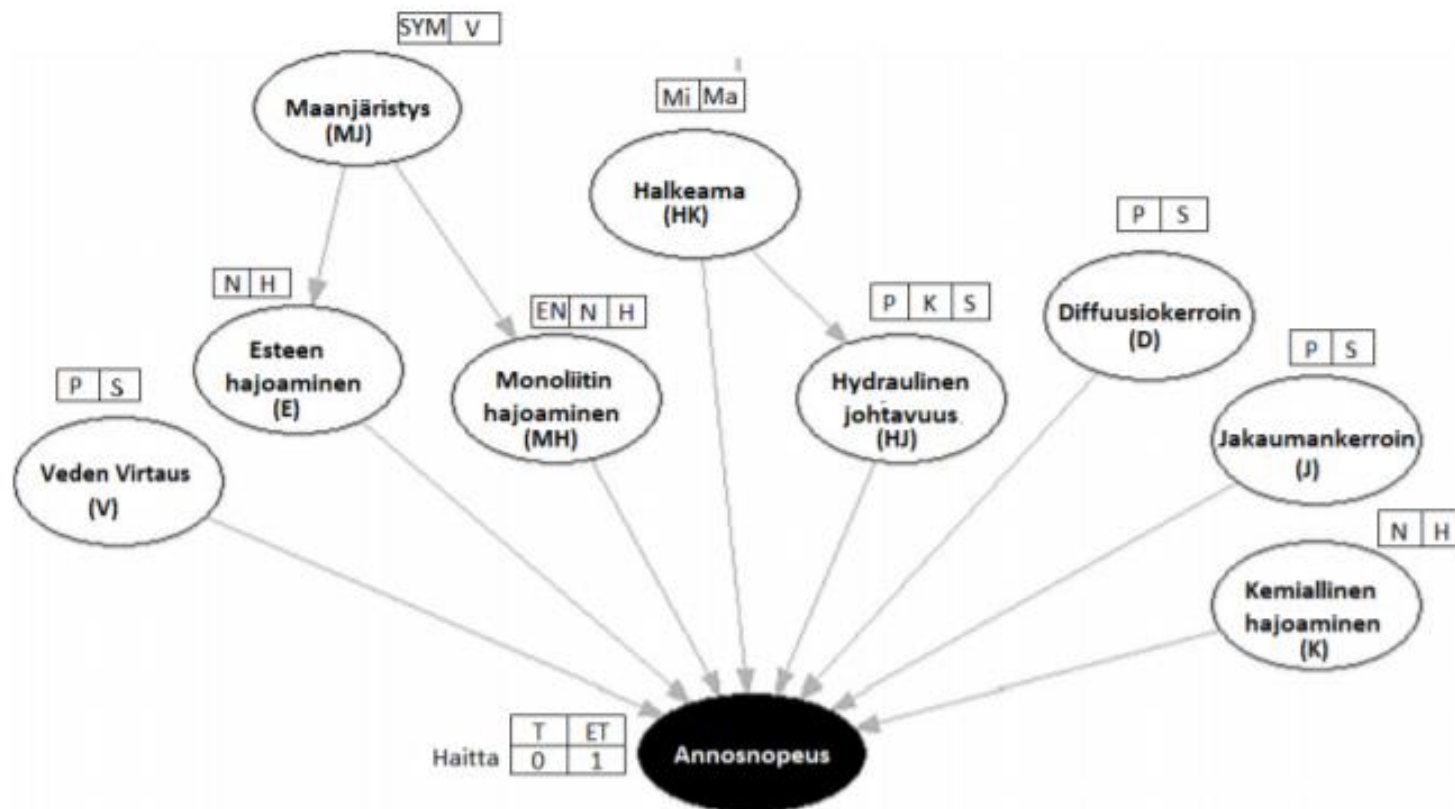
- BI-mitta on myös perustason riskin funktio

$$BI(\$) = E[\mathcal{U}] \frac{RS(\$) - p(\$)}{p(\$)(1 - p(\$))}$$

Ydinjätevarasto maanpinnan lähellä



Bayes-verkko ydinjätevarastolle

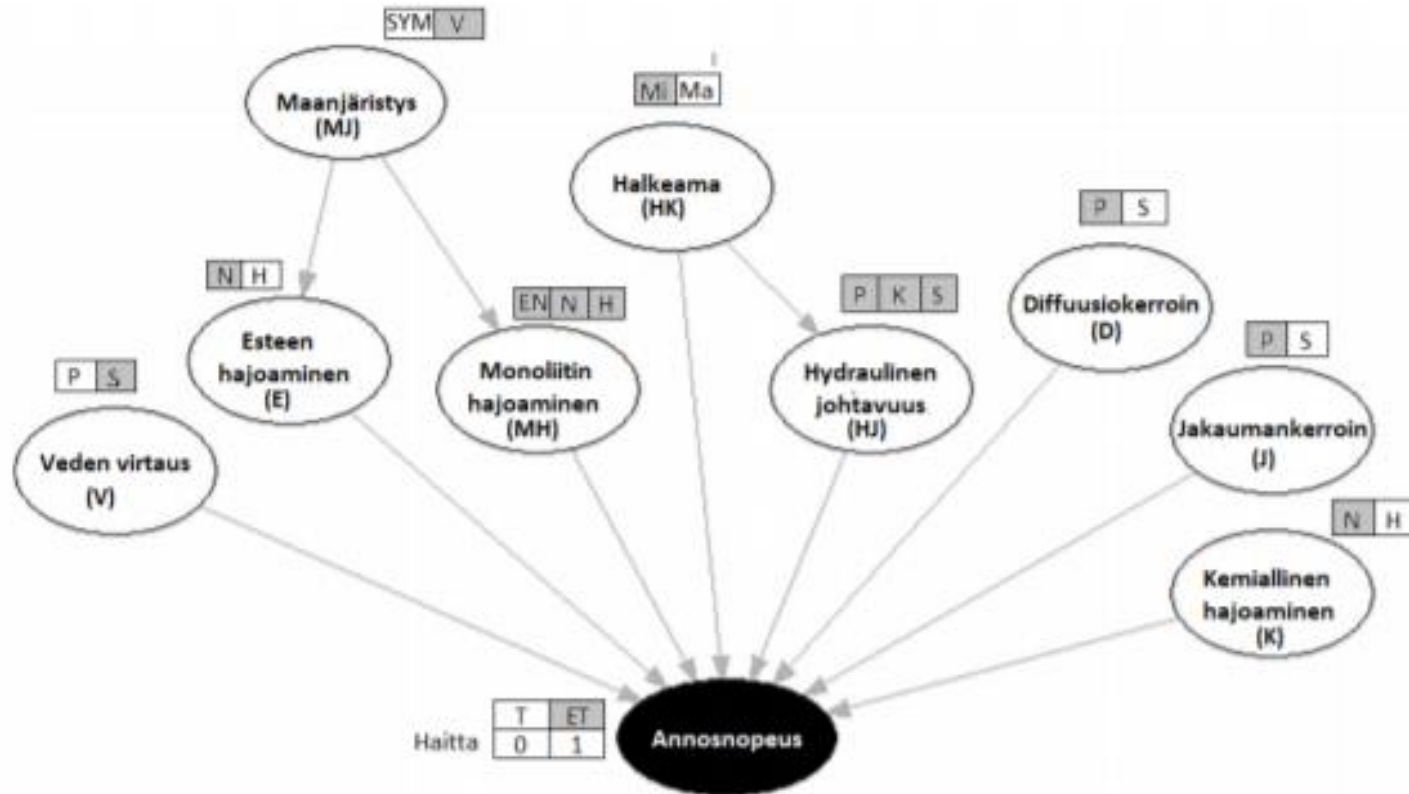


- Bayes-verkon turvallisuutta tarkastellaan *Annosnopeus* solmussa
- Annosnopeuden tiloille määritellään haitat: $T = 0$ ja $ET = 1$

Tilojen todennäköisyydet

Solmu	Vanhempi/Tilat	Tilat	<i>p</i>
1. Maanjäristys (MJ)		Suunnittelun ylittävä maanjäristys (SYM)	9.954E-01
		Valtava (V)	4.600E-03
2. Veden virtaus (V)		Pieni (P)	0.864
		Suuri (S)	0.136
3. Halkeama (HK)		Mikro (Mi)	0.807
		Makro (Ma)	0.193
4. Diffuusiokerroin (D)		Pieni (P)	0.5
		Suuri (S)	0.5
5. Jakaumankerroin (J)		Pieni (P)	0.5
		Suuri (S)	0.5
6. Kemiallinen hajoaminen (K)		Nopea (N)	0.5
		Hidas (H)	0.5
7. Esteen hajoaminen (E)	MJ/SYM	Nopea (N)	0.580
	MJ/SYM	Hidas (H)	0.942
	MJ/V	Nopea (N)	0.360
	MJ/V	Hidas (H)	0.640
8. Monoliitin hajoaminen (MH)	MJ/SYM	Erittäin nopea (EN)	0.295
	MJ/SYM	Nopea (N)	0.292
	MJ/SYM	Hidas (H)	0.413
	MJ/V	Erittäin nopea (EN)	0.295
	MJ/V	Nopea (N)	0.425
	MJ/V	Hidas (H)	0.280
9. Hydraulinen johtavuus (HJ)	HK/Mi	Pieni (P)	0.667
	HK/Mi	Keskiverto (K)	0.189
	HK/Mi	Suuri (S)	0.144
	HK/Ma	Pieni (P)	0.189
	HK/Ma	Keskiverto (K)	0.667
	HK/Ma	Suuri (S)	0.144

Tulokset: Yksittäisten komponenttien projisoidut skenaariot



- Harmaalla merkityt tilat kuvastavat projisoituja skenaarioita, jotka aiheuttavat häiriön *annosnopeudessa*

Tulokset: Riskitärkeysmittojen lukuarvot

Solmu	S	$p(S)$	RAW(S)	RRW(S)	RS(S)	CI(S)	BI(S)
Maanjäristys	MJ_V	0.0046	1.1577	1.0007	0.0054	0.0007336	0.027
Veden virtaus	V_S	0.1359	2.1983	1.2323	0.2987	0.1885	0.2362
Halkeama	HK_{Mi}	0.8074	1.1675	3.3556	0.9426	0.702	0.1481
Diffuusiokerroin	D_P	0.5	1.0696	1.0748	0.5348	0.0696	0.0237
Jakaumankerroin	J_P	0.5	1.8209	5.5819	0.9104	0.8209	0.2796
Kemiallinen hajoaminen	K_N	0.5	1.019	1.0193	0.5095	0.019	0.0065
Esteen hajoaminen	E_N	0.0594	1.6724	1.0443	0.0993	0.0425	0.1217
Monoliitin hajoaminen	MH_H	0.4124	1.3804	1.3642	0.5693	0.267	0.1103
	$MH_{N,H}$	0.705	1.1743	1.7136	0.8278	0.4164	0.1006
	MH_{EN}	0.7074	1.0481	1.1316	0.7414	0.1163	0.028
Hydraulinen johtavuus	HJ_P	0.5749	1.0949	1.1472	0.6294	0.1283	0.038
	$HJ_{P,S}$	0.7191	1.0746	1.236	0.7727	0.191	0.0452
	$HJ_{P,K}$	0.8558	1.0011	1.0063	0.8567	0.0063	0.0013

- Systemin kaikkien solmujen projisoidut skenaariot, jotka aiheuttavat häiriön *annosnopeudessa*

Tulokset: Komponenttiyhdistelmän projisoidut skenaariot

Skenaario (S)	$p(S)$	RAW(S)	RRW(S)	RS(S)	CI(S)	BI(S)
(V_S, HK_{Mi}, J_P)	0.05487	4.07365	1.2172	0.22352	0.17844	0.5583
$(V_S, HK_{Mi, Ma}, J_P)$	0.06796	3.54423	1.22777	0.24087	0.18551	0.46487
$(V_S, HK_{Mi}, J_{P,S})$	0.10974	2.53253	1.23291	0.27792	0.18891	0.10974
$(V_S, HK_{Mi, Ma}, J_{P,S})$	0.13592	2.19826	1.23227	0.29879	0.18849	0.23616
$(V_{P,S}, HK_{Mi}, J_P)$	0.40369	2.14078	4.39172	0.86422	0.7723	0.32579
(V_P, HK_{Mi}, J_P)	0.34882	1.83673	1.81233	0.6407	0.44822	0.21883
$(V_{P,S}, HK_{Mi, Ma}, J_P)$	0.5	1.82085	5.58192	0.91043	0.82085	0.27958
$(V_P, HK_{Mi, Ma}, J_P)$	0.43204	1.54976	1.71879	0.66956	0.41819	0.16484
(V_S, HK_{Ma}, J_P)	0.01309	1.32499	1.00433	0.01734	0.00431	0.05608
$(V_{P,S}, HK_{Mi}, J_{P,S})$	0.80739	1.16747	3.35561	0.9426	0.70199	0.14807

- Kolmen komponentin (V, HK, J) kaikki skenaariot, jotka aiheuttavat häiriön *annosnopeudessa*

Yhteenveto

- Konventionaalisissa riskitärkeysmitoissa on rajoitteita
- Skenaariorakenteen avulla voidaan määritellä laajennuksia riskitärkeysmitoihin, joilla voidaan tarkastella yksittäisiä komponentteja tai niiden yhdistelmiä
- Skenaarioiden määrä kasvaa suureksi jo hyvinkin pienillä Bayes-verkoilla

Tietolähteet ja aineistot

- A. Salo, E. Tosoni, ja E. Zio. Measures of risk importance for probabilistic scenario analysis. Käsikirjoitus
- E. Tosoni, A. Salo, J. Govaerts, ja E. Zio. Comprehensiveness of scenarios in the safety assessment of nuclear waste repositories. Reliability Engineering & System Safety, 188:561-573, 2019
- E. Tosoni, A. Salo, J. Govaerts, ja E. Zio. Definition of the data for comprehensiveness in scenario analysis of near-surface nuclear waste repositories. Data in Brief, 31:105780, 2020