



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Monimutkaisten järjestelmien toimintavarmuuden parantaminen

22.11.2012 | Jussi Kangaspunta ja Ahti Salo

Taustaa

- Yhteiskunnan turvallisuusstrategia ja elintärkeiden toimintojen turvaaminen
 - Esim. myrskyjen aiheuttamat häiriöt sähkönsiirtoverkkoihin
 - Optimoidut järjestelmät voivat olla häiriöalttiimpia (vrt. toimintojen keskittäminen)
- Kuljetustoimintojen turvaaminen normaali- ja häiriötilanteissa
 - LOGHU3-hanke: kuljetuslogistiikan huoltovarmuuden haavoittuvuus
- Resurssien jako terrorismin vastaisessa riskienhallinnassa
 - Center for Risk and Economic Analysis of Terrorism Events (CREATE)
- Aiemmissä tarkasteluissa ei ole systemaattisesti mallinnettu häiriövaikutuksia verkostoissa

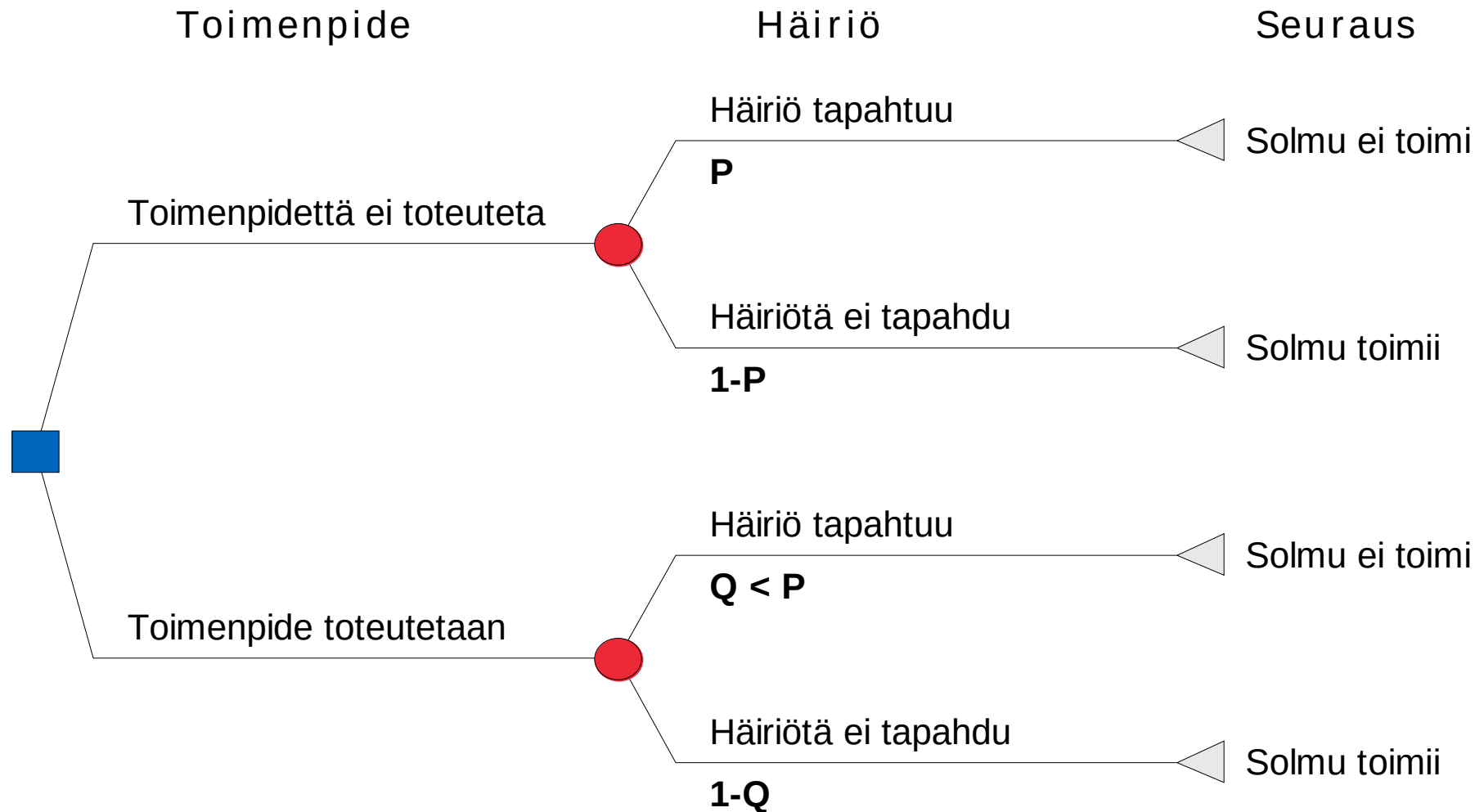
Tutkimuksen tavoitteet

- Miten kuljetusverkostoa voidaan kuvata tarkoituksenmukaisesti, jotta häiriötilanteisiin pystytään varautumaan?
 - Verkoston rakenteellisten riippuvuudet otettava huomioon
- Mitkä ovat verkoston toiminnan kannalta tärkeimmät solmukohdat ja näiden väliset yhteydet?
 - Solmujen häiriöt alentavat kuljetusverkoston toimintakykyä
- Mitkä verkoston toimintakykyä ylläpitävät toimenpiteet ja niiden yhdistelmät (portfoliot) ovat kustannustehokkaita?
 - Toimenpiteistä aiheutuu kustannuksia
 - Kustannustehokkaat portfoliot ylläpitävät toimintakykyä eniten

Mallintamisperiaatteet

- Kuljetusverkosto esitetään solmuina ja näitä yhdistävinä kaarina
 - Solmuja esimerkiksi satamat ja logistiikkakeskukset
 - Kaaria esimerkiksi laivaväylät ja rautatieyhteydet
- Uhkaskenaariossa on mahdollista, että yhden tai useamman verkoston solmun toiminta häiriintyy
 - Esim. vakava tieliikenneonnettomuus Turun moottoritiellä tai laajamittainen öljyonnettomuus Suomenlahdella
 - Jos väylä ei ole käytettävissä, niin kuljetukset ohjattava muuta kautta
- Uhkaskenaarioihin voidaan varautua toimenpiteillä, jotka alentavat skenaarion tai häiriön todennäköisyyttä
 - Esim. tulvariskejä ennaltaehkäisevät tekoaltaat

Häiriövaikutukset yksittäisissä solmuissa



D. Kleinmuntz, Resource Allocation Models for Terrorism Risk Management, 2008 INFORMS Conference on OR/MS Practice

Uhkaskenaarit

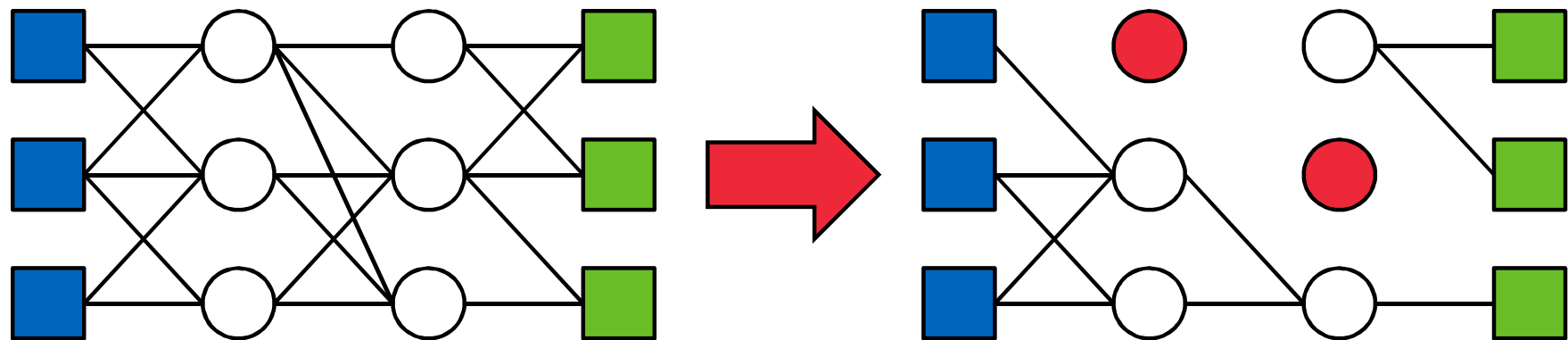
- Uhkaskenariossa useat eri solmut voivat olla yhtä aikaa uhattuna eri todennäköisyyksillä
 - Vrt. ympäristöuhkat ja luonnon ääri-ilmiöt
 - Häiriöiden todennäköisyydet ehdollisia sille, että skenaario toteutuu

	Häiriön todennäköisyys					
	1	2	3	4	5	6
Tehdaspalo	-	1.00	-	-	-	-
Öljyonnettomuus	-	-	0.50	0.50	-	-
Syysmyrsky	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

- Häiriöiden toteutumisesta voidaan tehdä erilaisia riippuvuusoletuksia
 - Vrt. häiriöt maantieteellisesti lähekkäin olevissa solmuissa

Häiriövaikutusten arviointi 1/2

- Jos häiriö tapahtuu, niin yhteydet muihin solmuihin katkeaa
 - Useiden solmujen yhtäaikaista häiriötä mahdollisia
- Yksittäisen solmun häiriön vaikutukset riippuvat myös muiden solmujen mahdollisista häiriöistä
 - ➔ On arvioitava häiriöyhdistelmien vaikutuksia

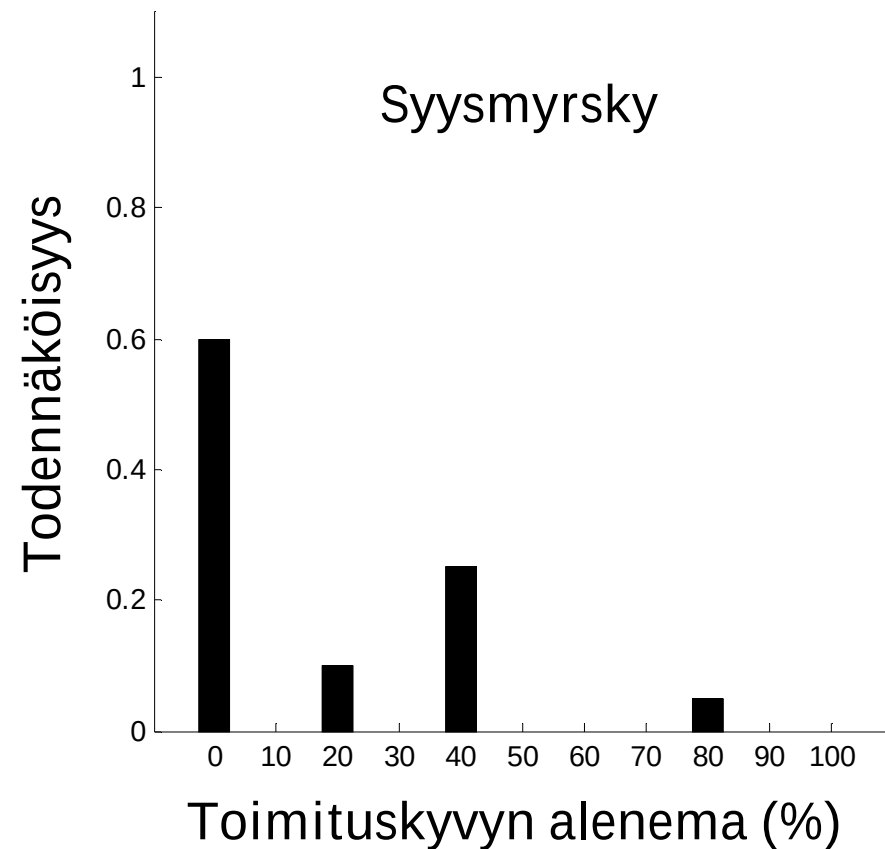
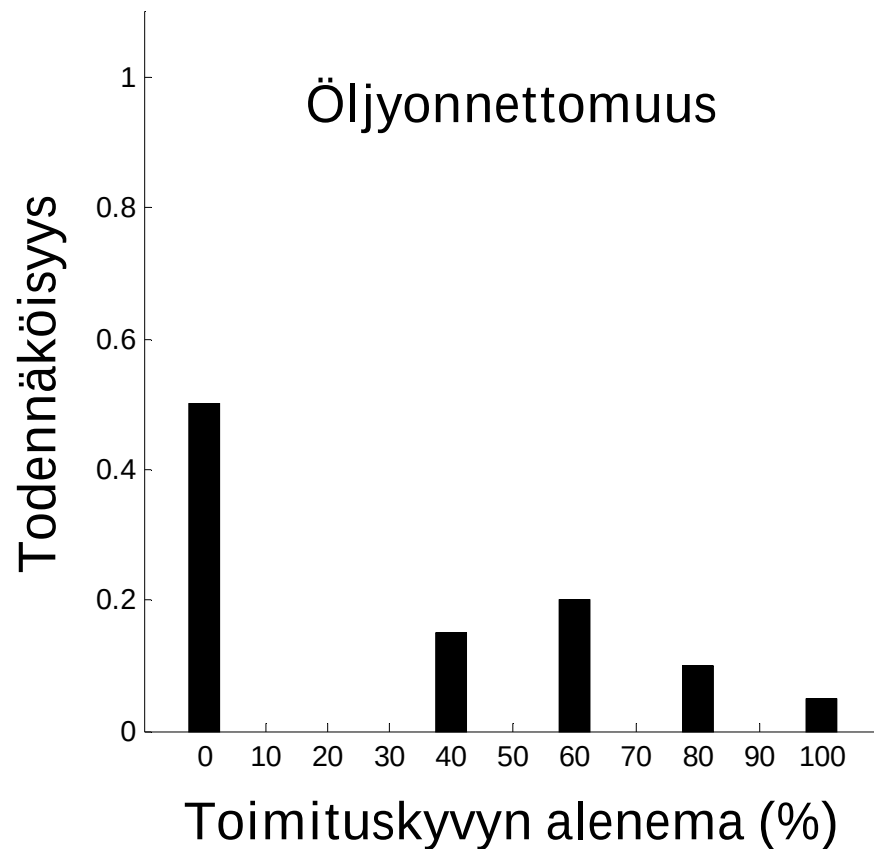


Häiriövaikutusten arviointi 2/2

- Verkoston muutokset ja solmujen menettäminen aiheuttavat taloudellisia ja muita tappioita
 - Esim. toimitusajat pitenevät ja kuljetuskaluston tarve kasvaa
- Kokonaisvaikutukset riippuvat siitä, mitä solmuja on menetetty
 - Eri häiriöyhdistelmät voivat aiheuttaa samoja vaikutuksia
- Kuinka paljon verkoston toimintakyky alenee, jos kuljetusyhteyttä kahden solmun välillä ei ole?
 - Esim. miten paljon pystytään kuljettamaan viikon aikana satamista huoltokeskuksiin?

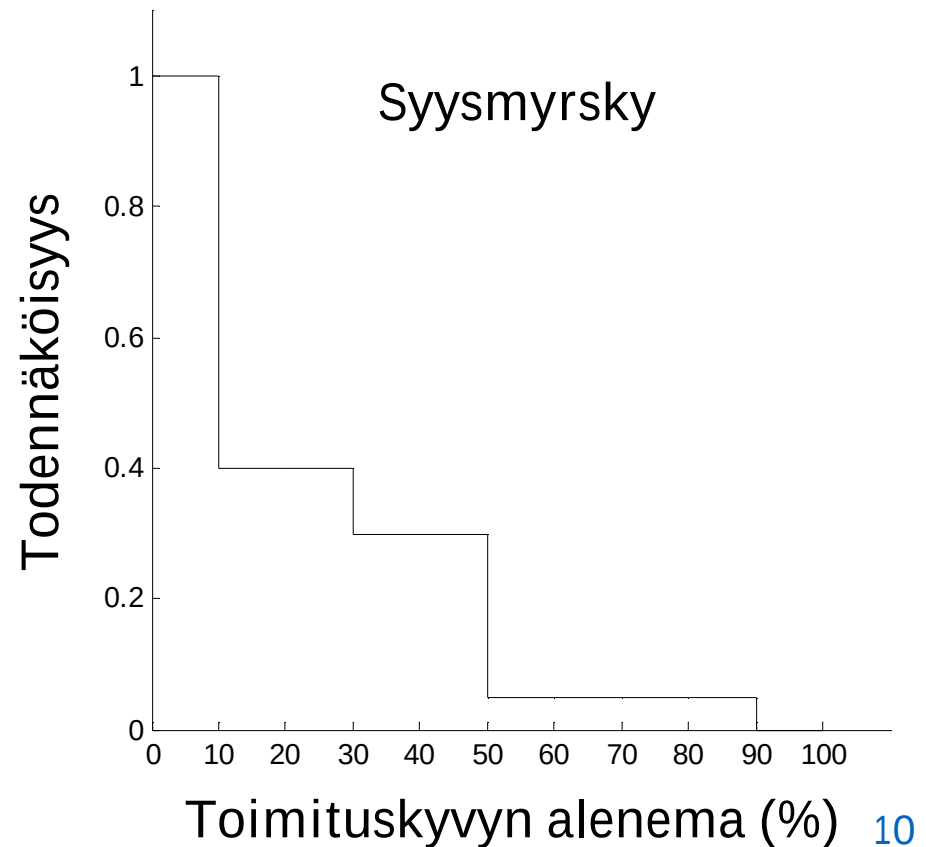
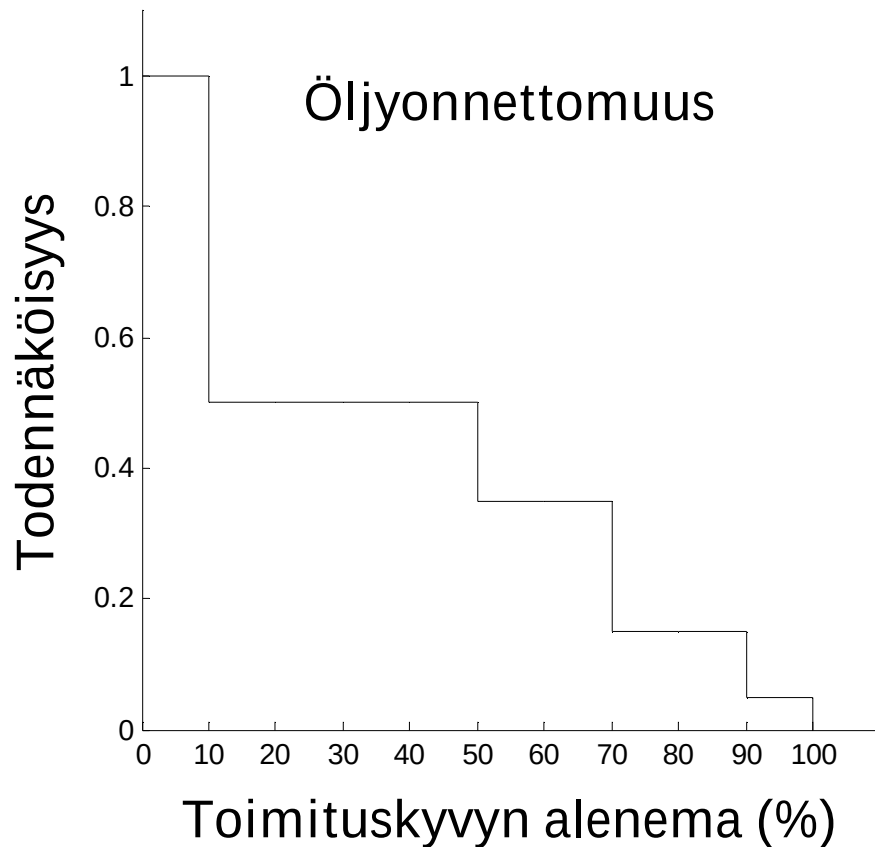
Häiriövaikutukset eri uhkaskenaarioissa

- Häiriöistä aiheutuvat toimituskyvyn alenemat skenaariokohtaisia



Häiriövaikutusten Farmerin käyrät

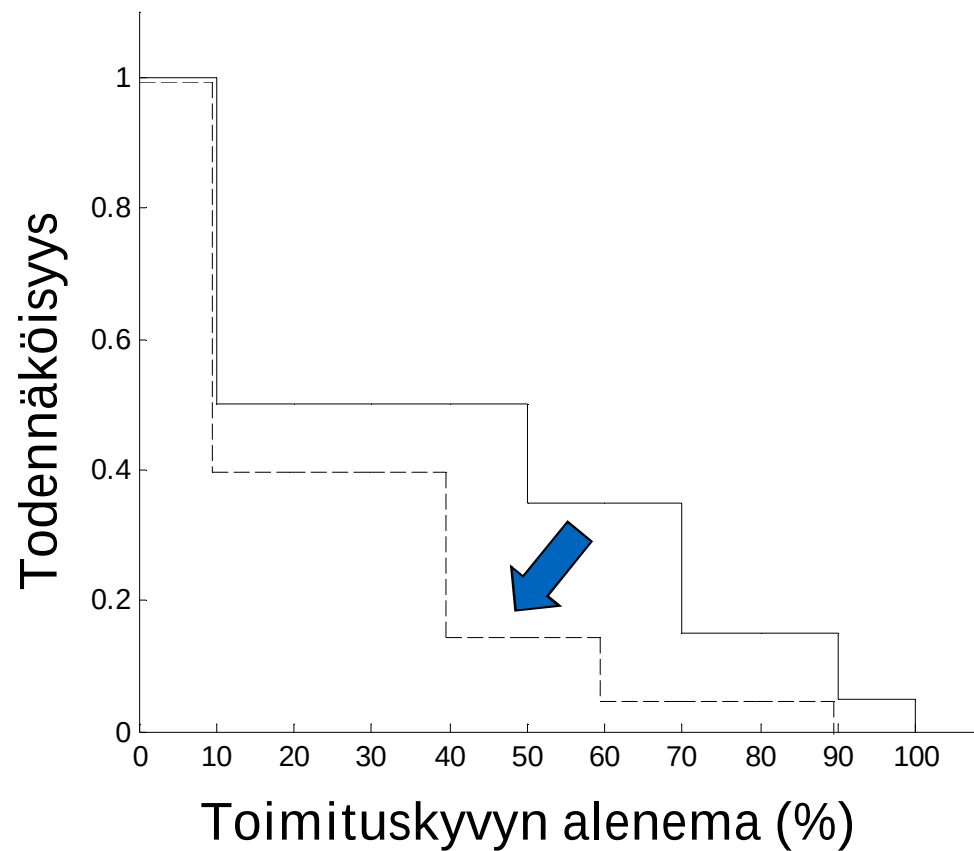
- Farmerin käyrät kuvastavat todennäköisyyttä, jolla verkoston toimituskyky alenee yli annetun tason
 - Esim. toimituskyky alenee 5% todennäköisyydellä enemmän kuin 50%



10

Toimenpiteiden vaikuttavuus

- Toimenpiteet pienentävät solmujen häiriötodennäköisyyksiä, jolloin Farmerin käyrät siirtyvät ”läemmäksi origoa”



Kustannustehokkaat toimenpideportfoliot

- Toimenpideportfolio koostuu useista häiriötodennäköisyyksiä alentavista toimenpiteistä
 - Mitkä toimenpiteet kannattaa toteuttaa?
- Malliin voidaan tuoda erilaisia riskirajoituksia
 - Esim. todennäköisyys sille, että toimintakyky alenee yli 80% pitää olla alle 5%
- Portfolio ei ole kustannustehokas, jos jokin toinen portfolio pienentää enemmän häiriövaikutusten todennäköisyyksiä eikä maksa enempää
 - Lisäksi kustannustehokkaiden portfolioiden on toteutettava asetetut riskirajoitukset

Laskennallisia haasteita

- Yhdistelmien lukumäärä suhteessa verkoston kokoon
 - Häiriöyhdistelmiä $2^{\text{solmujen lukumäärä}}$
 - Toimenpideportfolioita $3^{\text{solmujen lukumäärä}}$, jos kaksi mahdollista toimenpidettä eri solmuihin
(so. toimenpide 1, toimenpide 2 tai ei toimenpidettä)
- Häiriövaikutusten laskenta kaikille häiriöyhdistelmille ja toimenpideportfolioille
- Häiriötodennäköisyyksien riippuvuuksien huomiointi
- Tutkimushankkeessa kehitetty laskenta-algoritmeja kohtuullisen kokoisille verkostoille

Tulosten käyttötapoja

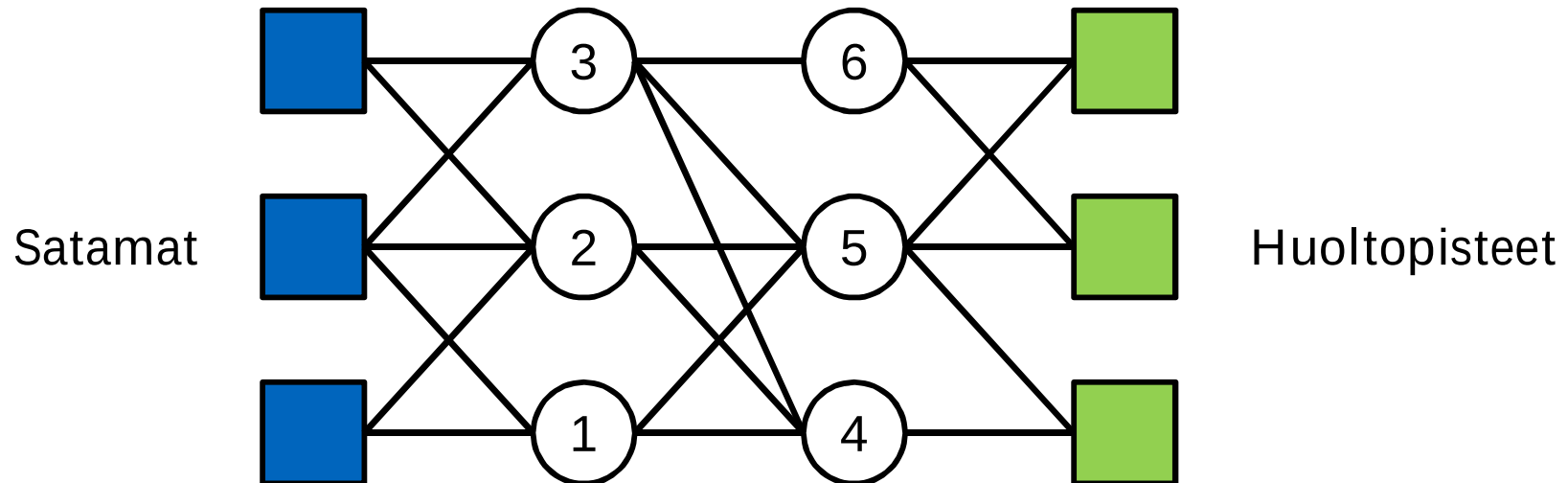
- Uhkaskenaarioiden arviointi
 - Mitkä skenaariot merkittävimpiä verkoston toimintakyvyn kannalta?
 - Missä solmuissa ja niiden yhdistelmissä tapahtuvat häiriöt alentavat verkoston toimintakykyä eniten?
- Toimituskykyä ja toimintavarmuutta parantavien toimenpideyhdistelmien suunnittelu
 - Mitä eri toimenpiteitä kannattaa toteuttaa yhdessä?
- Verkostojen rakenteellinen suunnittelu
 - Minkätyyppisiä verkostoja kannattaisi rakentaa?
 - Esim. toimintojen hajauttaminen maantieteellisesti

Jatkotutkimus

- Muiden kriittisen infrastruktuurin järjestelmien tarkastelu
 - Esim. elintarvikehuolto ja energianjakeluverkot
- Osittaisten häiriöiden huomiointi ja häiriöt verkoston kaarissa
 - Esim. tiestön kapasiteetin aleneminen 50%
- Robustit riskienhallintatarkastelut
 - Epätäydellisten lähtöparametrien huomiointi
- Laskennallisten menetelmien kehitys

Esimerkki: Kuljetusverkosto

- Kuljetusverkostossa kolme satamaa ja kolme huoltopistettä sekä näiden väliset kuljetusreitit
 - Lisäksi kuusi solmua, joiden kautta kuljetukset tapahtuvat
- Uhkaskenaario: solmuissa 1-6 häiriö 10% todennäköisyydellä
 - Häiriöyhdistelmiä $2^6=64$ kpl

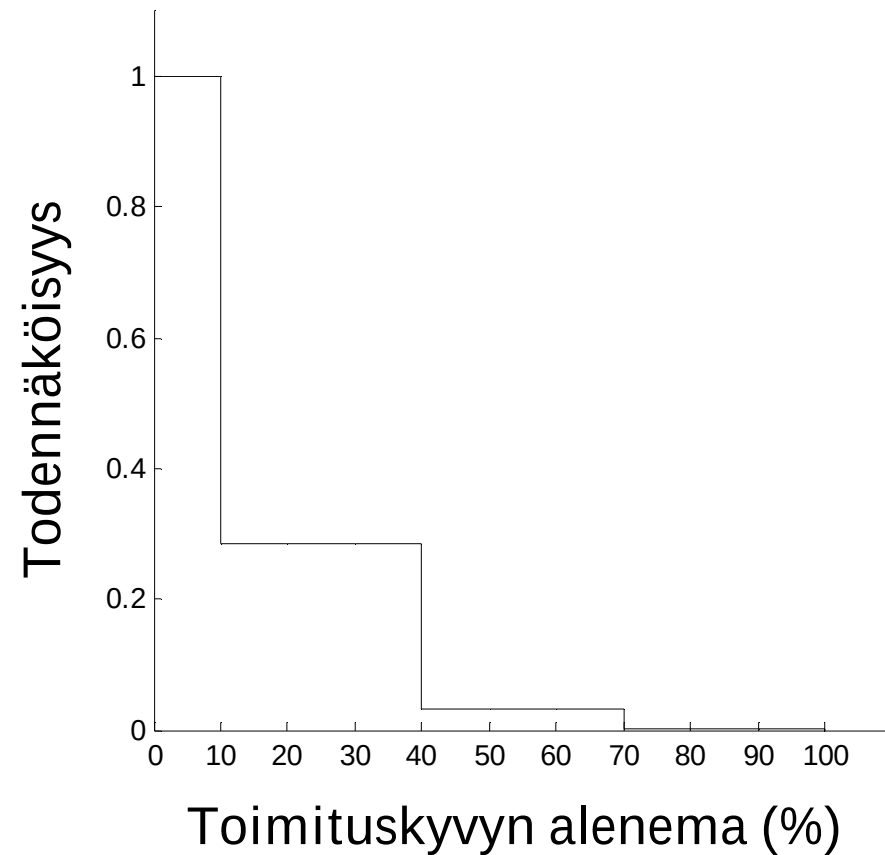
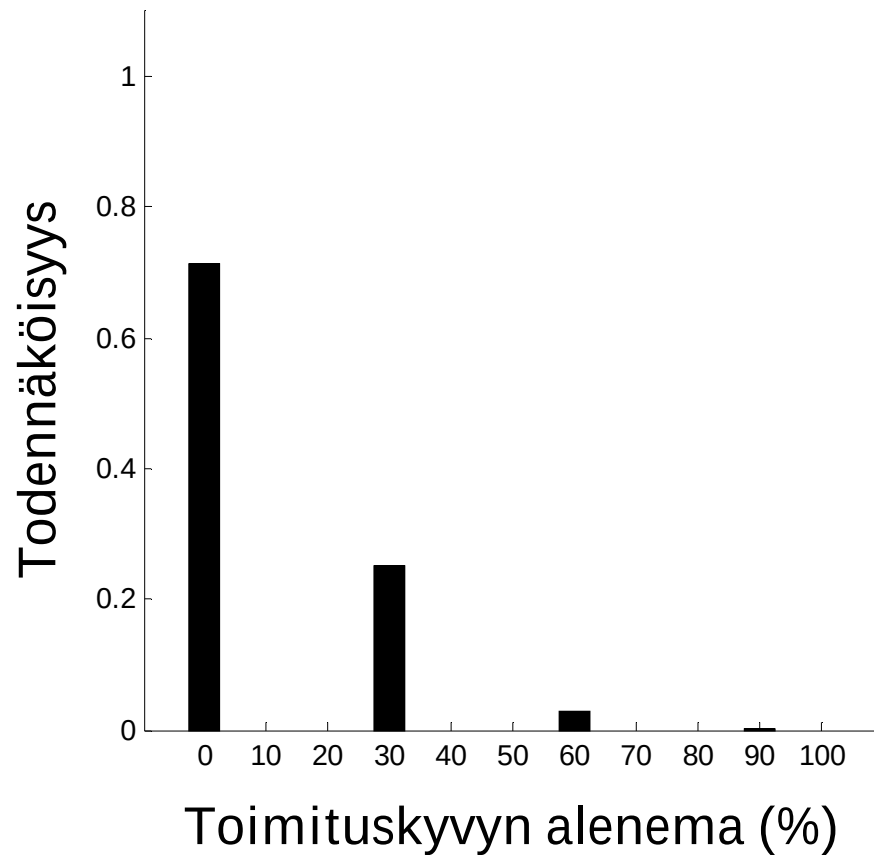


Esimerkki: Verkoston parametrit

- Kunkin sataman ja huoltopisteen välisen yhteyden katkeaminen alentaa toimintakykyä 10%
- Kaksi vaihtoehtoista toimenpidettä eri solmuille
 - Toimenpide A pienentää häiriötodennäköisyyttä 2%
 - Toimenpide B pienentää häiriötodennäköisyyttä 6%
 - Toimenpiteen A kustannus on puolet B:n kustannuksista
- Mitä toimenpiteitä kohdistetaan eri solmuihin?
 - Toimenpideportfolioita yhteensä $3^6 = 729$ kpl

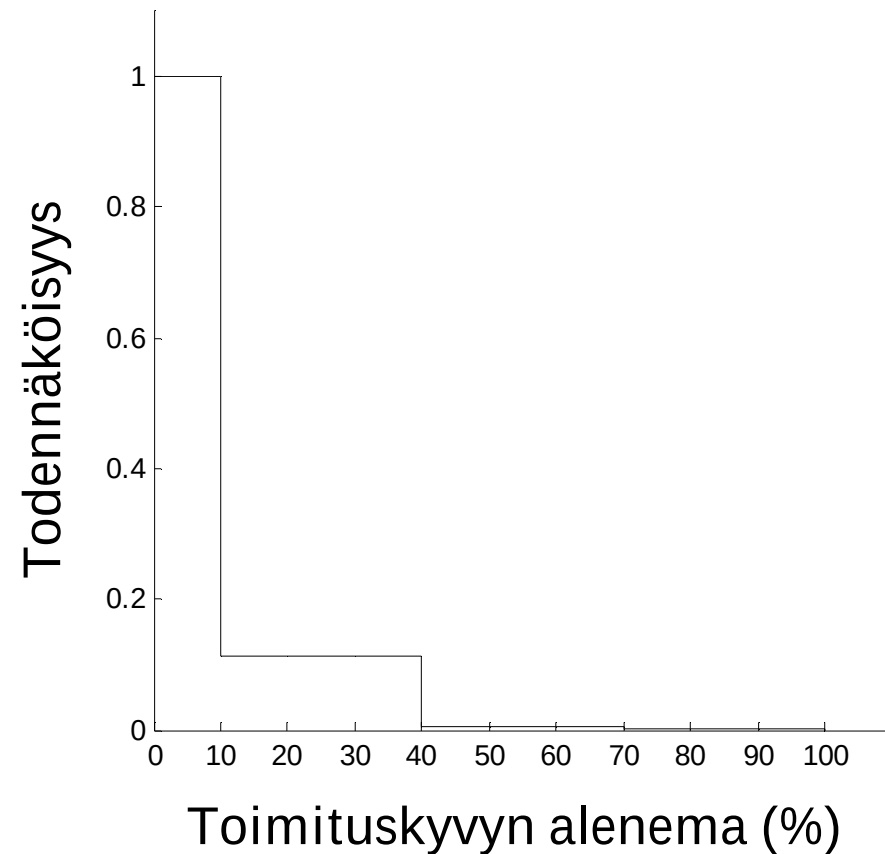
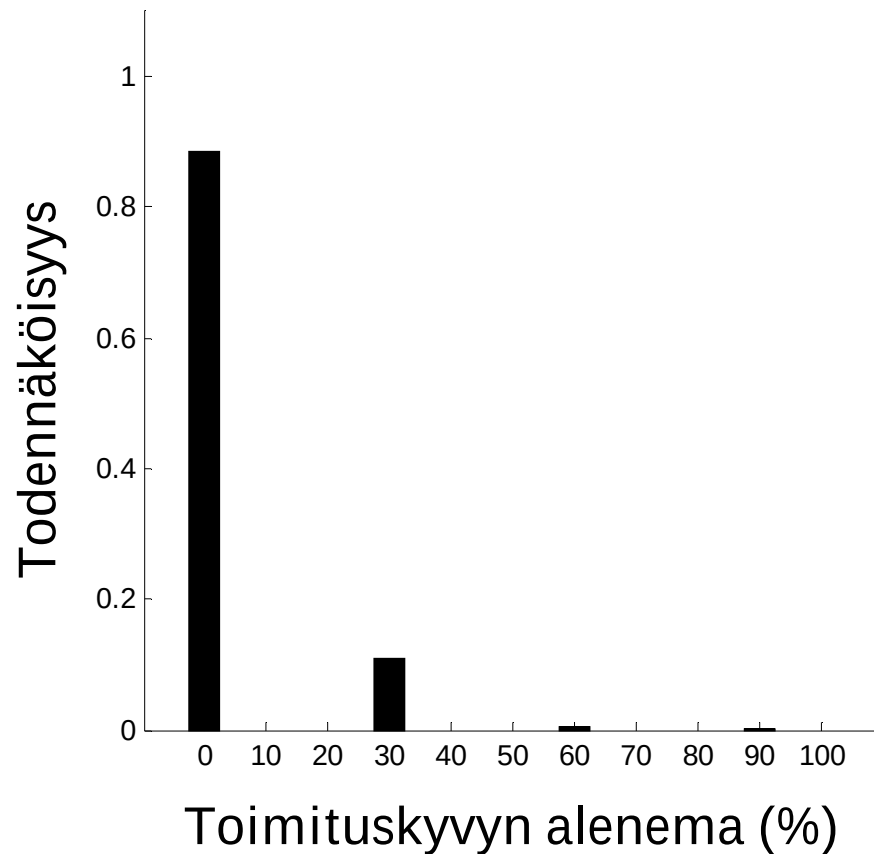
Esimerkki: Häiriövaikutukset

- Häiriövaikutukset ilman toimenpiteitä



Esimerkki: Toimenpideportfolion vaikutus

- Solmuihin 1 ja 2 toteutettu toimenpide B
- Solmuun 3 toteutettu toimenpide A



Esimerkki: Kustannustehokkaat portfoliot

- Yhteensä 15 kustannustehokasta portfoliota (~98% tehottomia)
 - Vaihtoehtoisia portfolioita eri kustannustasoilla

		Portfolio														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kustannustaso		1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6
Solmu	1															
	2															
	3															
	4															
	5															
	6															



Toimenpide A



Toimenpide B



Ei toimenpidettä

Kysymyksiä?