

MS-E2117 Riskianalyysi (5 op)

2019

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

Lähtökohtia

- Taustaa
 - Riskienhallinta on tärkeää
 - » Talous-, ympäristö-, terveysriskit ovat merkittäviä
 - » Muutokset voivat olla nopeita ja laaja-kantoisia
 - » Riskienhallintaan kohdistuvat vaatimukset lisääntyneet
 - » Koskevat yrityksiä, julkisyhteisöjä ja yksityishenkilöitä
 - » Uudenlaisia riskejä (vrt. ilmastonmuutos, terrorismi, tietoturva)
 - Kurssi päivittyy matkan varrella
 - » Luennot ja harjoitukset poikkeavat eräin osin aiemmista
 - » Voitte vaikuttaa sisältöön – palaute tervetullutta!

Lähtökohtia

- **Oppimistavoitteet**
 - Perehdyttää riskianalyysin termeihin ja käsitteistöön
 - Luo pohjan keskeisimpien menetelmien ja työkalujen soveltamiselle
 - Antaa valmiudet laatia ja arvioida teknistaloudellisia järjestelmiä koskevia riskianalyysyjä
 - Kehittää näkemystä riskianalyysin rajoitteista
- **Rajauksia**
 - Ei paneuduta teknisiin erityisaloihin
 - » Tämä osaaminen syntyy tekniikan eri kursseilla
 - Painopiste kvantitatiivisissa menetelmissä
 - » Nämä ovat vaativampia opittavaksi
 - » Käsitellään myös kvalitatiivisia menetelmiä

Opetus

- Luennot
 - TkT Jan-Erik Holmberg (vastaanotto luentojen yhteydessä)
 - Torstaisin klo 14-16 salissa M1 (-9.2.18) ja E (22.2.18-)
 - Käydään läpi kurssin koko keskeinen asiasisältö
 - Painopiste menetelmissä, esimerkeissä ja soveltamisessa
- Harjoitukset
 - DI Alessandro Mancuso (vastaanotto harjoitusten yhteydessä)
 - Pidetään englanniksi
 - Perjantaisin 28.1. alkaen klo 10-12 salissa U356

Opetus

- **Kotitehtävät**
 - 2 kpl, annetaan III ja IV opetusjakson aikana
 - Tehtävä itsenäisesti, arvostelu asteikolla 0-10
- **Arvostelu**
 - Max 30 pistettä tentistä
 - Max 10 pistettä kotitehtävistä yhteensä
 - Yhteenlasketut pisteet (max 40) arvostelun pohjana

Kalenteri

- Luennot torstaisin kl 14.15-16
 - 10.1. – 28.3.19
 - Ei luentoa 21.2. ja 4.4
- Harjoitukset perjantaisin kl 10.15-12
 - 28.1. – 23.3.18
 - Ei harjoituksia 22.2.
- Informoidaan muutoksista luennoilla ja harjoituksista sekä MyCoursesissa
- Tentit 2019
 - Kurssitentti 11.4.19
 - Muut tentit: 29.5.19, syyskuussa, joulukuussa
 - » Tentteihin pitää ilmoittautua Oodissa

Luentorunko

- Aloitusluento, Riskien arviointi
- Bayes-analyysi
- PSA:n peruspiirteet
- Vikapuuanalyysit
- Yhteisvikojen analyysi
- Luotettavuus ja koherentit järjestelmät
- Vikaantumisprosessit ja käytettävyys
- Riskitekijöiden priorisointi
- Riskivertailut ja päätöksenteko
- Laskentaohjelman esittely
- Kustannus-hyöty -analyysi
- Riskiviestintä

Materiaali (1/3)

- Pääteos
 - M. Modarres (2006). Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools, and Trends, Taylor and Francis.
 - » Vahva ote todennäköisyyspohjaisiin tarkasteluihin
 - » Osin ylimielinen laadullisen riskianalyysin suhteen
 - » Kannattaa ehkä hankkia - mutta ilmentkin pärjää
 - » Hinta esim. www.amazon.com:issa n. 140 EUR
- Muita teoksia
 - B.M. Ayyub (2003). Risk Analysis in Engineering and Economics, Chapman & Hall.
 - » Esittelee laajasti riskien arvottamista
 - » Monisivuinen ja 'jaaritteleva'
 - D. Vose (2000). Risk Analysis: A Quantitative Guide, John Wiley & Sons.
 - » Hyvä esitys asiantuntija-arvioinnista
 - » Esittää laskennallisesti vain riskien simulointia (Excel)
 - T. Bedford & R. Cooke (2001). Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods, Cambridge University Press.
 - » Erinomaisen selkeä perusmetodiikka (👍👍👍!)
 - » Toisaalta kovin matematiikkapainotteinen

Materiaali (2/3)

- Keskeiset aihepiirit
 - Riskien tunnistaminen
 - Vikapuut ja syy-seuraus-kaaviot
 - Todennäköisyypohjainen turvallisuusanalyysi
 - Koherentit järjestelmät
 - Vikaantumisprosessit
 - Asiantuntija-arvioiden määrittäminen
 - Todennäköisyyksien estimointi
 - Riskien priorisointi ja toimenpiteiden valinta
 - Riskiviestintä
- Tiedotus
 - Ajantasainen tieto MyCourses-sivustolla
 - Käytännön asioissa yhteydenotot assistenttiin sähköpostitse (alessandro.mancuso@aalto.fi, vastaanotto)
- Esitiedot
 - Ei erityisiä esitietovaatimuksia
 - Perusmatematiikat hyvä hallita (etenkin tn-lasku)

Materiaali (3/3)

- Laskentaohjelmisto
 - FinPSA
 - » tapahtumapuu-vikapuuratkasija
 - » kehitetty erityisesti ydinvoimalaitosten PRA-mallien tarpeisiin, mutta muutoin sinänsä yleinen PRA-työkalu
 - » kehitetty aluperin Säteilyturvakeskuksessa, nykyisin VTT:n ylläpitämä
 - Käytetään luennoilla ja harjoituksissa joidenkin esimerkkien ratkaisemisessa
 - Ei pakollinen
 - Vie aikansa ennen kuin ohjelma oppii käyttämään
 - Sisältää paljon toimintoja, joita kurssilla ei käsitellä
 - Mahdollisuuksia opinnäytetöihin ohjelman kehittämiseksi

 - FinPSA 2.1.1.0 demoversio saatavilla
<https://www.simulationstore.com>

 - Ohjelmaa esitellään luennolla 10 (14.3.2019?)

Riskin käsite

- ”Riski” ymmärretään eri tavoin riippuen asiayhteydestä ja kielenkäytöstä
- Tarkoittaa jotain epätoivottua
- Viittaa tiedon puutteeseen, epävarmuuteen

Ei-kvantitatiivisia riskistä

- Epätoivottu tapahtuma, joka voi tapahtua mutta ei välttämättä tapahdu
- Epätoivotun tapahtuman syy, joka voi tapahtua (siis ei itse epätoivottu tapahtuma)

Kvantitatiivinen riskin määritelmä

- P = Tapahtuman todennäköisyys
- C = seuraus
- $E = P * C$ = odotusarvo

Erityyppisiä riskejä

- Erityyppisiä epätoivottuja seurauksia
 - Taloudelliset vahingot
 - Ympäristövahingot
 - Terveysvahingot
- Erilaisia tapahtuman kulkuja
 - Äkilliset tapahtumat
 - Pitkäaikaisvaikutus
- Riskin vapaaehtoisuus

Henkilön suhde riskiin

- Päätöksentekijä
 - Riskistä hyötyjä
 - Riskille altistuva
 - Asiantuntija
-
- Henkilöllä voi olla useita rooleja

Esimerkki - ydinvoima

- Voimayhtiö/luvanhaltija (omistaja, työntekijä, asiantuntija)
- Laitoksen/järjestelmän/palveluiden toimittaja (omistaja, työntekijä, asiantuntija)
- Viranomainen (päätöksenteko, asiantuntija)
- Poliitikko (lainsäädäntö, päätöksenteko)
- Kansalainen, asuu lähellä laitosta
- Kansalainen, asuu kaukana laitoksesta

Riski käsitteenä

- Riski
 - ”Menetyksen mahdollisuus”, ”tappion uhka” (nykysuomen sanakirja)
 - Esimerkkejä riskeistä
 - » Omaisuuden menettäminen
 - » Ympäristön saastuminen
 - » Terveysten heikentyminen
 - Riskit näkökulmasidonnaisia
 - » Toisen tappio voi olla toisen voitto – vrt. kaupanteko
 - » Vaihtelevuus (volatiliteetti) sinänsä ei ole riski!
- Riskianalyysi on prosessi, joka
 - Kuvaa ja rajaa mahdollisia tappioita (so. haitallisia seuraamuksia)
 - Välittää tietoa mahdollisten tappioiden olemassaolosta, laadusta, suuruudesta, yleisyydestä, syistä ja epävarmuuksista
- Riskin suuruutta luonnehtivat
 - Riskin todennäköisyys
 - Tappioiden suuruus
- Riskit voivat
 - Kohdistua järjestelmän ulkopuolisiin tahoihin
 - Jäädä järjestelmän sisäisiksi

Rajapintoja muihin MS-kursseihin

- Investointiteoria
 - Mm. sijoitussalkun tuoton optimointi, rahan aika-arvo
- Päätöksenteko ja ongelmanratkaisu
 - Monikriteerinen päätösanalyysi, ryhmäpäätöksenteko
- Luotettavuustekniikka
 - Mallintamismenetelmät
- Stokastiset prosessit
 - Epävarmuuksien kuvaaminen
- Dynaaminen optimointi
 - Optimaalisten strategioiden rakentaminen
- Jne.

- Riskianalyysi oma mielekäs kokonaisuutensa
 - Tieteellisiä yhdistyksiä, konferensseja ja lehtiä
 - Lukuisia teoksia ja yleistajuisia sivustoja

Yhdistyksiä

- Suomalaisia
 - Riskienhallintayhdistys
 - Riskianalyysiseura
 - Operaatiotutkimusseura
 - Aktuaariyhdistys
- Kansainvälisiä
 - Society for Risk analysis
- Konferensseja
 - PSAM
 - ESREL

Riskianalyysin historiaa

- Vakuutukset
 - 1800 eKr merenkulun alkeellisimmat vakuutukset
 - 1400-luvun Italiassa maanviljelysosuuskunnilla vakuutuksia huonojen sääolojen varalta
 - 1700-luvulla vakuuttamisesta liiketoimintaa Englannissa (Lloyds)
 - Henkivakuutukset ja niiden matematiikka
- Luotettavuusanalyysi
 - Luotettavuus ja riskien hallinta keskeiseksi toisen maailmansodan aikana
 - Luotettavuudelle todennäköisyystulkinta
 - » Lusser: Sarjassa olevien komponenttien muodostaman järjestelmän luotettavuus (=toimintatodennäköisyys) on komponenttien luotettavuuksien tulo
- Nykytilanne
 - Riskienhallintainstrumentteja innovoidaan jatkuvasti
 - Tarvitaan vahvaa matemaattista mallintamista
 - » Validointi – vastaako malli todellisuutta?
 - » Verifiointi – toimiiko malli laskennallisesti oikein?
 - Runsaasti erilaisia suojautumisinstrumentteja
- Ks. P.R. Bernstein (1998). *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*, John Wiley & Sons, New York.

Riskikäsitteiden kehitys

- Riskin käsite on kehittynyt ja hajaantunut ajan myötä
 - Riski = Odotusarvo $R = E$
 - Riski = Epätoivotun tapahtuman todennäköisyys $R = P$
 - Riski = Seurausten todennäköisyysjakauma $R = P \& C$
 - Riski = Seuraus ($R = C$)
 - Riski = Epävarmuus $R = U$
 - Riski = Seuraus ja siihen liittyvä epävarmuus $R = C \& U$
 - Riski = epävarmuuden vaikutus tavoitteisiin (ISO)

Yhteenveto riskikäsitteistä

- Todennäköisyysperustaiset
 - $R = E$ (odotusarvo)
 - $R = C \& P$ (seurausten todennäköisyysjakauma)
 - Eniten käytetyt ja tunnetut
 - Voivat olla harhaanjohtavia epävarmuuksien vuoksi
- Epävarmuusperustaiset
 - $R = C \& U$ (seuraus ja epävarmuus) tai $R = C$
 - Epävarmuus kuvataan jollain muulla mitalla tai kvalitatiivisesti
 - Ei täsmällistä päätöskriteeriä
- ”Negatiiviset seuraukset” tai ”negatiiviset ja positiiviset seuraukset”

Teknis-taloudellisista järjestelmistä

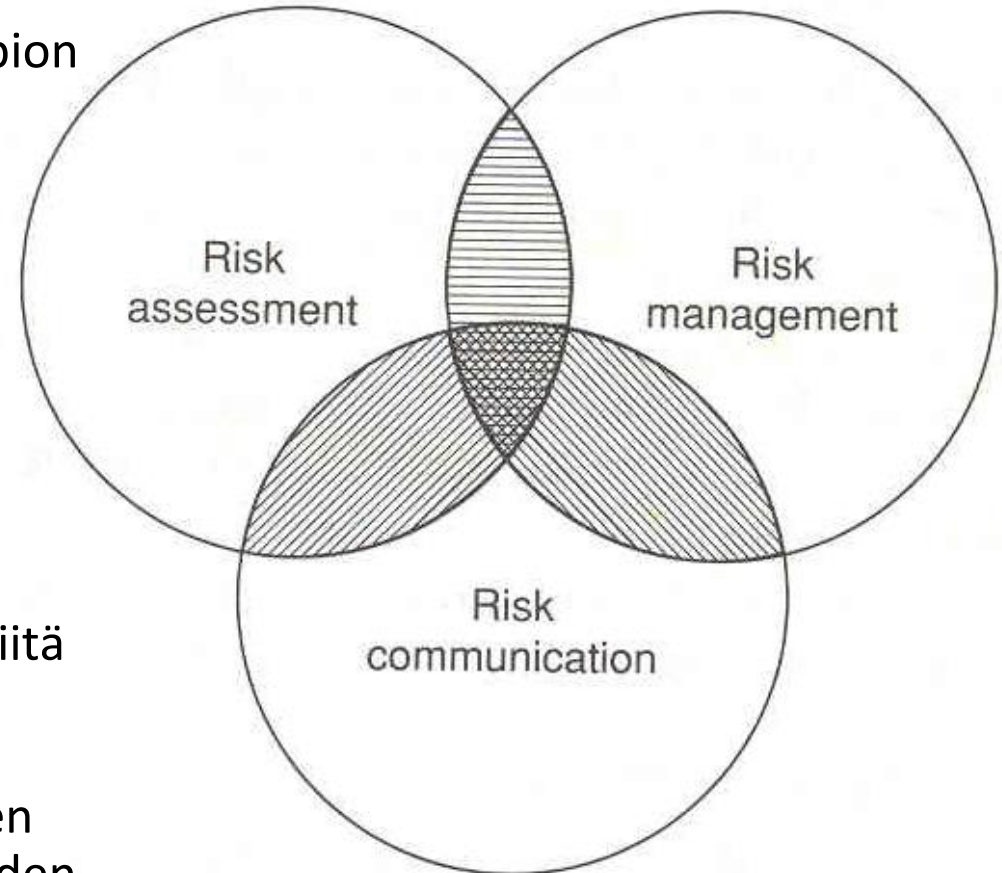
- Monimutkaiset tekniset järjestelmät
 - Muuttuvia, kehittyviä (polkusidonnaisuus)
 - Integroituja, dynaamisesti kehittyviä
 - Laaja-alaisia, älykkäitä, oppivia (vrt. ohjelmistot)
- Haaste riskianalyysin kannalta
 - Yhden riskin hallinta voi aiheuttaa uusia
 - » Homeostaasi: Riskienhallintatoimenpiteiden tuloksena käyttäytyminen muuttuu riskihakuisemmaksi, jolloin tavoiteltu riskienhallintavaikutus ei täysin toteudu
 - » Esim. pyöriteiden maalaaminen punaiseksi, jotta jalankulkijat eivät kävelisi pyöriteillä voi johtaa siihen, että pyöräilijät ajavat kovempaa, mikä lisää riskejä
 - Miten järjestelmän rajapinnat kuvataan?
- Perustuu systeemikuvaukseen
 - ”Hajoita ja hallitse” -periaate
 - Järjestelmän osien erittely
 - Osien välisten loogisten ja aikariippuvuuksien kuvaaminen
 - Epävarmojen, -lineaaristen ja -intuitiivisten kehityskulkujen ennakointi haasteellista
 - Miten huomioida oppimisprosessit?
- Riskejä ei voida/kannata täysin eliminoida
 - Nollariskitaso käytännössä mahdoton
 - ”max 10 km nopeusrajoitus koko pk-seudulle”
 - Aiheuttaisi merkittäviä taloudellisia tappioita
 - Kohdentuminen olennaista – keitä tappiot koskevat?

Riskiluokkia

- **Terveydelliset riskit**
 - Esim. sairastuminen, elämänlaadun heikentyminen, kuolema (ihmiset, eläimet, kasvit)
 - ”Onko sikainfluenssarokotus perusteltu?”
- **Taloudelliset riskit**
 - Esim. luottotappiot, markkinaosuuden menetys, vakavaraisuuden alentuminen, maksuhäiriö, konkurssi
- **Ympäristöriskit**
 - Esim. ympäristön saastuminen, ilmaston lämpeneminen, melu
- **Onnettomuusriskit**
 - Esim. luonnonkatastrofit (maanjäristys, tulivuori jne.), tuotteiden ja järjestelmien pettäminen (liikenneonnettomuudet, tehdaspalot jne.)
- **Turvallisuusriskit**
 - Esim. sota, terrorismi, poliittinen epävakaus
- **Huomioita**
 - Eri riskiluokat kytkeytyvät toisiinsa
 - Soveltuvimmat menetelmät vaihtelevat sovellusalueittain
 - Inhimillisen käyttäytymisen ennakointi on vaikeaa
 - Monien riskien suhteen vakiintuneet normistot

Riskianalyysin osa-alueet

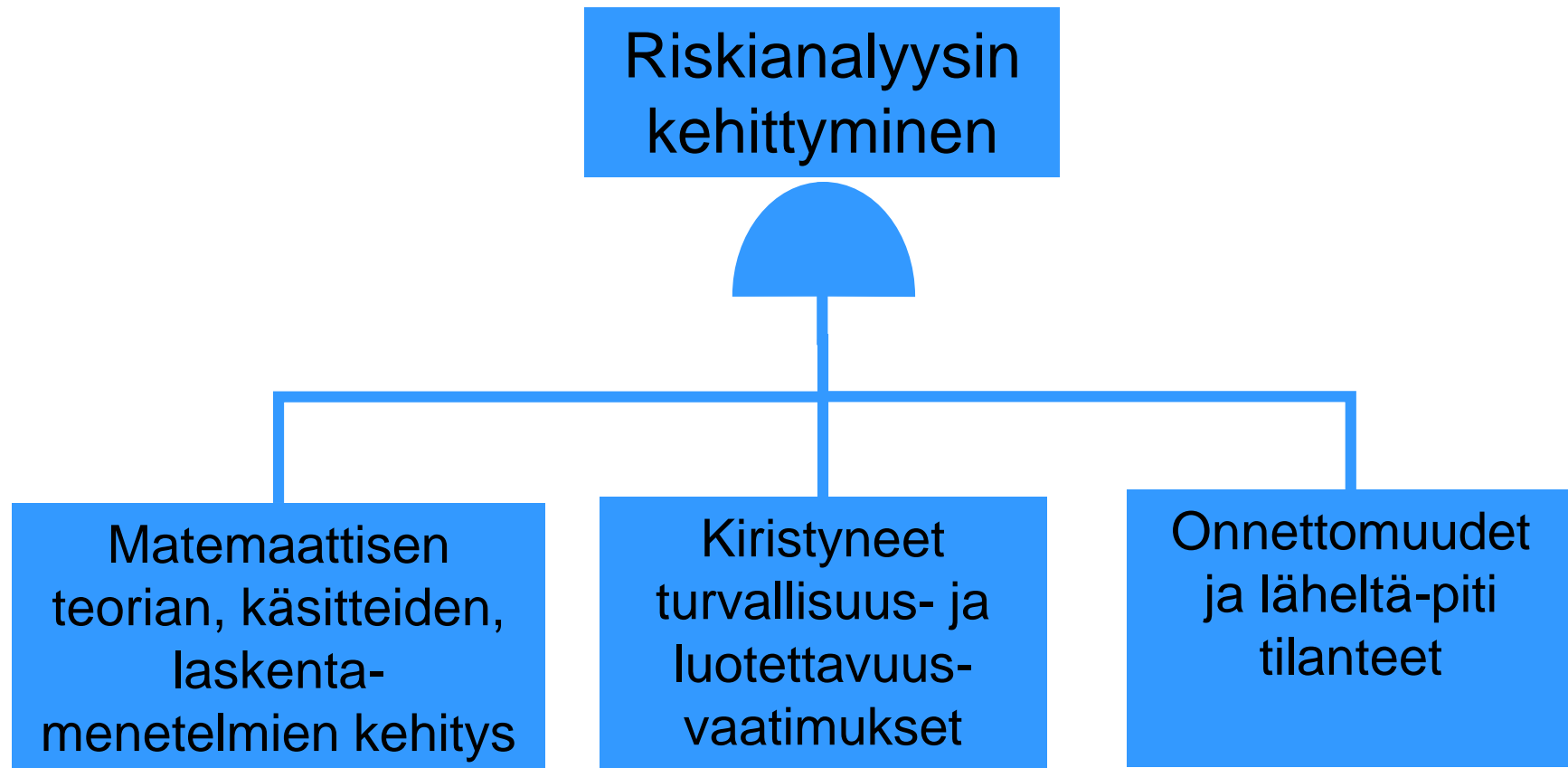
- Riskien arviointi
 - Määrittää mahdollisen tappion
 - » todennäköisyyden (vrt. frekvenssin, jos tilastoja)
 - » suuruuden
- Riskien hallinta
 - Arvioi ja vertailee riskiin vaikuttavia tekijöitä
 - Rajaa, vähentää ja eliminoi riskejä
- Riskiviestintä
 - Välittää tietoa riskeistä ja niitä koskevasta riskienhallintatoimenpiteistä päätöstentekijöiden, muiden sidosryhmien ja analyytikoiden välillä



Erityyppiset riskianalyysit

- **Huomioita**
 - Voidaan tukeutua tilastotietoihin, jos aiemmista riskitapahtumista riittävästi havaintoja
 - Muussa tapauksessa (ja tämän lisäksi) riskejä voidaan arvioida mallintamalla
 - Analyysin kannalta haasteellisimpia ovat riskit, jotka
 - » toteutuvat erittäin harvoin tai joista ei tietoa
 - » ovat vaikutuksiltaan isoja, laajakantoisia, peruuttamattomia
- **Kvantitatiivinen riskianalyysi**
 - Kuvaa riskien toteutumista todennäköisyyksinä
 - Voidaan tukeutua historiallisiin seurantatietoihin
 - Saattaa vaatia paljon aikaa ja työtä
 - » Vakiintunut erityisesti vakavien riskien yhteydessä, menetelmiä kehitetty erityisesti ydinvoimaa varten
- **Kvalitatiivinen riskianalyysi**
 - Tappioiden todennäköisyys ja suuruus arvioidaan sanallisin väittämin ('jossain määrin tn', 'merkittävä')
 - Saadaan subjektiivisia tuloksia asiantuntija-arvioista
 - Vaatii pääsääntöisesti vähemmän aikaa ja vaivaa
- **Kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen yhdistely**
 - Kvantitatiiviset tn-arviot + kvalitatiiviset tappioarviot
 - Kvalitatiiviset tn-arviot + kvantitatiiviset tappioarviot

Riskianalyysimenetelmien kehitystekijät



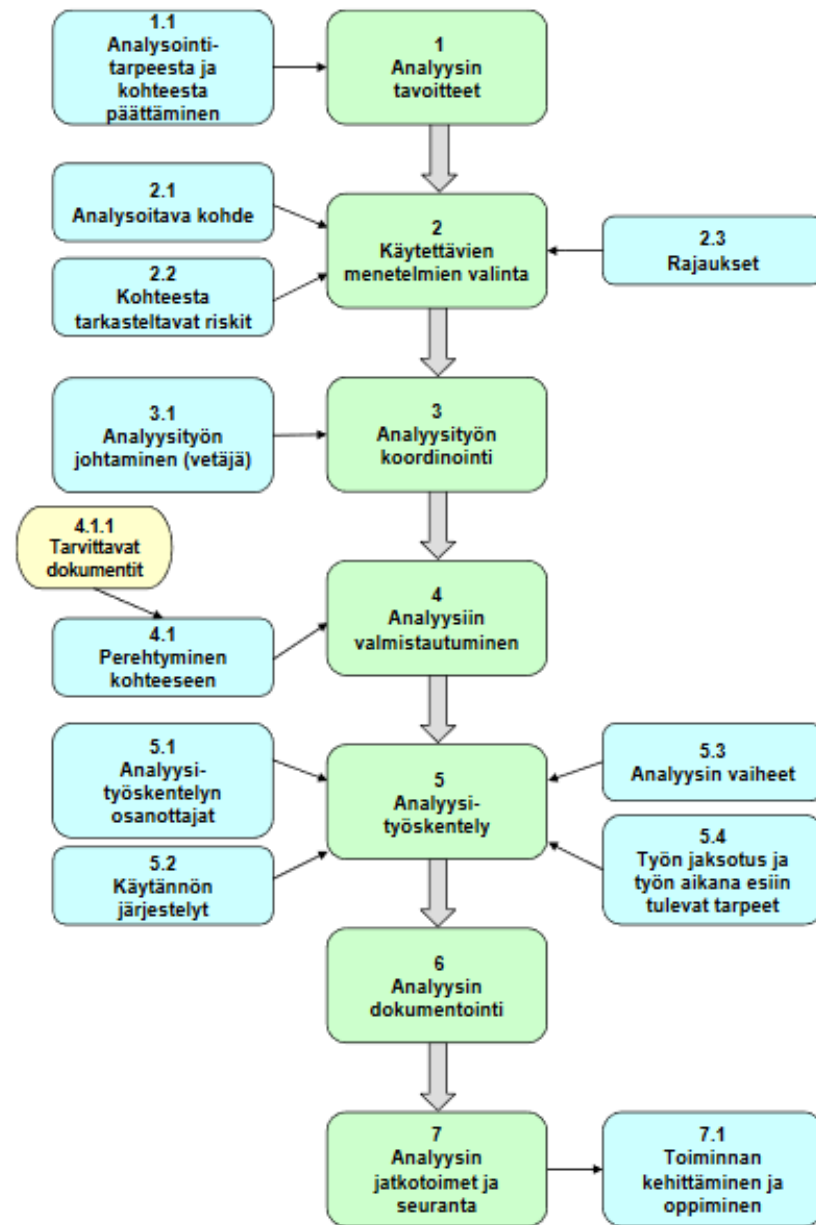
Riskianalyysin standardointi

- Tähän pyritään teollisuudessa
- Hyödyt
 - Helpompi asettaa turvallisuusvaatimuksia
 - Tulosten vertailtavuus
 - Kustannussäästö, kilpailuttaminen, helpompi kouluttaa asiantuntijoita
- Haitat
 - Tehdään vain minimivaatimuksen mukaan
 - Analyysin tekemiseen jää aina vapausasteita sekä tarve käyttää subjektiivisia arvioita (miten epävarmuuksien arviointi voidaan standardoida?)
 - Voi olla vaikea sopia standardista intressiristiriitojen vuoksi
 - Menetelmäkehitys voi pysähtyä

Menetelmien valinnasta

- Onko viranomaisvaatimusta? Alan standardit, alan käytäntö
- Onko käyttökokemuksia tai tilastoja?
- Riskianalyysin suhde muihin menetelmiin joilla turvallisuus osoitetaan (deterministinen analyysi)
- Riskianalyysin käytettävät resurssit korreloivat riskin suuruuden kanssa
- Kvalitatiivinen – kvantitatiivinen
- Tunnistaminen – vertailu kriteereihin – optimointi
- Millä tavalla on mallinnettavissa?
- Kertaluontoinen analyysi – Jatkuva toimintaprosessi

Malli riskianalyysin toteutuksesta (lähde VTT)



Luento 1b

Riskien arvioinnista

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

Termistöä

- **Vaara/Uhka (engl. hazard)**
 - Tarkoittaa ei-toivotun seuraamuksen (tappion, vahingon) toteutumisen mahdollisuutta
 - Ei ota kantaa mahdollisuuden todennäköisyyteen
 - » Esim. ydinvoimaonnettomuuden säteilypäästö (ilman lisätäsmeniteitä) on tässä mielessä vaara
- **Riski**
 - Täsmentää tappion lisäksi myös sen todennäköisyyden (tn), jolla vaara toteutuu
 - » Esim. sellaisenaan samansuuruiset ympäristövaikutukset aiheuttavat laitokset ovat riskiltään erilaisia riippuen siitä, miten niissä on alennettu näiden vaikutusten toteutumisen tn:ää
- **Huomioita**
 - Termistön käyttö osin epäyhtenäistä
 - Riskiin sisältyy myös tappioiden suuruus
 - Terveysriskien arvioinnissa kuvataan usein altistumisesta aiheutuvat seuraamukset (dose-response, annos-reaktio)
 - » Esim. syöpäkuolleisuus per säteilyannos
 - Teknisten järjestelmien toimimattomuus voi aiheuttaa hyvin erilaisia riskejä
 - » Ml. ympäristö-, talous-, terveys- jne. riskit
 - » Pyrkimyksenä järjestelmien tarkoituksenmukainen suunnittelu ja ylläpito, ei numerot sinänsä!

Riskien arviointi (1/2)

- Peruskysymykset
 - Mikä voi mennä vikaan?
 - Miten todennäköistä tämä on?
 - Mitä vikaanmenosta voi seurata?
- Periaate
 - Lähdetään alkutapahtumista (initiating events), jotka voivat haitata järjestelmän toimintaa
 - » "Helsinkiin sataa paljon lunta"
 - Tunnistetaan ne (jatko)tapahtumat, jotka voivat johtaa haitallisiin seuraamuksiin
 - ⇒ "Rautatievaihteet eivät toimi"
 - ⇒ "Junat myöhästyvät"
 - ⇒ "Opiskelijat eivät ehdi luennolle"
 - ⇒ "Oppiminen jää vähäisemmäksi"
 - ⇒ "Työelämässä riskienhallinta heikompaa"
 - ⇒ "Riskienhallinta pettää ja tulee onnettomuuksia"
(seuraamukset riskejä eri tahojen kannalta – VR vs Aalto)
 - Arvioidaan näiden määrittävien uhkaskenaarioiden todennäköisyydet sekä haitallisten seuraamusten suuruudet
- Ideaalit
 - Tunnistetaan kaikki skenaariot, lasketaan näiden todennäköisyydet ja rakennetaan kokonaisvaltainen riskikuva
 - Käytännössä utopistinen tavoite
 - Kaikkea ei voi tietää – tietämättömyys

Epävarmuudet ja tietämättömyys

Term	Meaning
1. Blind ignorance	Ignorance of self-ignorance, or meta-ignorance
1.1. Unknowable	Knowledge that cannot be attained by humans based on current evolutionary progressions, or cannot be attained at all due to human limitations, or can only be attained through quantum leaps by humans
1.2. Irrelevance	Ignoring something
1.2.1. Untopicality	Intuitions of experts that could not be negotiated with others in terms of cognitive relevance
1.2.2. Taboo	Socially reinforced irrelevance; issues that people must not know, deal with, inquire about, or investigate
1.2.3. Undecidedness	Issues that cannot be designated true or false because they are considered insoluble, or solutions that are not verifiable, or <i>ignoratio elenchi</i>
1.3. Fallacy	Erroneous belief due to misleading notions
2. Conscious ignorance	A recognized self-ignorance through reflection
2.1. Inconsistency	Inconsistency in knowledge attributed to distorted information as a result of inaccuracy, conflict, contradiction, and/or confusion
2.1.1. Confusion	Wrongful substitutions
2.1.2. Conflict	Conflicting or contradictory assignments or substitutions
2.1.3. Inaccuracy	Bias and distortion in degree
2.2. Incompleteness	Incomplete knowledge due to absence or uncertainty
2.2.1. Absence	Incompleteness in kind
2.2.2. Unknowns	The difference between the <i>becoming</i> knowledge state and <i>current</i> knowledge state
2.2.3. Uncertainty	Knowledge incompleteness due to inherent deficiencies with acquired knowledge
2.2.3.1. Ambiguity	The possibility of having multiple outcomes for processes or systems
a) Unspecificity	Outcomes or assignments that are not completely defined
b) Nonspecificity	Outcomes or assignments that are improperly defined
2.2.3.2. Approximations	A process that involves the use of vague semantics in language, approximate reasoning, and dealing with complexity by emphasizing relevance
a) Vagueness	Non-crispness of belonging and non-belonging of elements to a set or a notion of interest
b) Coarseness	Approximating a crisp set by subsets of an underlying partition of the set's universe that would bound the set of interest
c) Simplifications	Assumptions required to make problems and solutions tractable
2.2.3.3. Likelihood	Defined by its components of randomness, statistical and modeling
a) Randomness	Non-predictability of outcomes
b) Sampling	Samples vs. populations

Tietämättömyyden taksonomia

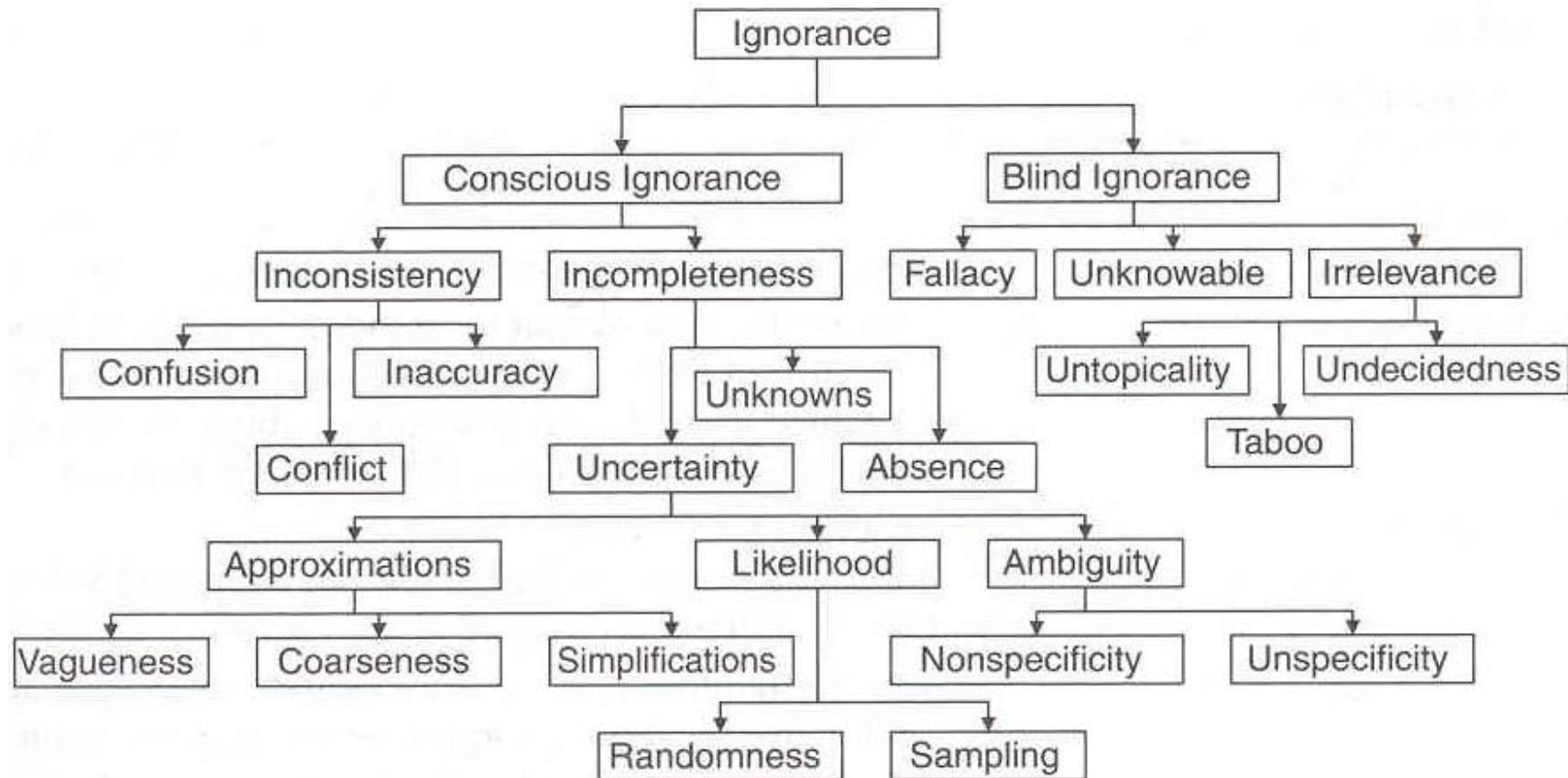


FIGURE 1.9
 Ignorance Hierarchy

Ayyub, Fig 1.9.

Riskien arviointi (2/2)

- Teknisten järjestelmien riskeistä
 - Vaarojen tunnistaminen
 - » Vaara = tilanne, joka voi antaa edellytyksiä riskin toteutumiselle
 - » Lähtökohtana usein alkutapahtumat (kemialliset, biologiset, mekaaniset, jne.)
 - Järjestelmän rajojen tunnistaminen
 - » Kantavuus, kestävyys, taipuisuus jne.
 - Rajoihin kohdistuvien kuormitusten tunnistaminen
 - » Paine, kuumuus, kiihtyvyys, jne.
 - Rajojen pettämismahdollisuuksien arviointi
 - » Kuluminen, jne.
 - Seuraamusvaikutusten arviointi
 - » Vaikutukset ihmisiin, ympäristöön, talouteen, jne.
- Haasteita
 - Miten huomioida se, että alkutapahtumat voivat esiintyä yhtäikaa tai peräkkäin?
 - Miten arvioida vain osittain toimivan järjestelmän suoritusrajoja?
 - Miten pystytään ottamaan huomioon seuraamusten kontekstisidonnaisuus? (esim. talvi- vs. kesäolosuhteet)
 - Miten rinnastaa erilaisia seuraamusvaikutuksia? (esim. henkilö-, materiaali- ja ympäristövahingot)

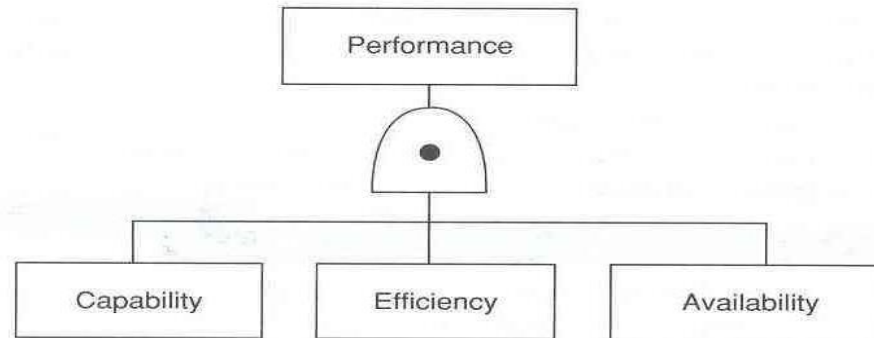
Riskienhallinta

- Riskienhallinta koostuu toimista, joilla
 - estetään, rajataan ja minimoidaan vaaroille altistumisesta aiheutuvia tappioita
 - määrittelemällä, vertaamalla, valitsemalla ja panemalla täytäntöön toimenpiteitä
 - huomioonottaen päätöksentekijöiden ja sidosryhmien arvostukset, teknologiset ja taloudelliset reunaehdot sekä lainsäädännölliset ja poliittiset näkökohdat
- Näkökulmia
 - Monia menetelmiä (mm. kustannushyötyanalyysi, elinkaarianalyysi, monikriteerinen päätöksenteko)
 - 80:20 sääntö pätee monessa tilanteessa – ”80% riskeistä johtuu 20% uhkaskenaarioista”
 - Riskienhallintatoimenpiteiden ideointi on luova prosessi
 - » Aivoriihet, vertailut (benchmarkkaus)
 - Vaihtoehtoisia strategioita
 - » Välttäminen - Esim. kotona pysyminen
 - » Suojautuminen - Esim. turvavyöt
 - » Vähentäminen - Esim. nopeusrajoitukset
- Riskienhallinnan oltava jatkuvaa
 - Tiedon hankinta, koostaminen, analysointi, tulkinta, johtopäätösten päivitys - tuorein analyysi on usein paras
 - Tukeuduttava monipuolisesti eri tietolähteisiin
 - Tiivis vuoropuhelu ja päätöksentekijöiden kanssa

Suorituskyvyn arvioinnista

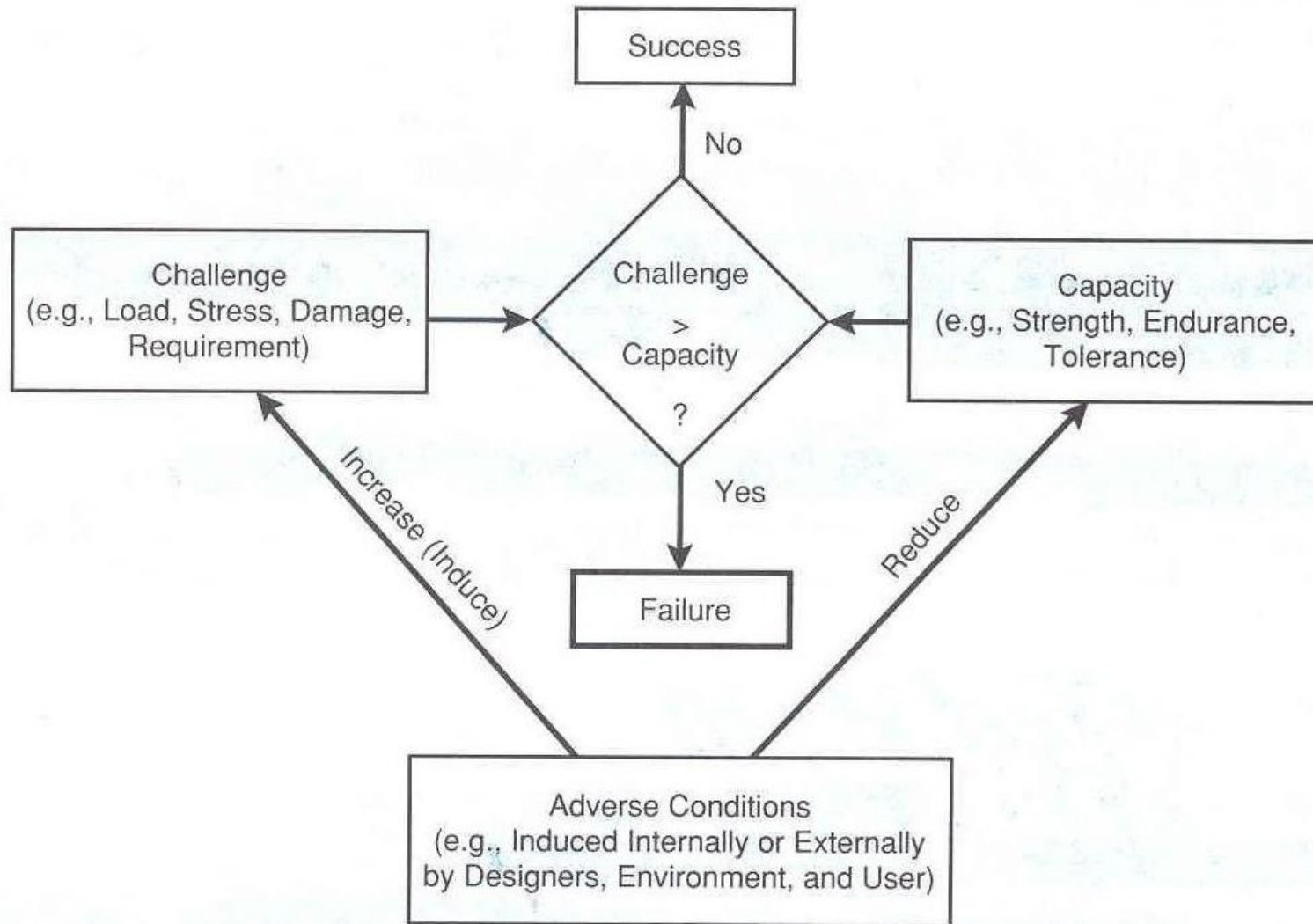
- Suorituskyky
 - Tarkoittaa järjestelmän kykyä suoriutua sille tarkoitetuista tehtävistä kaikkina ajankohtina
 - Huomioita
 - » Voidaan luonnehtia kvalitatiivisesti tai kvantitatiivisesti
 - » Ei ole kvantitatiivisessa mielessä deterministinen, riippuu
 - toimintaympäristön asettamista vaatimuksista
 - suoritusominaisuuksista
 - Järjestelmä on suorituskykyinen, jos toiminta-ympäristön asettavat vaatimukset eivät ylitä sen suoritusominaisuuksia

Suorituskyvyn ulottuvuuksia

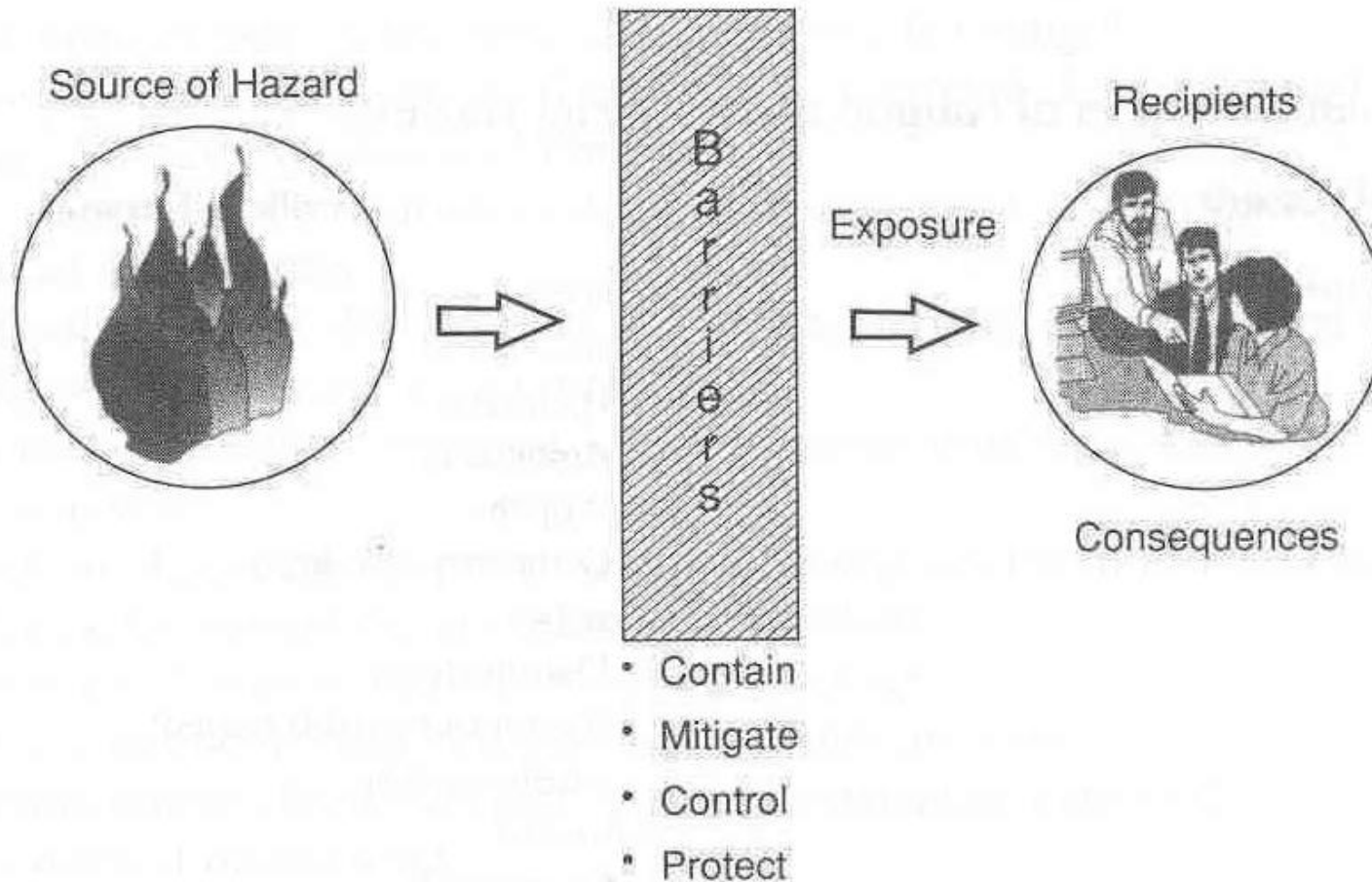


- **Suoritustaso (engl. capability)**
 - Täsmentää, miten todennäköisesti järjestelmän suoritusominaisuudet (eng. capacity) vastaavat järjestelmään kohdistuvia vaatimuksia siten, että järjestelmä saavuttaa sille asetetut tavoitteet
 - » Vrt. junaliikenteen suoritustaso – max 5 min myöhästys
 - » Jos vaatimukset ylittävät suoritustason, tavoitteita ei saavuteta
- **Tehokkuus (engl. efficiency)**
 - Kuvastaa, miten tehokkaasti järjestelmä muuntaa käytetyt panokset tavoitteiden saavuttamiseksi
 - » Järjestelmä on tehoton, jos se käyttää enemmän raaka-aineita, materiaaleja tms. panoksia kuin vaihtoehtoiset suorituskykyiset järjestelmät
 - ⇒ Tehokkuus yksi vaihtoehtoisten järjestelmien arviointiperuste
- **Käytettävyys (engl. availability)**
 - Täsmentää, miten todennäköisesti järjestelmä pystyy täyttämään sille asetetut tavoitteet eri ajanhetkinä

Suorituskyky ja riskien arviointi



Riskien arviointi



General illustration of risk assessment concept.

Riskiarvioinnin vaiheet (1/2)

- Vaarojen (uhkien) tunnistaminen
 - Luonnonolosuhteista johtuvat
 - Inhimillisistä järjestelmistä aiheutuvat
 - Erottelu osin keinotekoinen (ks. seur.Taulukko 2.2)
 - Force majeure-tekijöitä ei kovin usein käsitellä
 - » Näiden suhteen ei kuitenkaan voitaisi mitään tehdä
 - » Esim. asteroidit liikennetuskien kannalta
- Esteiden tunnistaminen
 - Esteet poistavat, estävät, rajoittavat ja vähentävät vaaroja, muuntavat näitä tai ennakoivat niiden toteutumista
 - Esteet voivat olla joko
 - » Aktiivisia (so. nimenomaisesti esteeksi suunniteltuja)
(vrt. tulvapattojen rakentaminen)
 - » Passiivisia (so. esteinä muista syistä toimivia)
(vrt. tulvia ehkäisevien suomaastojen säilyttäminen)
 - Samaa vaaraa voi estää yksi tai useampia esteitä
 - Syvyyspuolustus ("defence-in-depth"): jos yksi este pettää, niin muita jää jäljelle
- Esteiden suorituskyvyn arviointi
 - Vaara toteutuu, jos esteet pettävät tai vaatimukset ylittävät niiden suorituskyvyn
 - Tällöin seurauksena vaaralle altistaminen

TABLE 2.2
 Classification and Examples of Natural and Artificial Hazards

Natural Hazards	Artificial Hazards
<i>Weather and ecosystem</i>	<i>Chemicals</i>
Flood	1. Flammable
Storm	Hydrogen
Tornado	Ammonia
Hurricane	Propane
Drought	Carbon monoxide
Landslide	2. Reactive
Wildfire	Fluorine (gas)
<i>Earth</i>	Hydrogen peroxide (liquid)
Earthquake	Nitrites (solid)
Volcanic eruption	3. Corrosive
Tsunami	Strong acids
Landslide	Nonmetal chlorides
Radon	Halogens
<i>Space</i>	<i>Carcinogenic or toxic</i>
Cosmic rays	Asbestos
Meteorite	Tobacco smoke
Asteroids and comets	Estrogens
<i>Biological</i>	Tamoxifen
Infectious diseases (due to naturally growing bacteria, viruses, and fungi)	Hydrogen cyanide
Animal diseases	Carbon monoxide
Plant pests	<i>Thermal</i>
Allergens	Extreme temperatures in solids, liquids, or gases (due to radiation, combustion, condensation, fire, explosion, vaporization, etc.)
	<i>Mechanical</i>
	High velocity moving or rotating solids, liquids, and gases
	Vibrating objects
	<i>Electromagnetic</i>
	High voltage
	High magnetic field
	<i>Ionizing radiation</i>
	Radioactive solids, gases, and liquids
	<i>Nonionizing radiation</i>
	Microwave
	Radio frequency
	Ultraviolet
	Infrared
	Laser
	<i>Biological</i>
	Biotech, human grown bacteria, viruses, fungi, mycobacteria, wood dust, parasites

Riskianalyysin vaiheet (2/2)

- Altistumisen arviointi
 - Määrittää, missä määrin henkilöt, tuotantovälineet, luonto ja muu ympäristö jne. altistuvat, jos järjestelmä pettää
 - Kvalitatiivisessa riskien arvioinnissa usein karkeita suuruusluokka-arvioita
 - Kvantitatiivisessa riskien arvioinnissa altistuminen arvioidaan tarkemmin ja esitetään numeroin
 - » Esim. miten paljon haitallisia ainesosia pääsee luontoon?
- Riskivaikutusten kuvaus
 - Täsmentää, miten altistuminen johtaa haitallisiin seuraamuksiin
 - » Esim. kuinka moni henkilö altistuu, mitä on kunkin altistumisen määrä, mitä vaikutuksia altistumisella on yksilö- ja kokonaistasolla
 - » Annosvastemallit (STUK): ”Yhden sievertin säteilyannos aiheuttaa väestössä keskimäärin 5 % ylimääräisen syöpäkuoleman riskin. Jos 10000 ihmistä saa kukin 10 millisievertin annoksen, tästä voi aiheutua ajan mittaan viisi ylimääräistä syöpäkuolema. Ulkoisen säteilyn annosnopeus on normaalioloissa noin 0,1–0,2 μSv tunnissa. Kymmenessä tunnissa saamme täten 1–mikrosievertin (miljoonasosiasievertin) säteilyannoksen”.

Riskien arviointi prosessina

- Peruskysymykset
 - Mitkä kehityskulut voivat aiheuttaa vaaroja?
 - Miten todennäköisiä nämä ovat ?
 - Mitä seuraamuksia voidaan odottaa tapahtuvan, jos vaara toteutuu?
- Riskien arviointiprosessi
 - Täsmennetään vaaraskenaariot
 - Estimoidaan kunkin todennäköisyys
 - Arvioidaan vahingon määrä kussakin skenaariossa
 - Riski voidaan määritellä kolmikkona

$$R = \langle S_i, P_i, C_i \rangle, i = 1, \dots, n$$

- missä $S_i = i$:s vaaraskenaario
 $P_i = i$:nnen skenaarion todennäköisyys
 $C_i =$ vahingon suuruus ko. skenaariossa
- Huomioita
 - Skenaarioiden määrittelyssä pyrittävä kattavuuteen
 - » Muuten riskiarvio jää alakanttiin → usein haetaan konservatiivisia riskiarvioita, jotka ovat ”yläkanttiin”
 - Eri skenaarioiden sisällä vahingot eivät deterministisiä
 - Eli laaditaanko vähän yleisluontoisia skenaarioita vai paljon paremmin täsmennettyjä?
 - » Haettavat tarkoituksenmukainen tasapaino

Tilastollinen aggregointi

- Riskien aggregointi

$$R = \sum_i f_i c_i,$$

- missä

f_i = i :nnen skenaarion tilastollinen frekvenssi

c_i = odotettu tappio ko. skenaariossa

- Verrataan kahta tapausta

1) Suuronnettomuus

- » Toteutuu todennäköisyydellä 1×10^{-6} / vuosi
- » Odotusarvoinen tappio 1×10^6 henkilön kuolema

2) Pienonnettomuus

- » Toteutuu todennäköisyydellä 0,1/ vuosi
- » Odotusarvoinen tappio 10 henkilön kuolema

- Aggregoidut riskit yhtä suuria, koska $(1 \times 10^{-6}) \times (1 \times 10^6) = (0,1) \times (10) = 1$

- » Kummankin riski siis 1 kuolema/vuosi

- Ei vastaa intuitiivista riskikäsitystä

- » Suuria riskejä halutaan tyypillisesti välttää
- » Yksilöt ja yhteisöt usein riskipakoisia