

Riskianalyysi, luento 1

Risk Analysis, Lecture 1; MS-E2117

Tuomas Raivio

English-speakers: See slides 1-9

MS-E2117 Riskianalyysi/Risk Analysis (5 op) 2024

Tuomas Raivio
Systeemianalyysin laboratorio
Matematiikan ja systeemianalyysin laitos
Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu
PL 11100, 00076 Aalto
tuomas.raivio@aalto.fi

Luentomateriaalit perustuvat osin prof. Ahti Salon ja dos. Jan-Erik Holmbergin aiemmin laatimiin luentomateriaaleihin



Who am I?

- Doctoral dissertation 2000 from the Systems Analysis Laboratory
- Docent in Applied Mathematics and Systems Analysis 2005
- Executive in Residence, 30%, 2023-2025
- Risk Management and impact assessment Consultant
- Special areas of expertise
 - critical infrastructures and security of society
 - major accidents and land use,
 - land use for the green transition
 - Impact assessment in general
- Who are you?



English Summary on Lecture Contents

1. **Introduction: big picture and practicalities; What is risk analysis and reliability technology**
2. **Basics of probability calculation, Bayesian analysis, conducting qualitative risk assessment**
3. **Qualitative risk analysis continues; Statistics-based risk assessment, carrying out quantitative risk assessment; Event tree**
4. Reliability technology 1: fault tree analyses
5. Reliability engineering 2: Common cause failure analysis
6. Reliability engineering 3: Reliability and coherent systems, failure processes and availability
7. **Key systematic risk assessment frameworks**
8. Prioritization of risk factors
9. Risk comparisons and decision-making; Cost-benefit analysis
10. **Risk perception, risk communication and risk management**
11. Recap

*For **bolded** lectures, key material is the lecture materials, and a machine translation will be provided*

Teaching

- Lectures
 - When it comes to qualitative analysis, risk assessment frameworks and risk perception, lecture materials are essential
 - Course book useful in the reliability engineering section
 - Lectures are given in Finnish
- Exercises
 - Joaquín de la Barra
 - Exercises are held in English; The lecturer gives the first exercise in Finnish
 - Up-to-date information on MyCourses
 - In practical matters, please contact the assistant by e-mail (joaquin.delabarra(at)aalto.fi)
- Prerequisites
 - No special prerequisites
 - Basic maths good to master (especially tn calculation)

Home assignments and grading

- Homework assignments
 - 2 pcs., issued during the III and IV teaching periods
 - Assignment independently, overall rating on a scale of 0-10
 - Pls note that the assignments will change from the previous year
- Grading
 - Max 30 points on the exam
 - Max 2 x 5 points for homework assignments
 - Total 40

Calendar

- Lectures (11 pcs) on Tuesdays at 14.15-16
- 16.1.– 9.4.24
- No lecture on 20.2. (week 8)
- No lecture on 2.4. (Easter holiday)
- Exercises on Tuesdays at 6.15-18
 - 16.1.– 9.4.24
 - No exercise on 20.2. (week 8) and on 2.4.
 - Information about changes in lectures and exercises as well as in MyCourses
- Exams spring 2024
 - Course exam 17.4.23
 - Other exams: September, December
 - You must register for other exams in Sisu

Materials

- Lecture materials
- Course book: M. Modarres (2022). Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools, and Trends, Taylor and Francis.
- Strong stance on probabilistic analyses
- Partly arrogant about qualitative risk analysis
- It's cheap and might be worth getting
- Price e.g. www.amazon.de approx. 40 EUR (see Mycourses)
- Other works
 - **B.M. Ayyub (2003). Risk Analysis in Engineering and Economics**, Chapman & Hall.
 - Presents risk valuation extensively
 - Multi-page and 'rambling'
 - **D. Vose (2000). Risk Analysis: A Quantitative Guide**, John Wiley & Sons.
 - Good presentation of expert evaluation
 - Computationally presents only risk simulation (Excel)
 - **T. Bedford & R. Cooke (2001). Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods**, Cambridge University Press.
 - Excellent basic methodology (!)
 - On the other hand, very mathematics-oriented

Questions on the practicalities?

Mikä on riski?

- Riski on **mahdollinen** menetys, vahinko tai haitta
- Yleensä skenaarioon s liittyvään riskiin R kuuluu tietty todennäköisyys p ja seuraus C , ja riski on näiden yhdistelmä: $R=\{s,p,C\}$
- Skenaarioon s liittyvän riskin suuruus on p :n ja C :n funktio
 - Järkevät riskifunktiot ovat monotonisesti kasvavia p :n ja C :n suhteen
 - Usein skenaarioon s liittyvän riskin suuruus = $p \times C$ (eli riski on seurauksen odotusarvo)
- Merkitys vaihtelee sovellusalueittain
 - Riski insinööritieteissä on yleensä väärä toiminto, jossa on vain downside
 - Riski terveys- tai ympäristötieteissä on paljolti samantyyppinen
 - Liikkeenjohdossa riskiin liittyy usein myös upside: tietty toimenpide sisältää sekä hyödyn että menetyksen mahdollisuuden – tärkeää on hallita kokonaisriskiä
- Seurausta C yksinään kutsutaan usein vaaraksi
 - Yleiskielessä riski ja vaara menevät usein sekaisin
 - Myös jos vaara on vakio (esim. kuolema), riski voi tarkoittaa todennäköisyyttä
- Joskus puhutaan myös haavoittuvuudesta, jolloin erotetaan välitön seuraus (onnettomuus tai muu poikkeama) ja välilliset seuraukset (mihin onnettomuus/poikkeama vaikuttaa)

Riski käsitteenä

- Esimerkkejä riskeistä
 - Omaisuuden menettäminen
 - Ympäristön saastuminen
 - Terveysten heikentyminen
- Riskit näkökulmasidonnaisia
 - Toisen tappio voi olla toisen voitto – vrt. kaupanteko
 - Vaihtelevuus (volatiliteetti) sinänsä ei ole riski!
- Riskin suuruutta luonnehtivat
 - Riskin todennäköisyys
 - Tappioiden suuruus
- Riskit voivat
 - Kohdistua järjestelmän ulkopuolisiin tahoihin
 - Jäädä järjestelmän sisäisiksi

Riskin käsite on kehittynyt ja hajaantunut ajan myötä

- Todennäköisyysperustaisia:
 - Riski = Odotusarvo $R = E$
 - Riski = Epätoivotun tapahtuman todennäköisyys $R = P$
 - Riski = Seurausten todennäköisyysjakauma $R = P \& C$
- Epävarmuusperustaisia
 - Riski = Seuraus ($R = C$)
 - Riski = Epävarmuus $R = U$ (Uncertainty)
 - Riski = Seuraus ja siihen liittyvä epävarmuus $R = C \& U$
 - Riski = Epävarmuuden vaikutus tavoitteisiin (ISO)

Henkilöllä voi olla useita rooleja riskienhallinnassa:

- Päätöksentekijä
- Riskistä hyötyjä
- Riskille altistuva
- Asiantuntija

Mihin riskit voivat kohdistua/mikä niitä voi aiheuttaa?

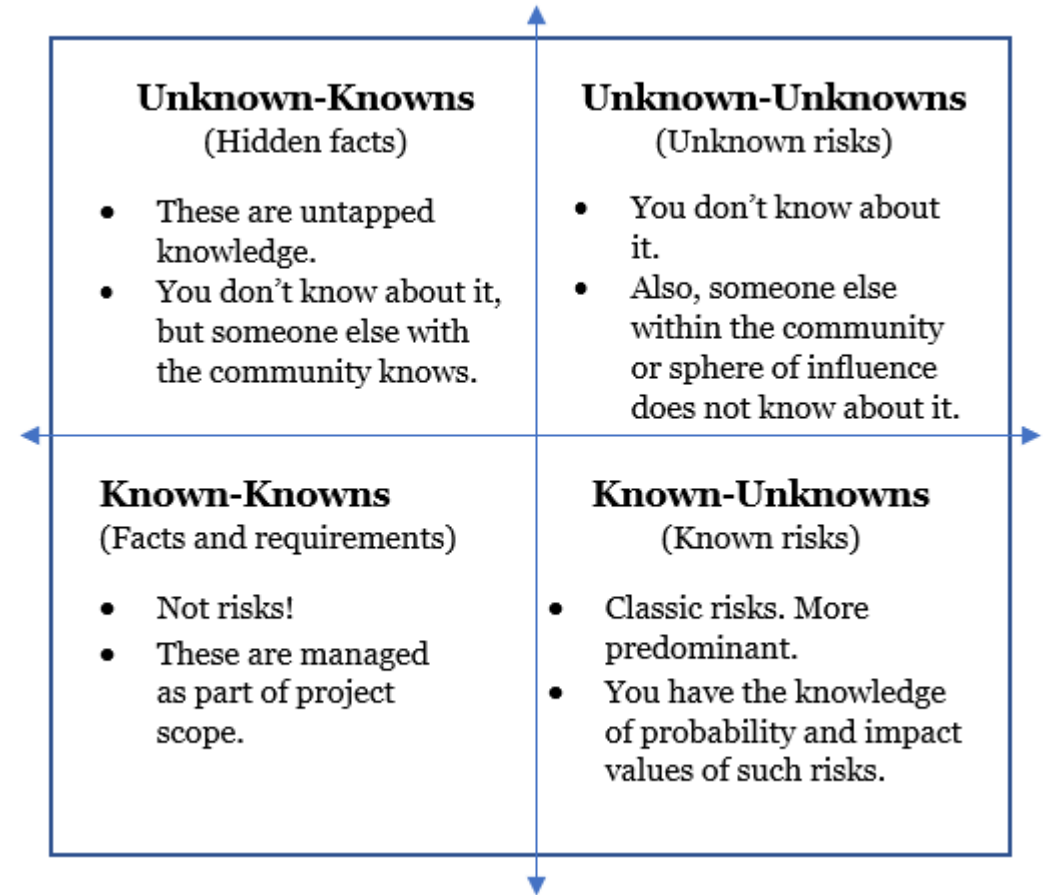
- Terveydelliset riskit
 - Esim. sairastuminen, elämänlaadun heikentyminen, kuolema (ihmiset, eläimet, kasvit)
 - ”Onko sikainfluenssarokotus perusteltu?”
- Taloudelliset riskit
 - Esim. luottotappiot, markkinaosuuden menetys, vakavaraisuuden alentuminen, maksuhäiriö, konkurssi
- Ympäristöriskit
 - Esim. ympäristön saastuminen, ilmaston lämpeneminen, melu; ilmastonmuutos
- Maineriskit
 - Realisoituvat usein taloudellisena ongelmana
- Huomioita
 - Eri riskiluokat kytkeytyvät toisiinsa
 - Soveltuvimmat menetelmät vaihtelevat sovellusalueittain
 - Inhimillisen käyttäytymisen ennakointi on vaikeaa
 - Monien riskien suhteen vakiintuneet normistot
- Eräitä aiheuttajia 1: Onnettomuuksien aiheuttamat riskit
 - Esim. luonnonkatastrofit (maanjäristys, tulivuori jne.), tuotteiden ja järjestelmien pettäminen (liikenneonnettomuudet, tehdaspalot jne.)
- Eräitä aiheuttajia 2: Turvallisuusriskit (security)
 - Esim. sota, terrorismi, poliittinen epävakaus



Muotoile vieruskaverin kanssa muutama riskiskenaario.
Mitä voisi tapahtua? Miksi? Mikä sen aiheuttaisi, mitä siitä seuraisi? Mikä on todennäköisyys, mikä on seuraus?

Riski on eräs tapa kuvata epävarmuutta

- $R=\{S,p,C\}$
 - Onko kaikki skenaariot tunnistettu?
Hidden facts, unknown facts
 - Onko niiden todennäköisyys merkittävä? Mistä se tiedetään?
 - Ovatko tunnetut riskit kiinnostavia?
- Joskus riskiin voidaan liittää myös epävarmuus parametrien suhteen
 - Todellisuudessa todennäköisyydet ovat jakaumia eikä ole selvää miten luotettavia arvot ovat



Aleatorinen ja epistemologinen epävarmuus

- Aleatorinen tai stokastinen epävarmuus viittaa siihen epävarmuuteen, joka johtuu luonnollisesta satunnaisuudesta ja joka ilmenee prosesseissa ja ilmiöissä. Esimerkiksi nopanheitossa lopputuloksen epävarmuus on aleatorista.
- Tämäntyyppinen epävarmuus on usein luonteeltaan objektiivista ja sitä voidaan kuvata todennäköisyysjakaumien avulla
- Aleatorista epävarmuutta voi olla vaikea vähentää
- Epistemologinen epävarmuus syntyy puutteellisesta tiedosta tai ymmärryksestä.
 - **Mittaamisen epävarmuus:** Epävarmuus, joka johtuu mittausten tarkkuudesta tai laitteiston rajoituksista.
 - **Mallinnuksen epävarmuus:** Kun käytetyt mallit eivät täysin tai tarkasti edusta todellisuutta, syntyy epävarmuutta ennusteisiin ja simulointeihin.
 - **Lingvistinen epävarmuus:** Kommunikaation tai kielen monitulkintaisuudesta johtuva epävarmuus.
- Tätä epävarmuutta pidetään yleensä subjektiivisempänä, koska se voi vähentyä, kun saadaan lisää tietoa tai parempaa ymmärrystä tutkittavasta ilmiöstä



Epävarmuuksia ja tietämättömyyttä on paljon

- Ignorance: Tietämättömyys
- Conscious Ignorance: Tietoinen tietämättömyys
- Blind Ignorance: Sokea tietämättömyys
- Inconsistency: Epäjohdonmukaisuus
- Incompleteness: Epätäydellisyys
- Fallacy: Harhaluulo
- Unknowable: Ei tiedettävissä
- Irrelevance: Merkityksettömyys
- Confusion: Sekavuus
- Inaccuracy: Epätarkkuus
- Unknowns: Tuntemattomat
- Untopicality: Aiheettomuus
- Undecidedness: Päättämättömyys
- Conflict: Ristiriita
- Uncertainty: Epävarmuus
- Absence: Poissaolo
- Taboo: Tabu
- Approximations: Lähentymiset
- Likelihood: Todennäköisyys
- Ambiguity: Monitulkintaisuus
- Vagueness: Epämääräisyys
- Coarseness: Karkeus
- Simplifications: Yksinkertaistukset
- Nonspecificity: Epämääräisyys
- Unspecificity: Määrittelemättömyys
- Randomness: Satunnaisuus
- Sampling: Otantamenetelmä

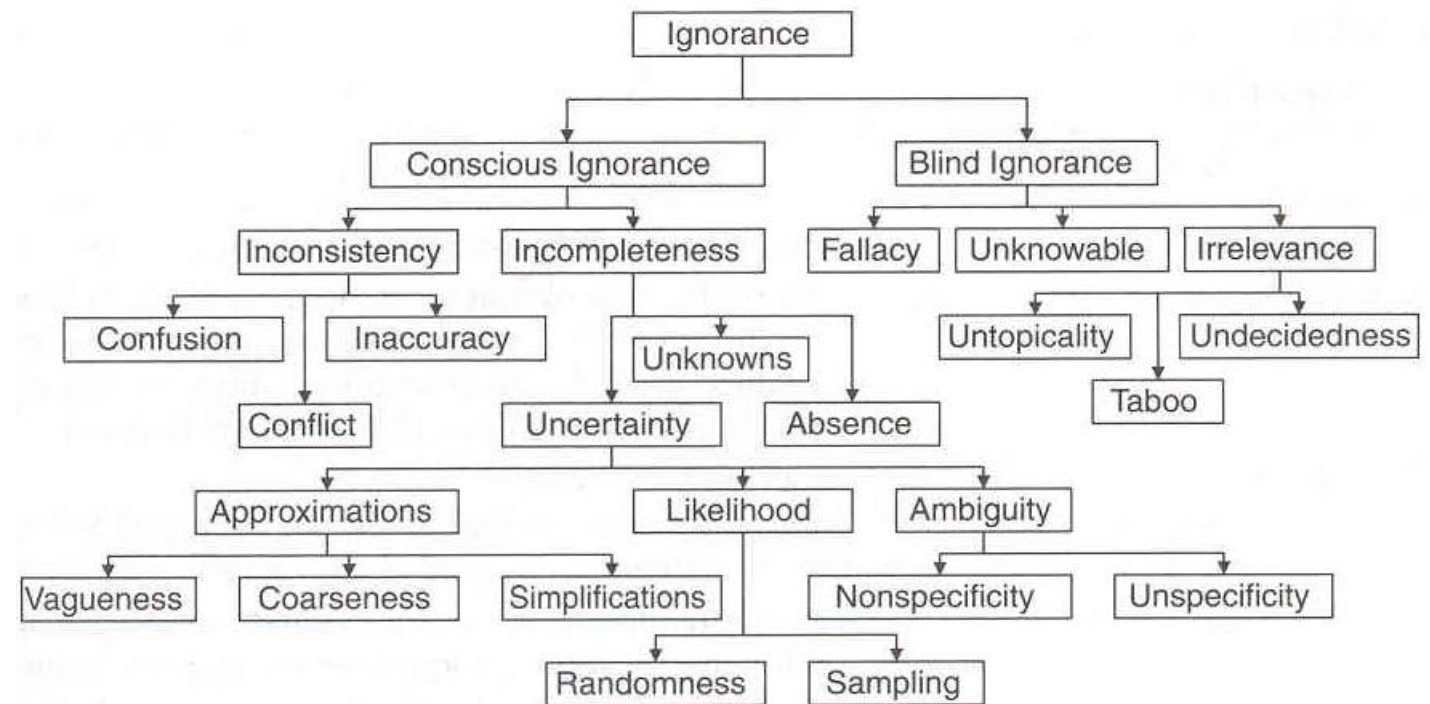
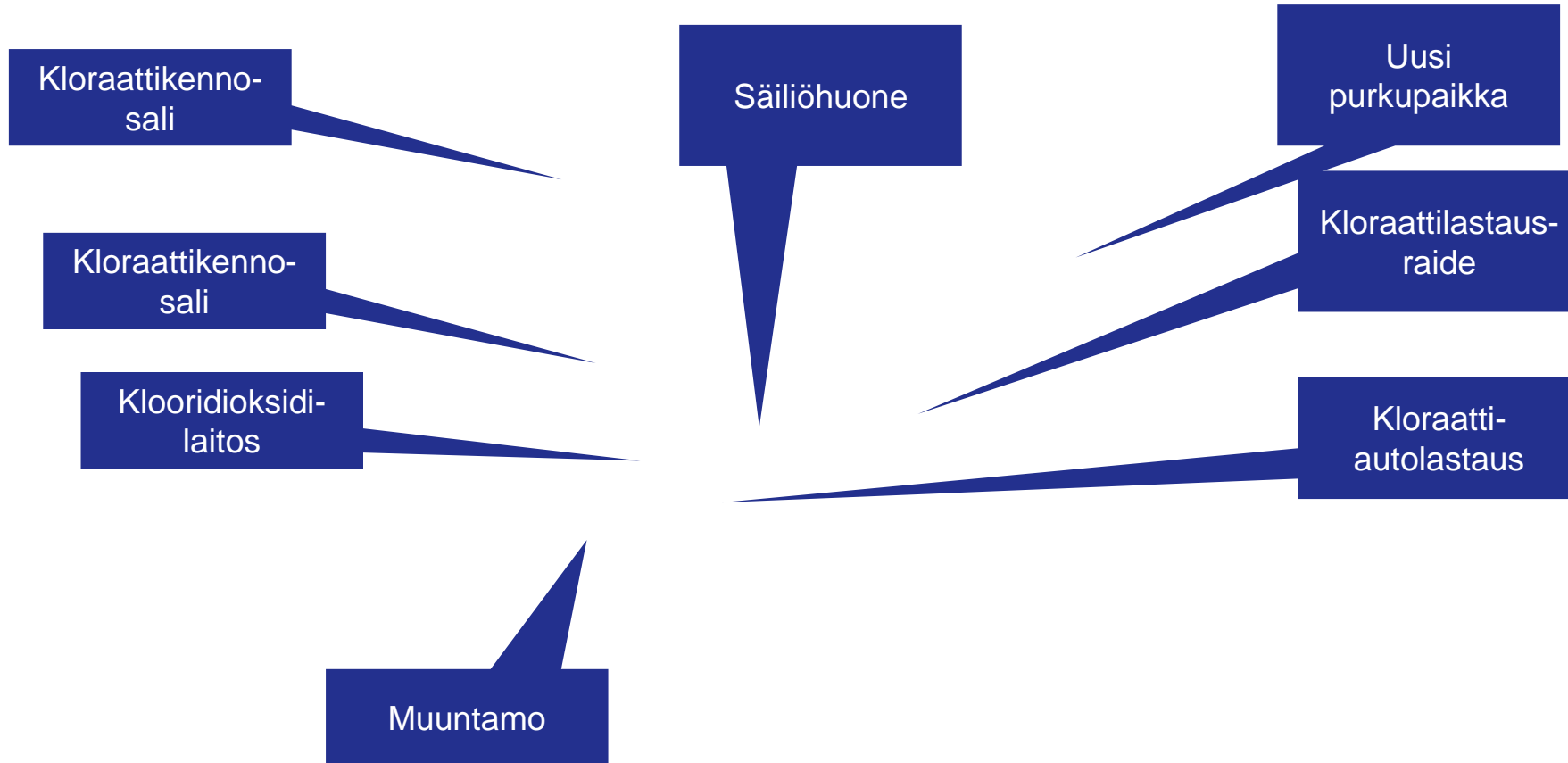


FIGURE 1.9

Ignorance Hierarchy

Klooridioksidin tuotanto

Lähellä kaupungin keskustaa



Chlorine dioxide Results - AEGL Program

Chlorine dioxide 10049-04-4 (Final)

	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
ppm					
AEGL 1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
AEGL 2	1.4	1.4	1.1	0.69	0.45
AEGL 3	3.0	3.0	2.4	1.5	0.98

Leviäminen lammikosta tuulen alapuolelle voidaan selvittää erilaisilla fysikaaliseen kemiaan perustuvilla leviämismalleilla

Kaupunki haluaa rakentaa asuntoja 400 m päähän. Onko tämä ok?

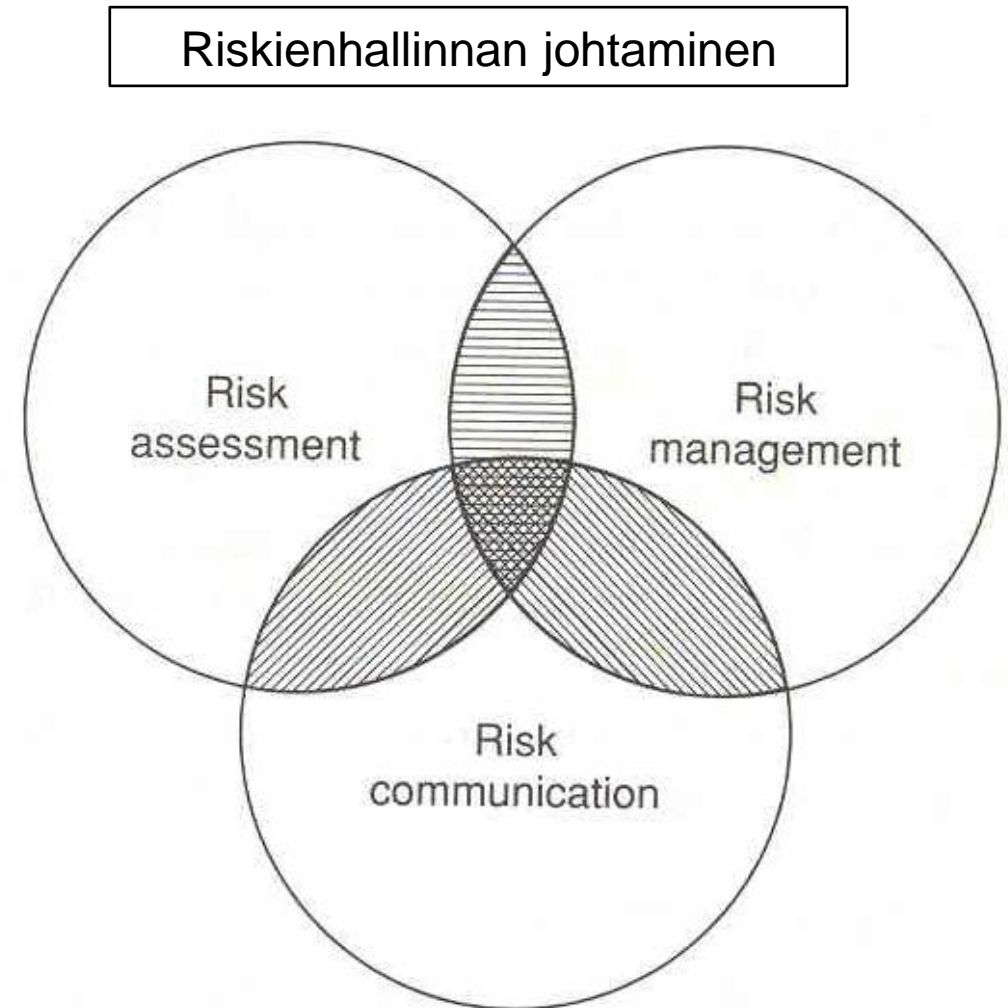


- Mitä säädökset sanovat? Kuka tulkitsee säädöksiä?
- Mikä on hyväksyttävä riski?
- Mikä merkitys on riskin kokemisella?
- Mitä voi tapahtua? (kvalitatiiviset riskianalyysit)
 - Ulkoiset syyt
 - Sisäiset syyt
- Mitä seurauksia tapahtumilla on?
- Mikä merkitys on sillä, että kolme säiliötä muodostavat yhtyvän astian, ja kaikkien sisältö ei mahdu varoaltaaseen, säiliöillä on järjestelmä jolla ne voidaan erottaa?
- Mitä jos erottaminen ei onnistu? Millä todennäköisyydellä näin käy?

Tämäntyyppisiin kysymyksiin haemme tällä kurssilla vastauksia

Riskianalyysi

- **Riskianalyysi on prosessi, joka**
 - Kuvaa ja rajaa mahdollisia tappioita (so. haitallisia seuraamuksia)
 - Välittää tietoa mahdollisten tappioiden olemassaolosta, laadusta, suuruudesta, yleisyydestä, syistä ja epävarmuuksista
- **Riskien arviointi**
 - Määrittää mahdollisen tappion
 - todennäköisyyden (vrt. frekvenssin, jos tilastoja)
 - suuruuden
- **Riskienhallinta**
 - Arvioi ja vertailee riskiin vaikuttavia tekijöitä
 - Rajaa, vähentää ja eliminoi riskejä
- **Riskiviestintä**
 - Välittää tietoa riskeistä ja niitä koskevista riskienhallintatoimenpiteistä päätöksentekijöiden, muiden sidosryhmien ja analyytikoiden välillä
- On muistettava, että riskianalyysi ei tapahdu itsestään, vaan tarvitaan riskienhallinnan johtamista: tavoitteet, prosessit, organisaatio, vastuut, resurssit



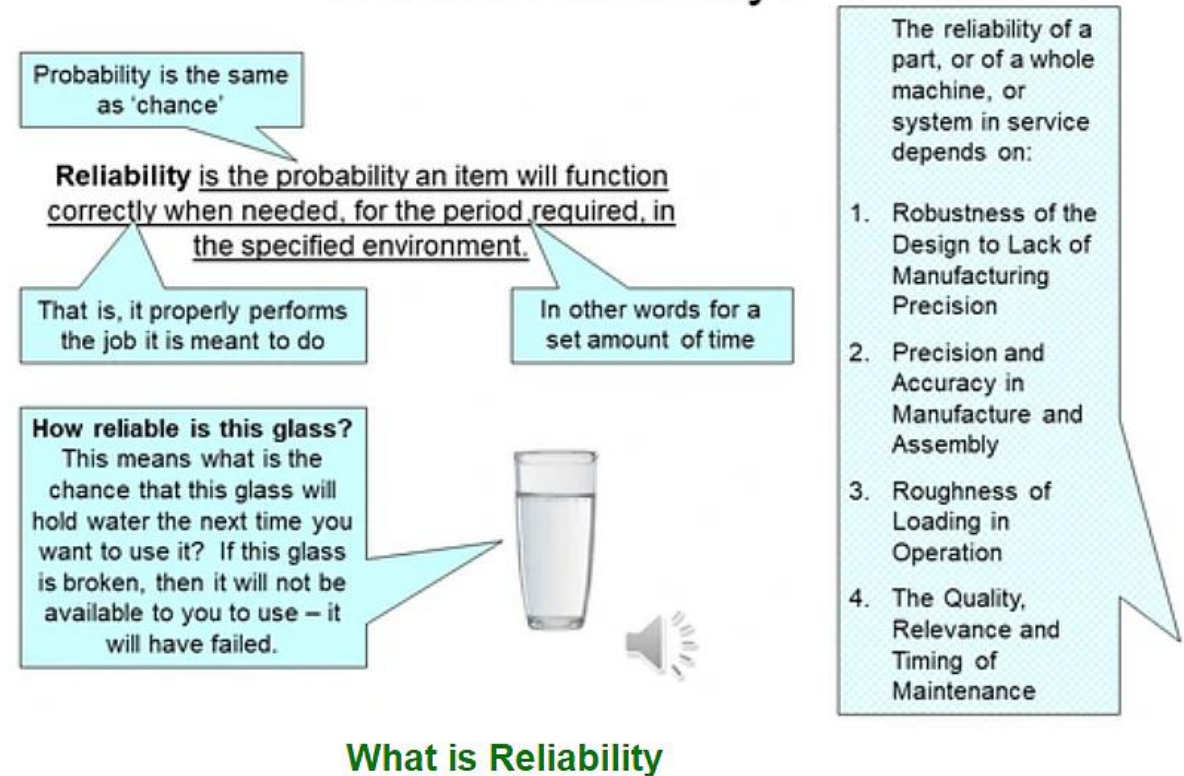
Luotettavuustekniikka on riskienhallinnan erikoistapaus

- Luotettavuustekniikassa vaikutus C on yksinkertaisesti se, että (tekninen) järjestelmä ei toimi (oikein), kun sitä tarvittaisiin
- Luotettavuustekniikka pyrkii etsimään kaikki ne skenaariot S_i , jotka johtavat kyseiseen seuraukseen, ja niiden todennäköisyydet p_i , $p(C,t)$:n arvioimiseksi
- Monimutkaisissa järjestelmissä on huomattavan paljon erityiskysymyksiä, joihin vastaamiseen luotettavuustekniikka on muotoutunut:
 - Paljon komponentteja ja osia
 - Mikä on yksittäisen komponentin kesto ajan funktiona? Miten ikääntyminen vaikuttaa asiaan?
 - Miten käyttöolosuhteet vaikuttavat luotettavuuteen?
 - Vikaantumiset eivät ole riippumattomia - miten tämä huomioidaan?
 - Minkä osan vikaantuminen on kriittisintä?
 - Mitkä osat vikaantuessaan estävät järjestelmän toiminnan?
 - Miten systeemi on korjattavissa?
- On tärkeää ymmärtää, että riskienhallinnan tavoin luotettavuustekniikka on muotoutunut käytännön kysymyksistä omaksi tieteenalaksi
 - Esitetty teoria on hyvin lähellä käytännön kysymyksiä

Juomalasin luotettavuus?

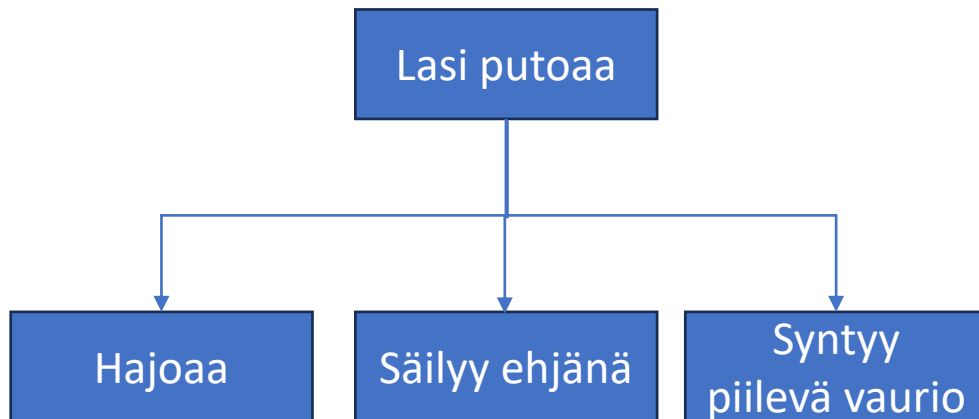
- ”Mitkä ovat mahdollisuudet että seuraavan kerran kun käytät juomalasia, voit juoda siitä?”
- Seuraus C: juomalasi ei toimi (eli se on rikki)
- Skenaariot, tässä vikaantumistavat (Failure Mode Analysis)
 - S1:Pudotus
 - S2:Isku
 - S3:Murskautuminen
 - S4:Lämpötilashokki
 - S5:Piilevä vaurio
- Todennäköisyys p1...p5 hankitaan
 - Historia
 - Tilastot
 - Hallintakeinot
 - Käyttöhistoria
 - Riippunevat ajasta!
- Juhlallinen lopputulos on todennäköisyys sille, että lasi on käytettävissä

What is Reliability?



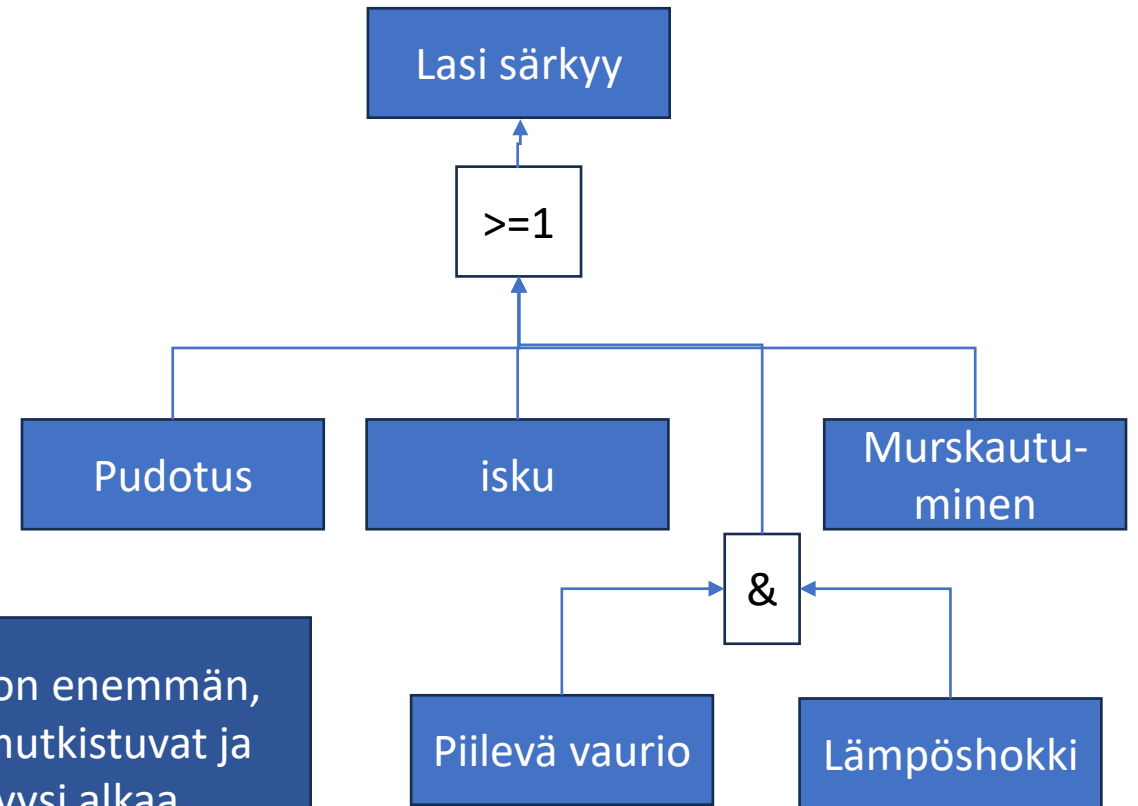
Tapahtumapuut ja vikapuut ovat luotettavuustekniikan keskeisiä analyysikeinoja

- Tapahtumapuu (yhdele vikaantumistavalle)



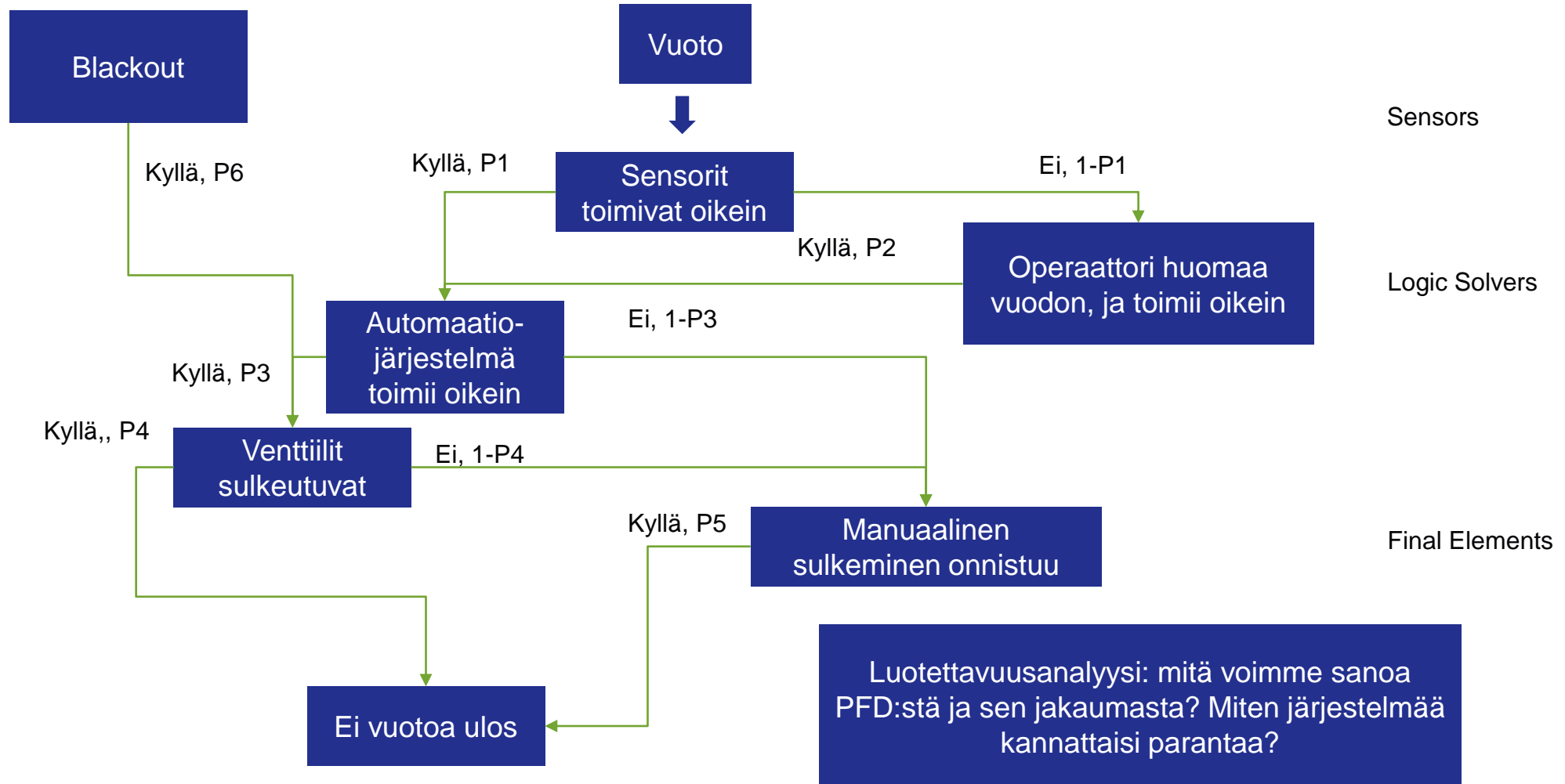
Kun komponentteja on enemmän, puut luonnollisesti mutkistuvat ja varsinainen analyysi alkaa

- Vikapuu lasille



Klooridioksidiesimerkin erottamisjärjestelmän sekvenssikaavio

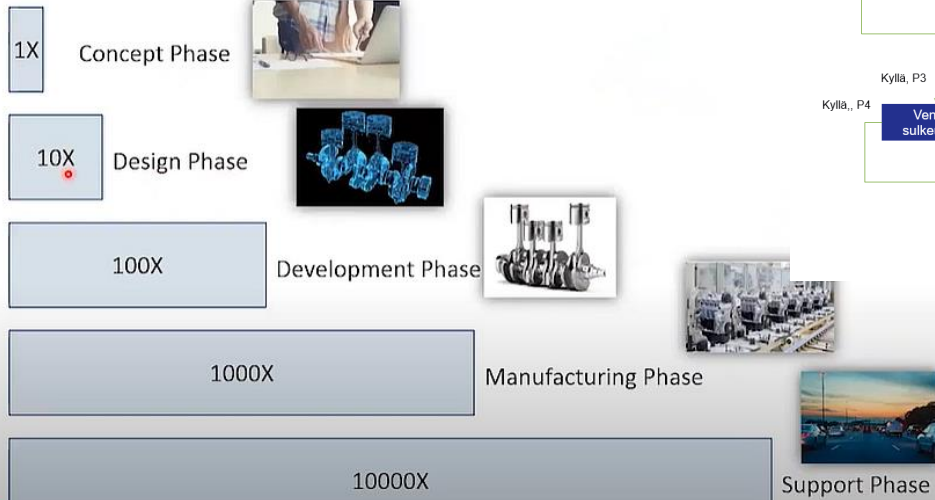
P (ei vuotoa ulos) = $f(P1, \dots, P6)$; $PFD = 1 - P(\text{ei vuotoa ulos})$



Miksi luotettavuus kiinnostaa?

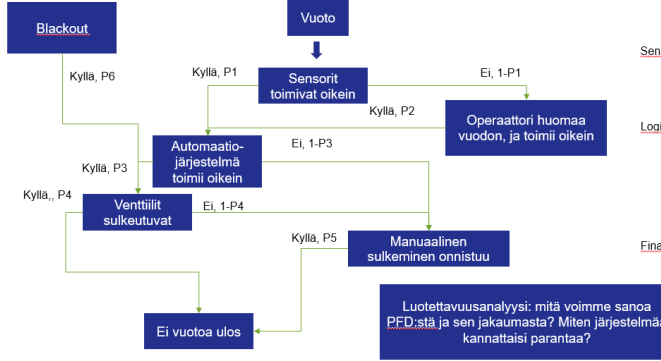
Factor of 10 Rule

The cost of addressing reliability issues increases 10-fold as you move through the development process



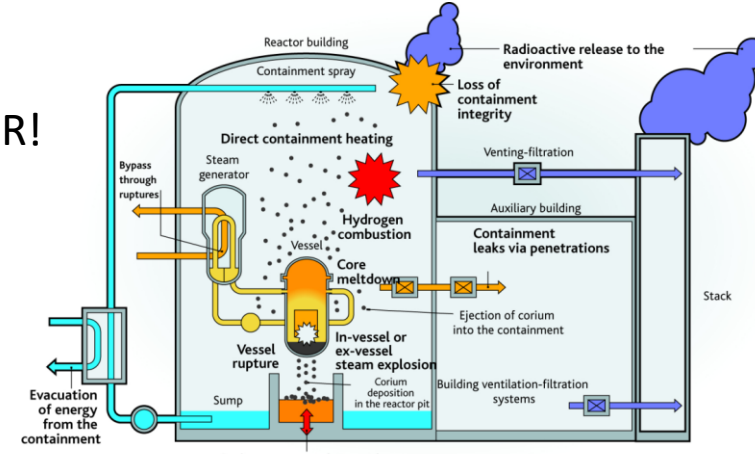
Suojausjärjestelmän tapahtumapuu

P (ei vuotoa ulos) = $f(P_1, \dots, P_6)$; $PFD = 1 - P$ (ei vuotoa ulos)



gaia

SMR!



Software Reliability

www.educba.com

Riskianalyysi vs. luotettavuustekniikka

- **Riskianalyysi** käsittelee ensisijaisesti riskien tunnistamista, arviointia ja priorisointia
 - Se keskittyy ymmärtämään negatiivisten tapahtumien todennäköisyyttä ja niiden mahdollisia vaikutuksia.
 - Tämä sisältää todennäköisyysperusteisen riskinarvioinnin, skenaarioanalyysin ja epävarmuuksien arvioinnin
 - Monissa käytännön sovelluksissa riskianalyysi nojaa luotettavuustietoihin
- Järjestelmän vikaantumisen tai alisuoriutumisen todennäköisyys (keskeinen tekijä riskianalyysissä) johdetaan usein luotettavuusanalyysistä
- Ilmailu- ja avaruusteollisuuden, ydinenergian ja maa- ja vesirakentamisen kaltaisilla aloilla riski- ja luotettavuusanalyysien integrointi on ratkaisevan tärkeää turvallisuuden ja toiminnan tehokkuuden kannalta
- **Luotettavuustekniikka** keskittyy todennäköisyyteen, että järjestelmä tai komponentti suorittaa vaaditun tehtävänsä ilmoitetuissa olosuhteissa tietyn ajan.
 - Analyysi koskee järjestelmän vikatiloja, käyttöikää ja suorituskyvyn heikkenemistä.
- Nykyään on tapana integroida näitä aloja, erityisesti järjestelmäriskien ja monimutkaisten järjestelmien analyysin yhteydessä
 - Luotettavuusanalyysi edistää riskinhallintaa kvantifioimalla riskin todennäköisyyttä eri tilanteissa
 - Riskianalyysin oivallukset puolestaan voivat auttaa luotettavuussuunnittelussa korostamalla alueita, jotka edellyttävät vankempia suunnittelu- tai ylläpitostrategioita
- Kurssilla käsitellään asioita limittäin

Riski: mitä voi tapahtua, millä todennäköisyydellä ja mitä siitä seuraa

Luotettavuus: Todennäköisyys, että järjestelmä suorittaa vaaditun toiminnon virheettömästi määritetyissä olosuhteissa tietyn ajan.

Kurssi pyörii seuraavien kysymysten ääressä

A: Riskienarviointi

- Mikä meitä uhkaa?
- Miten tunnistamme kaikki relevantit skenaariot?
- Miten arvioimme skenaarioiden todennäköisyydet?
- Miten teemme tämän teknisissä järjestelmissä?
- Miten arvioimme skenaarioiden vaikutukset?

B: Riskienhallinta

- Millaisia riskejä haluamme ottaa?
- Mitkä ovat keskeisiä riskejä?
- Miten kommunikoimme tulokset?
- Miten huomioimme riskin kokemisen?
- Mitä teemme keskeisille riskeille?
- Miten vähennämme tehokkaimmin riskejä?

C: Riskienhallinnan johtaminen

- Miten saamme riskienhallinnan tapahtumaan?

Tuplatiimi:

Mitkä ovat odotukseni tälle kurssille?
Miten ne suhtautuvat laajemmin
oppimistavoitteisiisi?
Mikä minua huolettaa kurssin
suorittamisessa?
Millainen opettajan tuki olisi parasta?

Millaisia oppimistavoitteita asettaisin
itselleni tällä kurssilla?

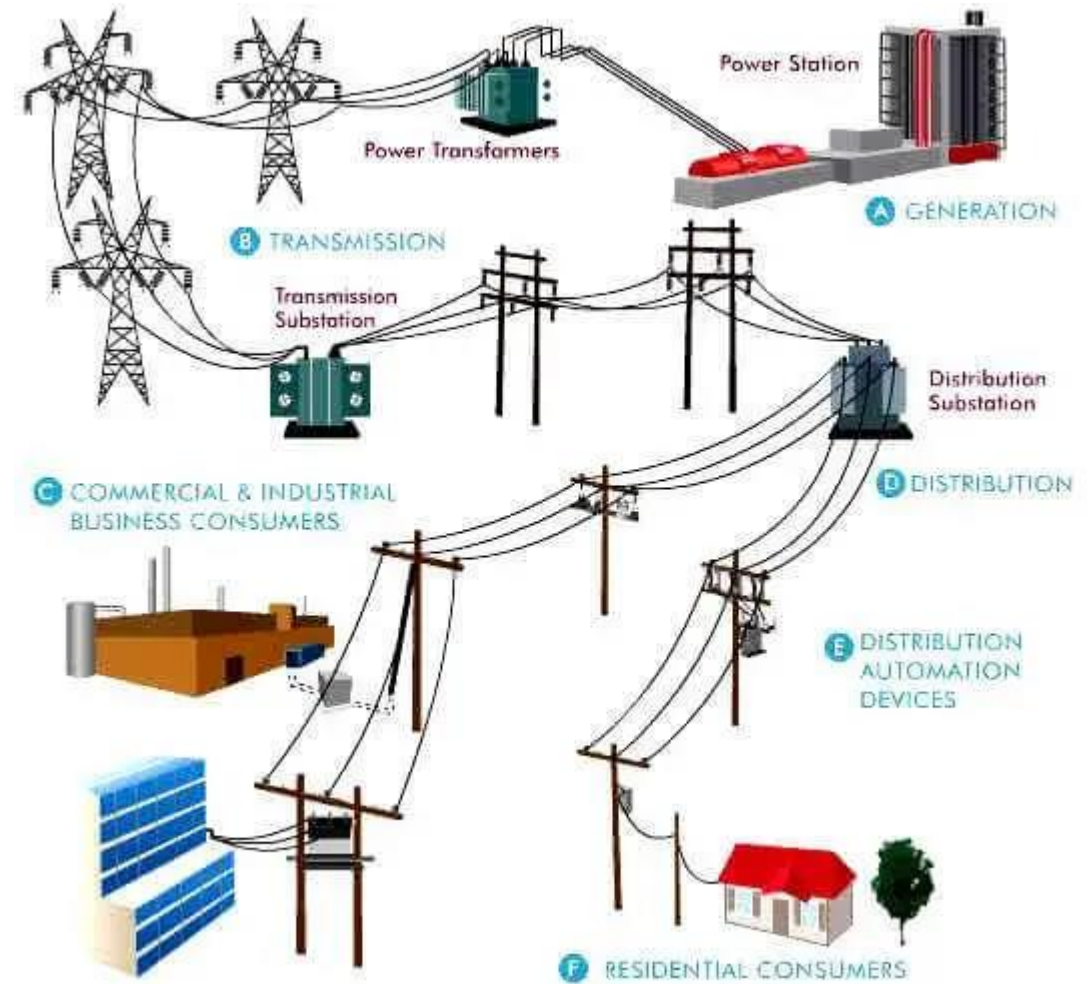
Kurssin oppimistavoitteet

- (Ruuvataan näitä palautteenne perusteella)
 - Perehdyttää riskianalyysin ja luotettavuustekniikan (reliability engineering) termeihin ja käsitteistöön
 - Luo pohjan keskeisimpien menetelmien ja työkalujen soveltamiselle
 - Antaa valmiudet laatia ja arvioida teknistaloudellisia järjestelmiä koskevia riskianalyysyjä
 - Kehittää näkemystä riskianalyysin rajoitteista
Ei paneuduta teknisiin erityisaloihin
 - Tämä osaaminen syntyy tekniikan eri kursseilla
 - Painopiste kvantitatiivisissa menetelmissä
 - Nämä ovat vaativampia opittavaksi
 - Käsitellään myös kvalitatiivisia menetelmiä

Tauko

Esimerkki sähköntuotannosta

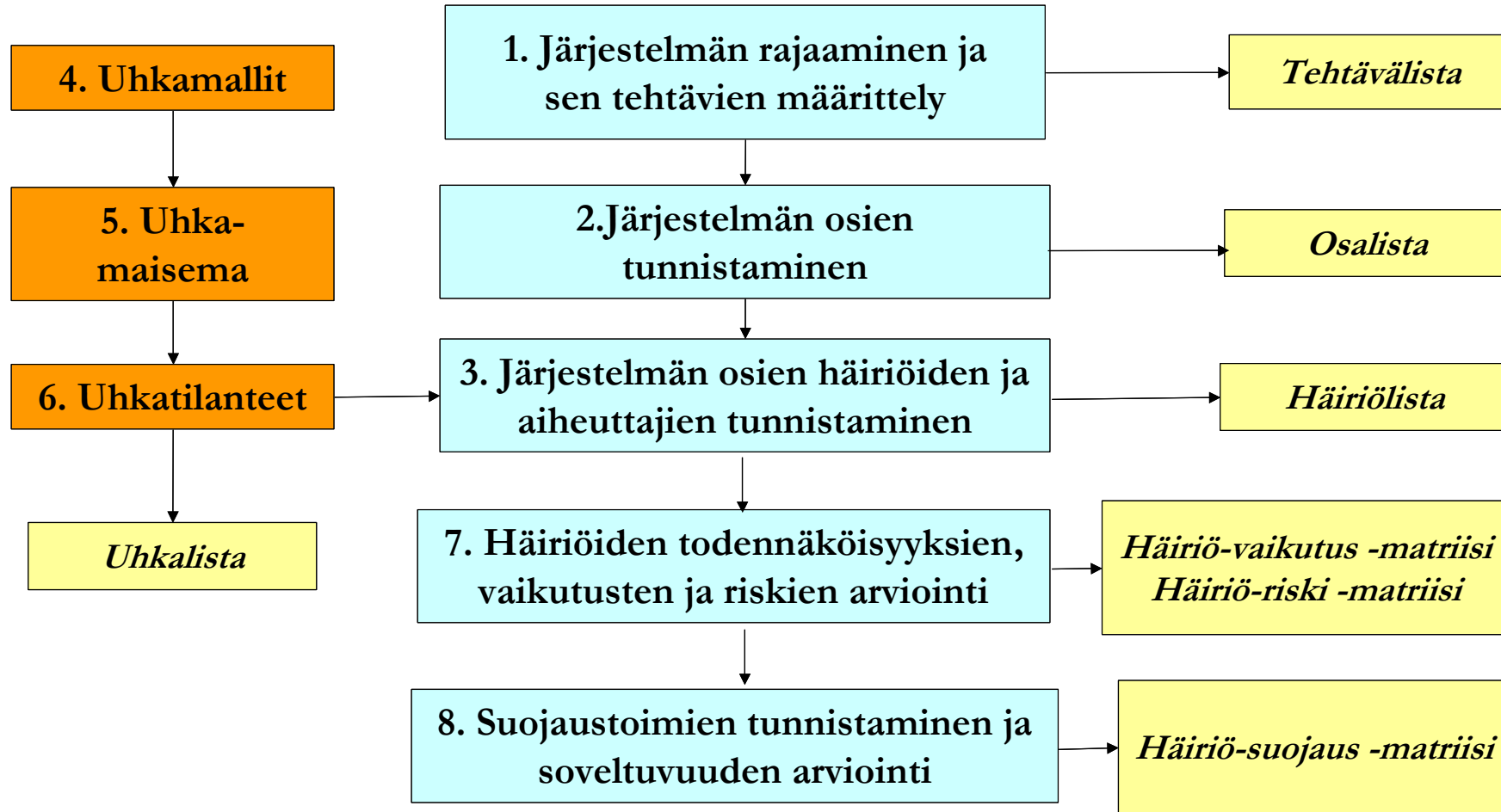
- **Tuotantolaitokset:** - Ydinvoimalat, vesivoimalat, tuulivoimalat, aurinkovoimalat, fossiilisten polttoaineiden voimalat...
- **Muuntajat:** - Nostavat tai laskevat sähkön jännitettä tehokkaaseen siirtoon ja jakeluun
- **Siirtoverkko:** - Korkeajännitelinjat, jotka kuljettavat sähköä tuotantolaitoksista kulutusalueille
- **Jakeluverkko (keski- ja pienjänniteverkko):** - Kuljettaa sähköä siirtoverkosta loppukäyttäjille
- **Ohjaus- ja hallintajärjestelmät:** - Ylläpitävät sähkön tasapainoa, hallitsevat kuormitusta ja monitoroivat järjestelmän tilaa reaaliajassa, esim. SCADA, verkkotietojärjestelmät
- **Varajärjestelmät:** - Akut, varavoimalat ja muut mekanismit, jotka voivat toimittaa sähköä hätätilanteissa tai huipputehon aikana.
- Sähköverkko on suurin ihmisen rakentama kokonaisuus
- **Keskeisin ongelma: ei sähköä**



Laajojen sähköhäiriöiden ennakoiva riskianalyysi

- 6 jakeluyhtiön ja Huoltovarmuuskeskuksen rahoittama projekti
- Tavoitteet:
 - Tunnistaa yhteistyössä ennakoivasti sellaiset häiriöt ja niiden aiheuttajat, jotka voivat johtaa laajoihin sähkönjakelun häiriöihin
 - Arvioida tunnistettujen häiriöiden todennäköisyydet, vaikutukset ja riskit kunkin osallistuvan yhtiön verkkoyhtiön alueella
 - Tunnistaa yhteisesti tehokkaita suojautumiskeinoja havaittuja uhkia vastaan
 - Arvioida kunkin yhtiön kannalta suotuisimmat suojauskeinot havaittujen riskien torjumiseksi

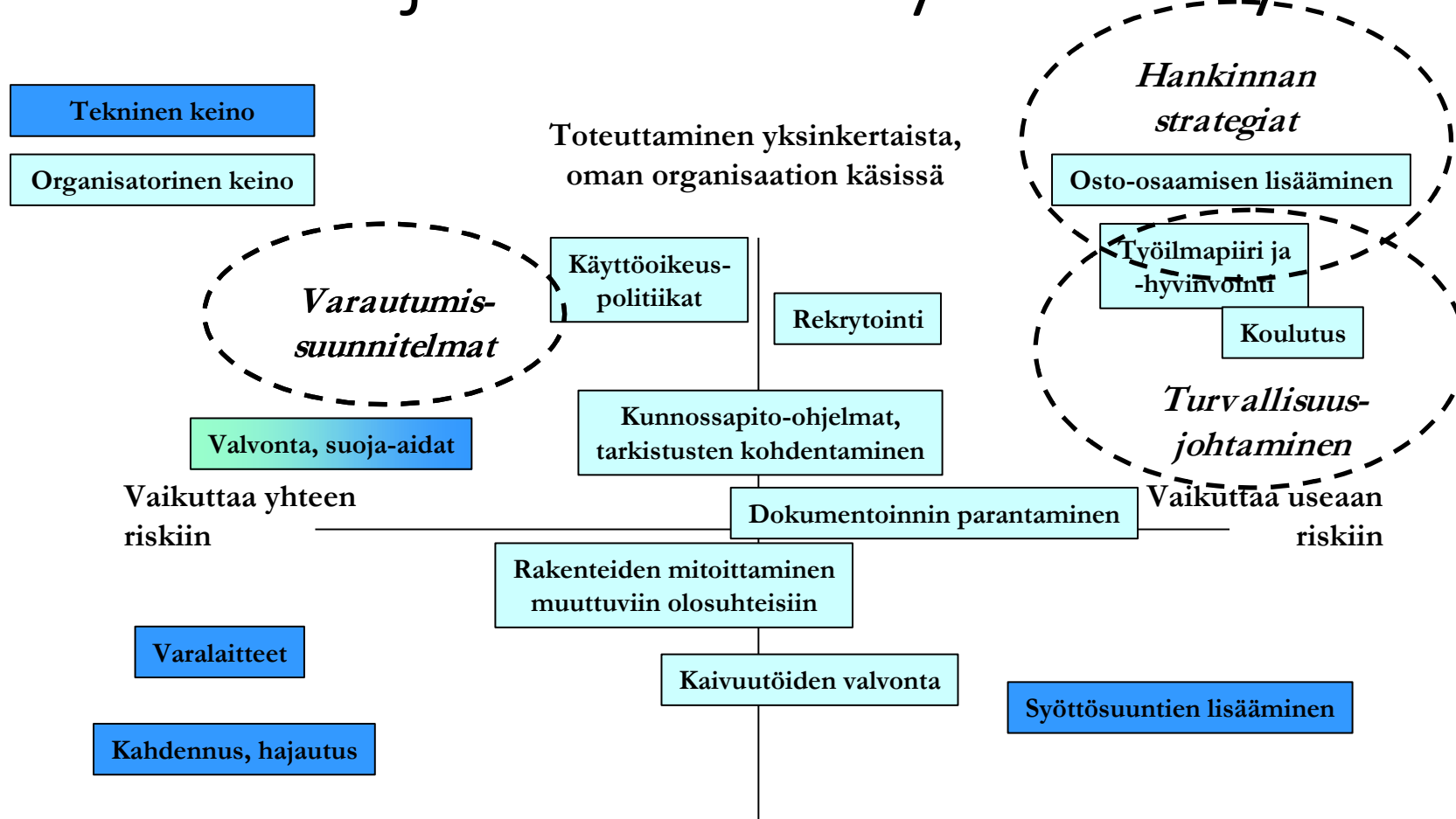
Menetelmä



Keskeisimpiä riskejä

	VIKA	Kuvaus	Konsensus			riskiluokka	KAH-riskiluokka
			tn	seuraus	KAH mi		
			mo	mo	mo		
Usea 20 kV:n johtolähtö	Vika 4b:	20 kV:n ilmajohtoverkon laaja vaurioituminen	4	2	4	3	5
Valvomohenkilöstö	Vika 18c:	Toimii tahallaan väärin pyrkien aiheuttamaan vahinkoa (sabotaasi)	1	4	5	3	4
Viestintäyhteydet (VHF, kännykkä, Virve)	Vika 19a:	Ei toimi vikatilanteessa	4	2	3	3	4
110/20 kV:n päämuuntaja	Vika 8a:	Päämuuntajan sisäinen vika (sis. käämikytkimen)	3	3	3	3	3
20 kV:n sähköasema-kojeisto	Vika 11a:	Kojeiston vaurioituminen	3	3	3	3	3
Suojauksista vastaavat henkilöt ym. asiantuntijat	Vika 14a:	Ei toimi tai toimii väärin tahattomasti; erityisesti tilanne, jossa suojaus on pois käytöstä, kun tulee vika	4	2	2	3	3
Suojauksista vastaavat henkilöt ym. asiantuntijat	Vika 14c:	Toimii tahallaan väärin pyrkien aiheuttamaan vahinkoa (sabotaasi)	1	4	4	3	3
Liityntä kantaverkkoon	Vika 1a:	Kantaverkosta ei saada lainkaan sähköä	3	2	4	2	4
Liityntä kantaverkkoon	Vika 1b:	Kantaverkosta on saatavissa riittämätön määrä sähköä kulutukseen nähden JA tuotanto ei riitä tehovajeen paikkaamiseen	3	2	4	2	4
Liityntä kantaverkkoon	Vika 1c:	Kantaverkossa vakava taajuusvirhe	3	2	4	2	4
Liityntä voimalaitoksiin	Vika 2a:	Yhteydet kaikkiin verkkoalueen voima-laitoksiin on menetetty eikä kantaverkosta saada lainkaan korvaavaa tehoa	3	2	4	2	4
110 kV:n siirtoverkko	Vika 3b:	Kaapeliverkon maa-/oikosulku JA verkon poikkeava käyttötilanne (osa verkosta on pois käytöstä)	3	2	4	2	4
Tietoliikenneyhteydet	Vika 12a:	Ei toimi JA mikä tahansa sj-vika tai poikkeava kuormitustilanne => ei tule informaatiota kaukokäyttöön	3	2	4	2	4
Korjaus- ja käyttöhenkilöstö	Vika 16a:	Ei toimi tai toimii tahattomasti väärin JA tulee vika	4	1	3	2	4

Tärkeimmät suojaustoimet ryhmiteltyinä



Riskienhallinnan historiaa ja kehityspolkuja



Ennen ei tarvittu riskianalyysiä

- Ennen valistuksen aikaa esimerkiksi Euroopassa vallitsi tulevaisuuden suhteen usein ennaltamäärätty ja fatalistinen käsitys, joka perustui pääasiassa uskonnollisiin ja myyttisiin näkemyksiin. Tämä käsitys ilmeni usein seuraavilla tavoilla:
 - 1. Uskonnolliset käsitykset:** Euroopassa vallitsevat kristilliset uskomukset vaikuttivat suuresti ihmisten näkemyksiin tulevaisuudesta. Elämän kulku ja tulevaisuuden tapahtumat nähtiin usein Jumalan tahdon ja suunnitelman mukaisina. Esimerkiksi katolisen kirkon opetukset ja Raamatun tarinat tarjosivat viitekehyksen, jonka mukaan ihmiset tulkitsevat tapahtumia ja odottivat tulevaisuutta.
 - 2. Kohtalo ja ennustaminen:** Kohtalon käsite oli merkittävä. Monet uskoivat, että ihmisen elämänpolku oli ennaltamäärätty, ja tähän liittyen astrologia, ennustaminen ja oraakkelit olivat suosittuja keinoja saada tietoa tulevasta.
 - 3. Historiallinen syklisyys:** Ajatus historiallisesta syklisyydestä oli myös yleinen. Tämä käsitys perustui ajatukseen, että historia toistaa itseään ja että tulevaisuus on vain uudelleen toistuva menneisyys.
 - 4. Yhteiskunnan jäykkyys:** Feodaalinen järjestelmä ja yhteiskunnallinen luokkajako loivat käsityksen, että yhteiskunnallinen asema oli pysyvä ja muuttumaton. Tämä vahvisti käsitystä, että yksilön tulevaisuus oli pitkälti määrätty syntymästä lähtien.

Valistuksen aika muutti asioita

- Valistuksen aikakaudella tämä käsitys alkoi muuttua, kun rationaalinen ajattelu, tieteellinen tutkimus ja individualismi alkoivat korostua. Tämä johti yhä enemmän siihen uskoon, että ihmiskunta pystyy vaikuttamaan ja muokkaamaan omaa tulevaisuuttaan.
- **Ajatus siitä, että tulevaisuus perustuu muuhunkin kuin vain jumalien päähänpistoihin, oli vallankumouksellinen ajatus**
- Se on myös hyvin nuori ajatus - vain 350 vuotta erottaa nykyiset riskinarviointitekniikat päätöksistä, joita ohjasivat taikausko, sokea usko ja vaisto.
- (Googlatkaapa muuten "Kandiaronk" – valistuksen ajan alkuideat saattavat olla lähtöisin Pohjois-Amerikan alkuperäiskansoilta)

Riskianalyysin sijaan varauduttiin

- Varhaisimmat riskienhallinnan ajatukset liittyivät ilmeisesti aikansa bisnekseen ja elämään ja toimivat riskin **jakamisen** pohjalta
 - Merenkulun bottomry*-sopimukset jo 4000-3000 eaa: laiva varustettiin lainalla, jota ei tarvinnut maksaa takaisin jos laiva menetettiin; korko kattoi riskin
 - Bottomry-sopimukset mainitaan myös Hammurabin laissa
 - Roomassa oli hautajaisyhdistyksiä, jotka vastasivat jäsentensä hautajaiskuluista kuukausimaksua vastaan
 - jo 1400-luvulla merenkulun vakuuttaminen oli jo kehittynyt pitkälle
 - Keskiajan kiltatoiminta oli riskin jakamisen muoto – muut tukivat epäonnea kohdanneita jäseniään
- Vähitellen siirryttiin kohti riskin **siirtämistä** - **vakuutusyhtiöt syntyivät**
 - Lontoon suuren palon jälkeen 1666 alettiin myydä palovakuutuksia
 - Henkivakuutuksia alettiin kaupata systemaattisesti 1700-luvulla
 - Valitettavasti liiketoiminta oli huonosti säädeltyä, joten riski ei oikeasti siirtynyt

Siirtämiseen sijaan hallintaa?

- Vasta 1900-luvulla alettiin liikkeenjohdossa pohtia, olisiko riskin siirtämisen sijaan mahdollista huolehtia riskeistä jotenkin itse
 - Alettiin tarkemmin arvioida, mitä riskejä voidaan pitää
 - Voitaisiinko riskejä myös estää tai niiden seurauksia pienentää?
 - Syntyi vakuutettavien riskien hallinta
- 1970-luvulla alettiin tarkemmin pohtia mahdollisuuksia ja vaaroja, joita liittyi esimerkiksi valuuttakurssien vaihteluun, hyödykkeiden hintoihin, korkotasoihin ja pörssikursseihin
 - Rahoitusriskien hallinta alkoi kehittyä
 - Samaan aikaan alkoi myös erilaisten rahoitusriskiä siirtävien instrumenttien, kuten futuurien, optioiden ja vaihtovelkakirjojen kehitys

Voisiko nämä yhdistää?

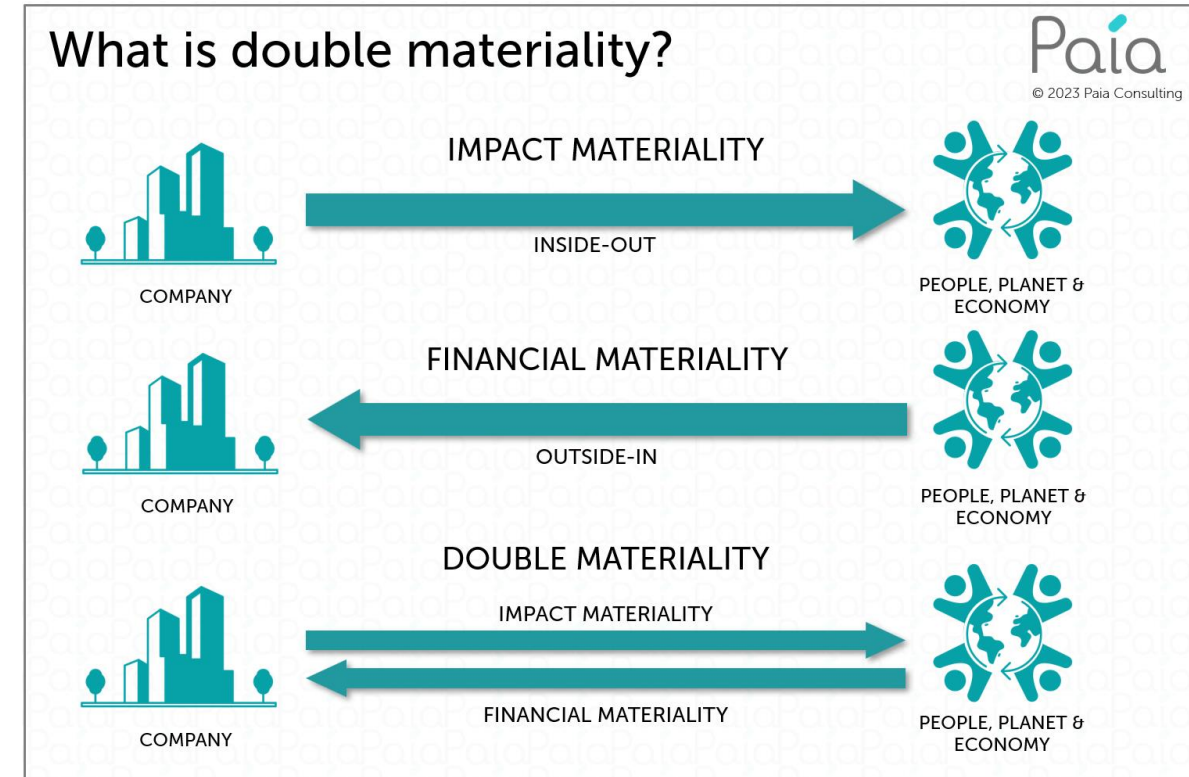
- Oivallus 1: Vakuutettavat riskit ja rahoitusriskit ovat osa samaa kokonaisuutta, sillä vakuutuksen ostaminen ja riskin jakaminen rahoitusinstrumenteilla on sama juttu
 - On syntynyt jopa oma riskinsiirtoinstrumenttien ryhmä, joka kattaa molemmat riskit
- Oivallus 2: Riskienhallinta osana liikkeenjohtoa kuuluu samaan pakettiin
 - Varautumissuunnitelmia ja liiketoiminnan jatkuvuussuunnitelmia oli tehty pitkään osana yritysten johtamista
 - Niiden haasteena kuitenkin oli niiden operatiivisuus ja rajautuminen muualla päätetyn strategian toteuttamisen
- **Näistä kaikista tulisi päättää yhtäikaa**

Enterprise Risk Management

- Yrityksen riskien hallinta, tai enterprise risk management (ERM), on kattava lähestymistapa organisaation riskien tunnistamiseen, arviointiin, hallintaan ja hallintaan.
- ERM:n tavoitteena on luoda systemaattinen prosessi riskien **jatkuvaksi** ymmärtämiseksi ja niiden vaikutusten minimoimiseksi organisaation tavoitteiden kannalta.
- Lähestymistapa on laaja-alainen ja sisältää kaikenlaiset riskit, joita yritys saattaa kohdata, mukaan lukien rahoitusriskit (taloudelliset riskit), strategiset riskit sekä vakuutettavat/operatiiviset riskit
- ERM:ssä korostetaan riskien integroitua hallintaa koko organisaatiossa, ja se pyrkii ylittämään siiloutuneet riskienhallintamenetelmät
- Se käsittää riskienhallinnan strategisen osana päätöksentekoa, ja sen tavoitteena on edistää organisaation kokonaisvaltaista vakautta ja menestystä

CSRD-direktiivi ja kaksoisolennaisuusanalyysi

- CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive):
 - EU:ssa suurten yhtiöiden ja julkisesti noteerattujen yhtiöiden on kohta julkaistava säännöllisesti raportteja kohtaamistaan sosiaalisista ja ympäristöriskeistä sekä siitä, miten niiden toiminta vaikuttaa ihmisiin ja ympäristöön.
- Vastuullisuudessa lähtökohtana on keskittyä olennaiseen
- Olennaisuusanalyysissä selvitetään,
 - Mihin yritys voi vaikuttaa
 - Mihin yritys ja sen sidosryhmät haluavat yrityksen vaikuttavan
- Kaksoisolennaisuusanalyysissä (Double Materiality Analysis) selvitetään lisäksi, mitä taloudellisia, ympäristöllisiä ja sosiaalisia uhkia ja mahdollisuuksia yrityksen toimintaympäristössä on
- ERM on näin sementoitu osaksi vastuullisuutta



<https://paiaconsulting.com.sg/demystifying-the-double-materiality-debate/>

Entäpä tekniset järjestelmät?

- Varhaiset tekniset järjestelmät olivat suhteellisen yksinkertaisia
 - Myös ihmiselämän arvo oli keskimäärin vähäinen ja asukastiheydet pieniä
- Teollistumisen aikaan riskienhallinnalle alkoi muodostua jonkinlaista kysyntää
 - Riskienhallintaa nykymuodossaan ei ollut
 - Virheistä ja onnettomuuksista oppiminen
 - Suunnittelun jatkuva parantaminen ja iteratiivinen kehitys
- Juna ja tehtaat toivat höyrykoneet ihmisten ilmoille ja alkoivat altistaa vaaralle useita henkilöitä
 - Kaupungistuminen lisäsi haavoittuvuutta
 - 1800-luvun alkupuolella tapahtui paljon höyrykoneiden boileriräjähdyksiä, joissa kuoli paljon ihmisiä, mikä johti säädöksiin ja turvallisuusstandardeihin

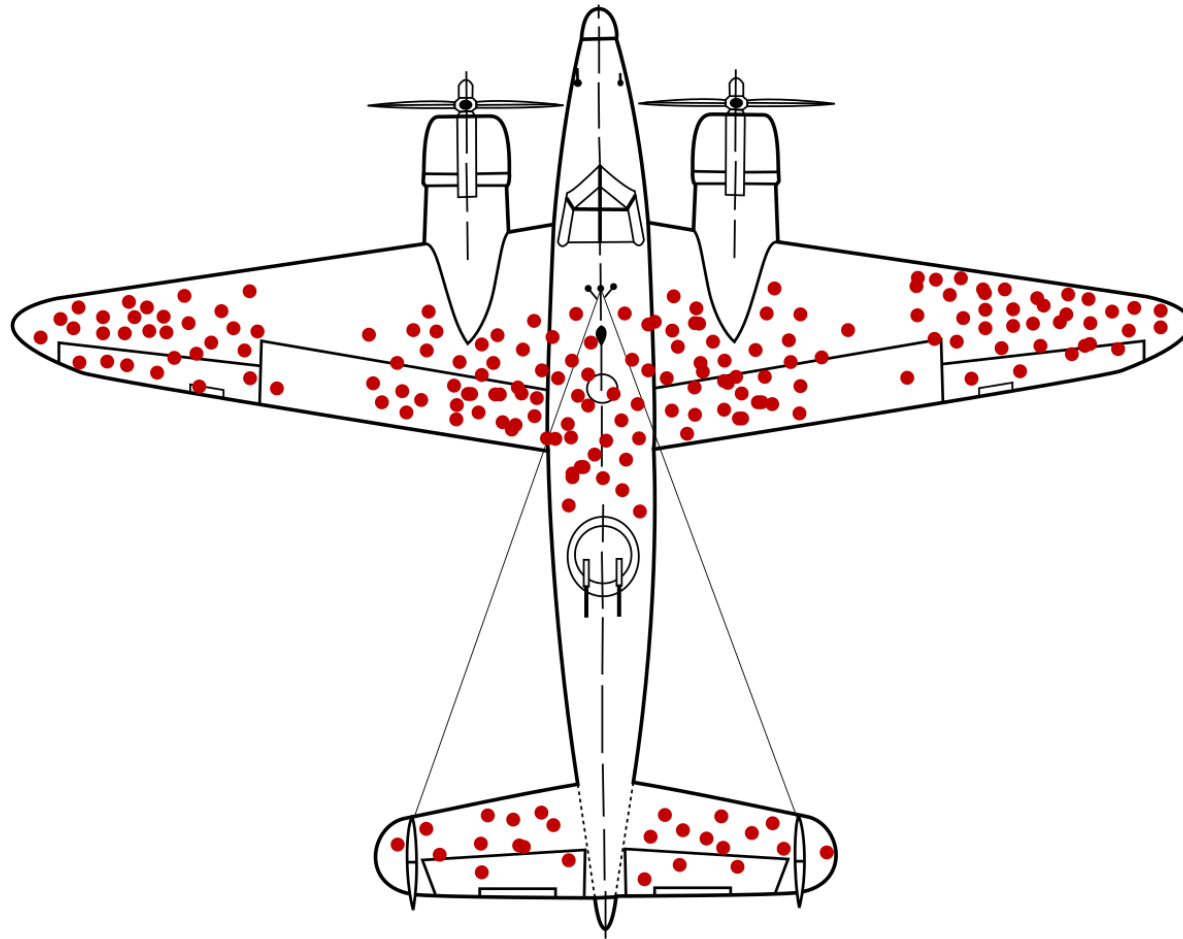
Ydinvoima riskianalyysin ajurina

- 1940-luvulla Manhattan-projektissa riskienhallinta oli paljolti determinististä ja perustui arvioihin
 - Esimerkiksi plutoniumreaktorin ainevahvuudet valittiin laskettujen eri yksiköiden alasajoaikojen perusteella niin, että ydin ei ehdi sulaa hätätilanteessa
 - Toimivuus varmistettiin esimerkiksi kahdennuksilla
- 1950-luvulla oltiin tultu tilanteeseen jossa ydinvoima alkoi altistaa suuria ihmismääriä kuolemalle
 - Oli pakko alkaa kehittää riskienhallintaa
- Pitkään oltiin sitä mieltä, että ytimen sulamisen todennäköisyyttä ei pystytä laskemaan
- Todennäköisyysnäkökulma ja riskin kvantifiointi saivat jalansijaa ja moderni riskianalyysi alkoi kehittyä
 - Kvalitatiiviset menetelmät
 - Quantitative Risk Assessment (QRA), Probabilistic Risk Assessment (PRA), Probabilistic Safety Assessment (PSA)
- Esimerkiksi kurssilla esiteltävä Farmerin käyrä on alun perin lähtöisin ydinvoimaloiden turvallisuusarvioinneista

Ilmailu

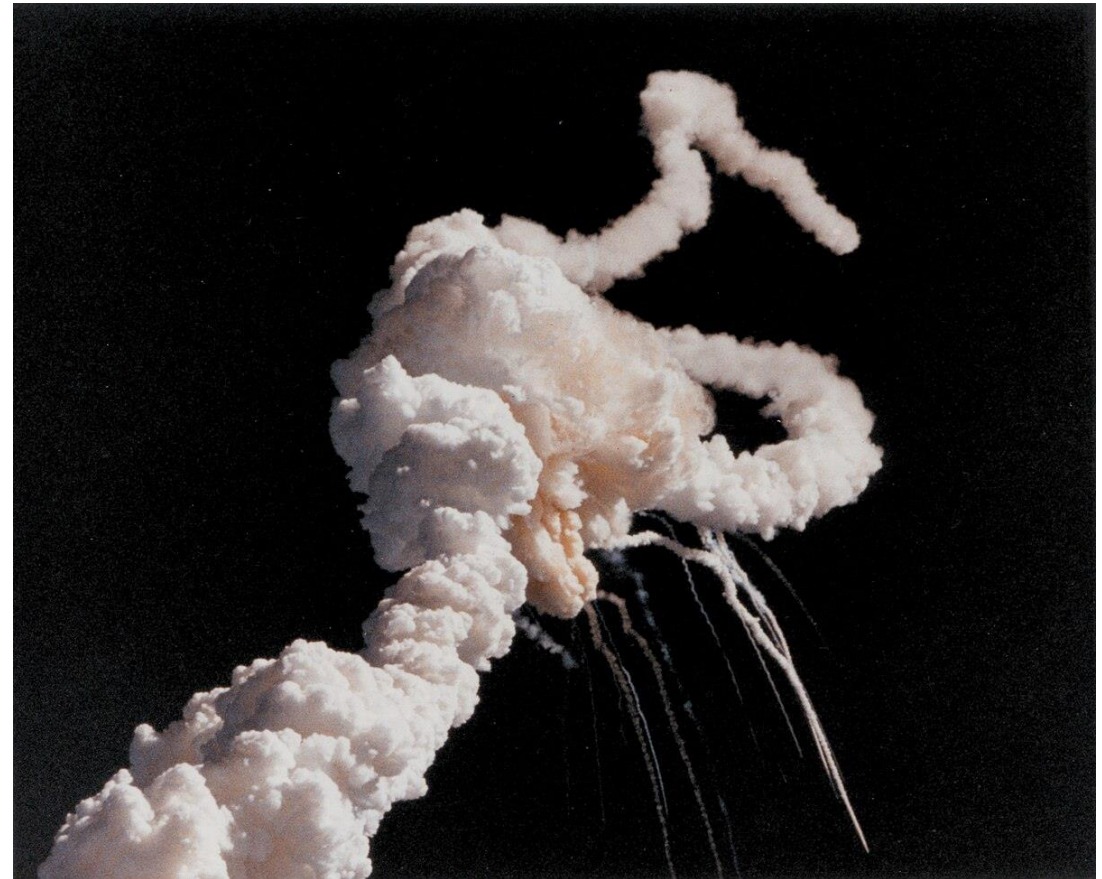
- Vuosisadan alussa lentäminen oli uutta
- Toisen maailmansodan aika paransi merkittävästi lentokonesuunnittelun turvallisuutta
- 1950-luku oli kaupallisen ilmailun voimakkaan kasvun aikaa – syntyi alan sääntely ja yhteistyöjärjestöjä (esim. ICAO)
- 1960-luvulla suihkumoottorit toivat uusia turvallisuushaasteita
- 1980-luvulla alettiin kiinnittää huomio ihmisen rooliin turvallisuudessa
- Digitalisaatio 1990-luvulta alkaen auttoi huomattavasti ennakoivassa suunnittelussa ja riskianalyysissä
- 9/11 toi security-kysymykset pintaan
- Tekoäly on uusin haastaja
- Mitä pitäisi ajatella kaupallisesta paineesta? Vrt. Boeing 737 - Max

Aina riskianalyysi ei ole ilmeistä..



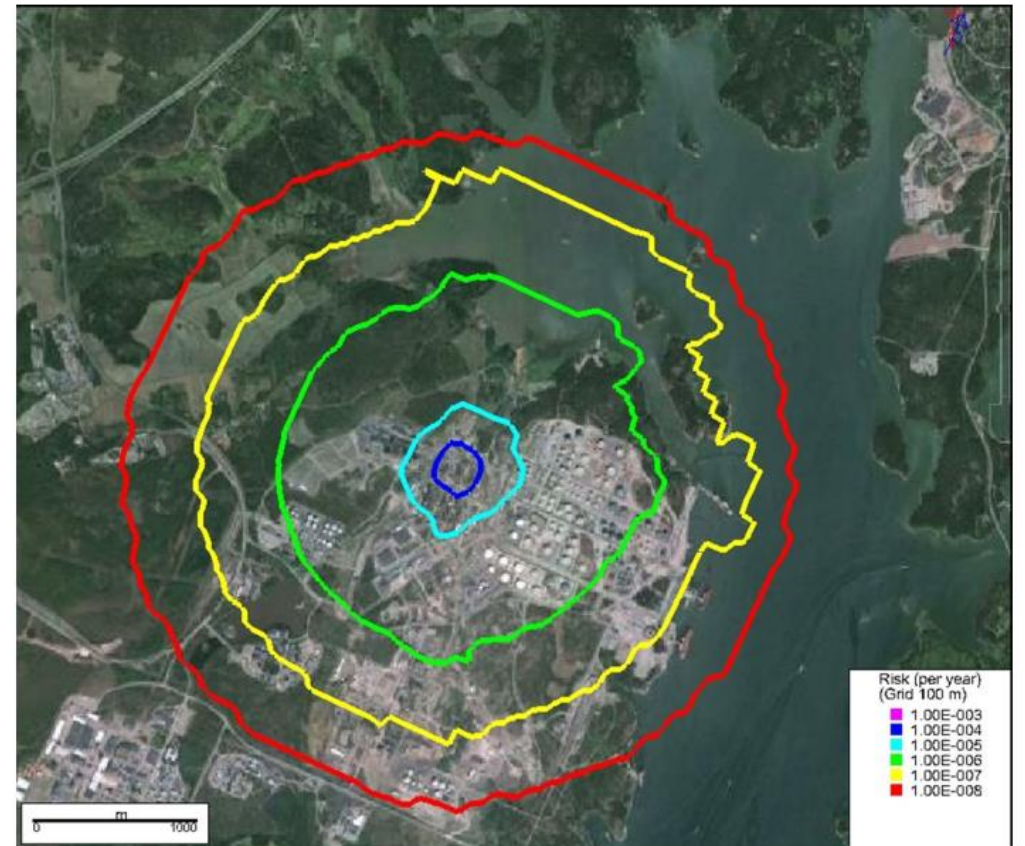
Avaruuslennot

- Avaruuslennot olivat 1960-luvulla uusi asia
- Apollo-ohjelma sai ihmisen Kuuhun 1969, mutta kolmen astronautin hengen vaatinut palo komentomodulissa 1967 pakotti NASAn systemaattiseen riskienhallintaan
 - Aiemmin oli luotettu alihankkijoiden ”hyvään suunnittelutapaan”
- Sukkulaohjelmaa pohjustettiin jo 1960-luvulla, tavoitteeksi haluttiin asettaa 95% onnistumistodennäköisyys ja kuoleman todennäköisyys ei saanut olla yli 1 %
 - Numeerisia tavoitteita ei kuitenkaan otettu käyttöön, koska niitä ei osattu käyttää (ja jossain vaiheessa Apollo-ohjelman onnistumisen tn oli 5%)
- Challenger-onnettomuus ja riskienhallintakulttuuri?
 - Riskienhallinta ei ole ihmiselle luontevaa puuhaa



Prosessiteollisuus

- 1950-1960-luvuilla suuronnettomuusvaarallista teollisuutta nousi suhteellisen vapaasti ympäri maailmaa
- Dioksiinionnettomuus Sevesossa Italiassa johti Euroopassa pohdintoihin siitä, onko tämä ok => Seveso-direktiivi ja vaatimukset maankäytön suunnittelulle tällaisten laitosten ympäristössä
- Myös ala itse on kehittänyt paljon toimintatapoja ja systemaattisia riskinarviointimenetelmiä
- Erytisen paljon käytetty on HAZOP, jota tarkastellaan loppupuolella kurssia
- Monessa maassa monimutkaiset QRA:t antavat solidin hallinnollisen perustan laitosten sijoittamiselle



Esimerkkejä onnettomuuksista



Buncefield 2005 – bensiinisäiliön ylitäyttö, bensiinin laaja höyrystyminen ja hörypilviräjähdys joka tuhosi koko jalostamon



Toulouse 2001 – AZF-yhtiön lannoitetehtaalla räjähti 300 tonnia ammoniumnitraattilannoitetta

Myös Suomessa on tapahtunut onnettomuuksia



Lapualta ja Oulusta on tultu pitkä matka

- Yritysten turvallisuuskulttuuri hyvä
- Omatoiminen varautuminen kohtuullisen hyvä
- Turvallisuus on osa vastuullisuutta
- Viranomaisvalvonta toimii
- Pelastustoimen valmius aivan erilainen
- Seveso-direktiivi ja EU:n yleinen huolienkanto
- **Kemianteollisuuden keskeinen osaamisasia on turvallinen suunnittelu ja toiminta**



Myöhempiä kehityskulkuja

- Työturvallisuusriskit
- Terveysriskit
- Terveysturvallisuuden riskit
- Ympäristöriskit
- Tietoturvariskit
- Kansallinen turvallisuus
- Kriittiset infrastruktuurit
- Riskit eri toimialoilla
- Riskianalyysin perustyökalut ovat sovellettavissa nykyisin melkein mihin tahansa



Yhteisiä nimittäjiä

- Riskienhallinta on käytännön sanelema tarve matemaattisille menetelmille – siksi on tärkeää ymmärtää historiaa
- Teknisten järjestelmien riskienhallinta on nuorempaa kuin taloudellisten riskien hallinta
- Riskienhallinnan kysyntää säätelee altistuksen laajuus suhteessa toimintaympäristöön
- Riskienhallinnalla on kustannus, joka on keskimäärin vaikea perusteltava. Kuitenkin kun jotain sattuu, seuraus voi olla laajuudeltaan moninkertainen – yleensä riskianalyysi unohdetaan kun asiat menevät hyvin
- Riskienhallinta saattaa valua backoffice-toiminnoksi, joka jää helposti nykyään vastuullisuuden valtavirran alle (onneksi CSRD auttaa!)

Rikkivety varmistui Talvivaaran työntekijän kuolinsyyksi

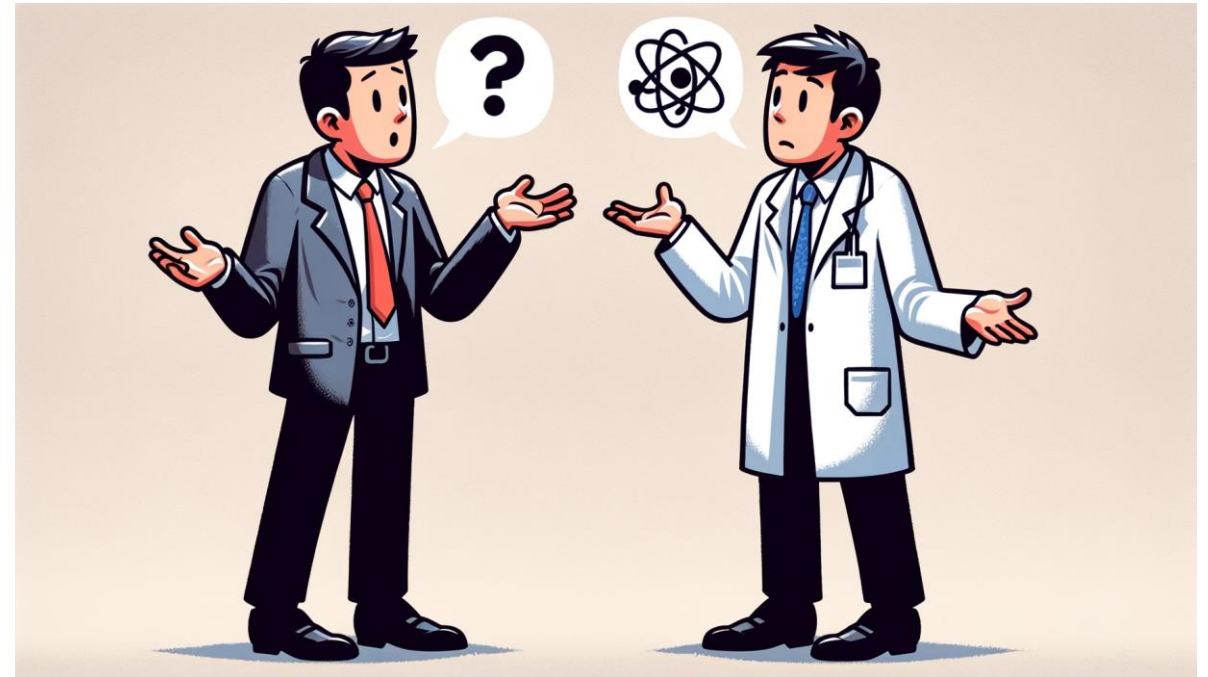
Talvivaaran kaivosalueella maaliskuun puolivälissä menehtyneen työntekijän kuolema on johtunut rikkivetymyrkytyksestä. Poliisi tutkii tapahtunutta kuolemantuottamuksena ja työturvallisuusrikoksena.



Kuva: YLE

Tästä huolimatta riskienhallinnan käsitteet ja sisällöt vaihtelevat

- On tärkeä ymmärtää, että vaikka usein puhutaan riskienhallinnasta yhtenä kokonaisuutena, taustalla on erilaisia kehityskulkuja
- ERM ja QRA ovat riskienhallintaa, mutta ajureiltaan, käsitteiltään, sisällöiltään ja tavoitteiltaan erilaisia
- Eri sovellusalueille on vakiintunut omia terminologisia käytäntöjä
- **Tällä kurssilla keskitytään teknisten järjestelmien riskienhallintaan PRA-lähtöisesti**
- Riskienhallinnan johtamisen asioita lainaamme ERM-puolelta



Riskitieteet

- Riskianalyysi oma mielekäs kokonaisuutensa
 - Tieteellisiä yhdistyksiä, konferensseja ja lehtiä
 - Lukuisia teoksia ja yleistajuisia sivustoja
- Suomalaisia yhdistyksiä
 - Riskienhallintayhdistys
 - Riskianalyysiseura
 - Operaatiotutkimusseura
 - Aktuaariyhdistys
- Kansainvälisiä yhdistyksiä
 - Society for Risk Analysis
 - European Safety and Reliability Association
- Konferensseja
 - PSAM
 - ESREL
 - SRA Europe, SRA Nordic



Suomen Riskienhallintayhdistys ry

FORS

SUOMEN
OPERAATIOTUTKIMUSSEURA RY



Probabilistic Safety Assessment and Management & Asian Symposium on Risk Assessment

PSAM17 & ASRAM2024

October 7-11, 2024, Sendai International Center, Sendai, Miyagi, Japan

Rajapintoja muihin MS-kursseihin

- Investointiteoria
 - Mm. sijoitussalkun tuoton optimointi, rahan aika-arvo
- Päätöksenteko ja ongelmanratkaisu
 - Monikriteerinen päätösanalyysi, ryhmäpäätöksenteko
- Stokastiset prosessit
 - Epävarmuuksien kuvaaminen
- Dynaaminen optimointi
 - Dynaamisten järjestelmien toiminnan optimointi; optimaalisten strategioiden rakentaminen
- Suomalaisen yhteiskunnan resilienssi
 - Kriittisten infrastruktuurien riskianalyysi ja yhteiskunnassa järjestetty tapa toimia
 - Syksyllä käynnistyy todennäköisesti sivuaine tästä aihepiiristä
 - Kurssi voi suorittaa myös yleissivistysruiskeena kevyemmin
- Näillä näkymin syksyllä 2024 on käynnistymässä riskianalyysipainotteinen sivuaine, jossa fokus on kriittisten infrastruktuurien suojaamisessa