

Luento 8

Riskivertailut ja päätöksenteko

Kustannus-hyötyanalyysi

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

Tarkastelukulmia

- Riskejä koskeva päätöksenteko
 - Päätöksenteon tueksi riskit pyritään yhteismitallistamaan
 - Yhteismitallistaminen tukee riskivertailuja ja auttaa arvioimaan, onko joku riski kohtuuttoman suuri
 - Riskitietoa voidaan esittää
 - » yksilötasolla
 - » kohderyhmittäin tai
 - » koko yhteiskunnan tasolla
- Yksilötaso
 - Yksittäisen yksilön (ml. yritykset ja muut toimijat) arvioivat riskejä ja suhteuttavat ne riskien ottamisen kautta saavutettaviin hyötyihin
 - » Vrt. vaaralliset urheiluharrastukset
 - Riski voidaan tällöin kuvata todennäköisyytenä, jolla yksilö kokee tappion altistumisen seurauksena
 - » Esim. kuolema, vammautuminen, taloudelliset tappiot
- Yhteiskunnallinen taso
 - Kuvaa riskivaikutuksia koko yhteiskunnan tasolla
 - » Miten joku lisäaine vaikuttaa koko väestöön?
 - » Miten moni menehtyy altistumisen seurauksena?
 - Farmerin käyrät tarjoavat yhden esitystavan
- Kohderyhmäkohtainen taso
 - Riskitarkastelut rajataan relevantteihin kohderyhmiin
 - » Esim. liikennekuolemat per autoilija, mopoilija jne.

Riskiryhmät ja riskivertailut

- Esim. vammautuminen liikenteessä

Taulukko 6. Tarkastellut kahden henkilöauton väliset onnettomuudet ja niissä vammautuneet kuljettajat aiheuttajaosapuolen kuljettajaryhmän mukaan, vuosina 1997–2003.

KULJETTAJARYHMÄ		ONNETTOMUUKSIA	OSUUS %	VAMMAUTUNEITA	OSUUS %	VAMMAUTUNUTTA KULJETTAJAA / 100 ONNETTOMUUTTA
Mies	18–24 v.	38 452	16,6	3 311	17,0	8,61
	25–44 v.	54 028	23,3	4 007	20,6	7,42
	45–64 v.	38 562	16,6	3 118	16,0	8,09
	65–84 v.	15 671	6,8	1 775	9,1	11,33
Nainen	18–24 v.	13 860	6,0	1 373	7,1	9,91
	25–44 v.	28 576	12,3	2 501	12,8	8,75
	45–64 v.	17 900	7,7	1 737	8,9	9,70
	65–84 v.	3 576	1,5	416	2,1	11,63
Yhteensä		232 020		19 471		8,39

¹Kari, Envall, Rätty (2005). Henkilöautomallien onnettomuudet ja vammautumisriskit 2004, TKK Liikennetekniikka, Tiedote 36.

Riskiryhmät ja riskivertailut

- Riskivertailut
 - Voivat olla joko absoluuttisia tai suhteellisia
 - Absoluuttiset asettavat rajoja sille, miten suuret riskit ovat hyväksyttävissä riippumatta muista riskeistä

TABLE 7.1

Considerations in Establishing Involuntary Individual Risk Acceptance Limits

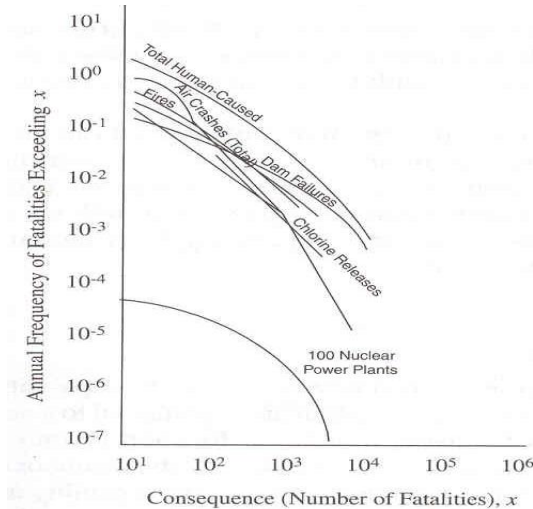
Fatality Risk Level per Year	Considerations
10^{-3}	This level is unacceptable to everyone. Accidents exposing hazards at this level are difficult to find. When risk approaches this level, immediate action is taken to reduce the hazard.
10^{-4}	This level is acceptable; however, individuals would like to see that public money is spent to control a hazard exposure at this level (e.g., placing traffic signs).
10^{-5}	While acceptable, the individuals in public recognize this level of risk, but generally feel comfortable about it. At this level, individuals may accept inconveniences to avoid this level of risk, such as avoiding air travel.
10^{-6}	Generally acceptable with no great concern. Individuals may be aware of the risks at this level, but feel that they cannot happen to them. They view this level of risk as “an act of God.”
Less than 10^{-6}	Acceptable. Individuals are not generally aware of this level of risk.

Riskivertailut

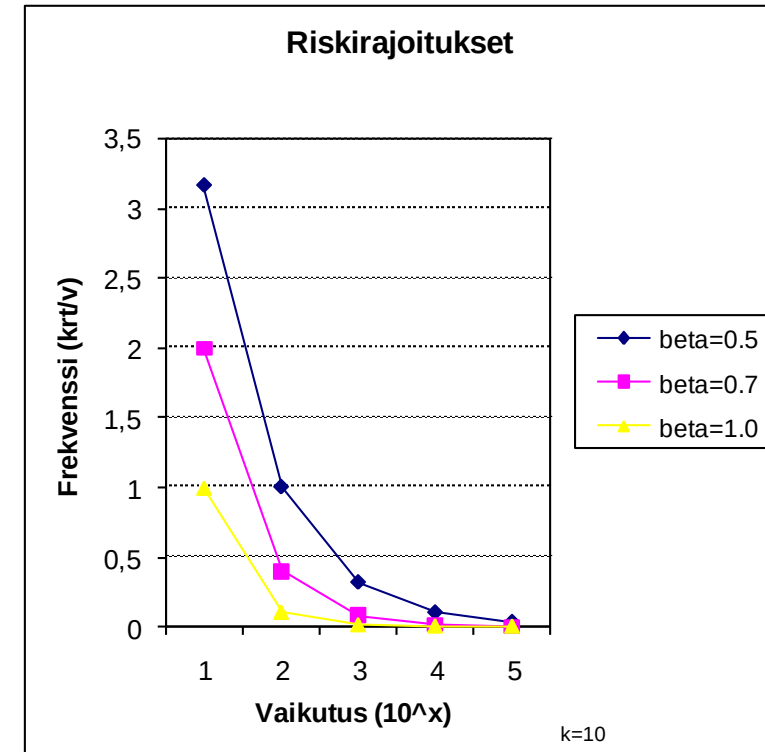
- Suhteelliset riskivertailut
 - Vertailevat riskiä suhteessa muihin riskeihin
 - » Arvioitu riski vs. muiden riskien aiemmat toteutumat
 - » Toteutuneet riskit vs. muita riskejä koskevat arviot
 - » Yhteiskunnassa ilmenevät riskit yleisemmin

Type	5 Yr. Average	General Population ^b Risk Per Year	Risk Based on Exposure or Other Measures
Motor Vehicle ⁵	36,676	1 out of 7,700	1.3 deaths per 100 million vehicle miles ^{c,d}
Poisoning ⁹	15,206	1 out of 18,700	
Work Related ⁷	5,800	1 out of 49,000	4.3 deaths per 100,000 workers
Large Trucks ⁵	5,150	1 out of 55,000	2.5 deaths per 100 million vehicle miles
Pedestrian ⁵	4,846	1 out of 58,000	
Drowning ⁹	3,409	1 out of 83,500	
Fires ⁹	3,312	1 out of 86,000	
Motorcycles ⁵	3,112	1 out of 91,500	31.3 deaths per 100 million vehicle miles
Railroads ³	931	1 out of 306,000	1.3 deaths per million vehicle miles
Firearms ⁹	779	1 out of 366,000	
Recreational Boating ⁸	714	1 out of 399,000	5.6 deaths per 100,000 registered boats
Bicycles ⁵	695	1 out of 410,000	
Electric Current ¹⁰	410	1 out of 695,000	
Air Carriers ²	138 ^a	1 out of 2,067,000	1.9 deaths per 100 million aircraft miles
Flood ⁴	58	1 out of 4,928,000	
Tornado ⁴	57	1 out of 5,015,000	
Lightning ⁴	47	1 out of 6,061,000	
HAZMAT Transportation ¹	12	1 out of 23,350,000	4.2 deaths per 100 million shipments

Farmerin käyrä ja riskirajoitukset



- Riskirajoitus
- Voidaan esittää muodossa $f \cdot c^\beta = k$,
missä
 f = frekvenssi
 c = tappioiden määrä
 β = parametri, joka kuvaa riskiasennetta
 - Huom! β :n pienentäminen sallii riskin kasvamisen (tässä Modarreksessa virhe)
 - $\beta=1$ riskineutraali



Elinajanodote (engl. life expectancy)

- Periaatteita

- Elinajanodote kuvastaa terveyttä ja hyvinvointia
- Käytetään erilaisissa elämänlaatua kuvastavissa indekseissä
 - » Esim. YK:n inhimillisen kehityksen indeksi
- Voidaan laskea kuolevuustilastojen perusteella

$$h(i) = \frac{i+1:\text{nnen vuoden aikana kuolevat}}{i:\text{nnen vuoden loppuun asti elävät}}$$

- Tn sille, että henkilö kuolee n :tenä elinvuotenaan on

$$P(n) = P(\text{kuolee vuonna } n | \text{elossa vuoden } n \text{ alussa}) \times P(\text{elossa vuoden } n \text{ alussa})$$

- Saadaan siis

$$P(n) = h(n) \prod_{i=1}^{n-1} (1 - h(i))$$

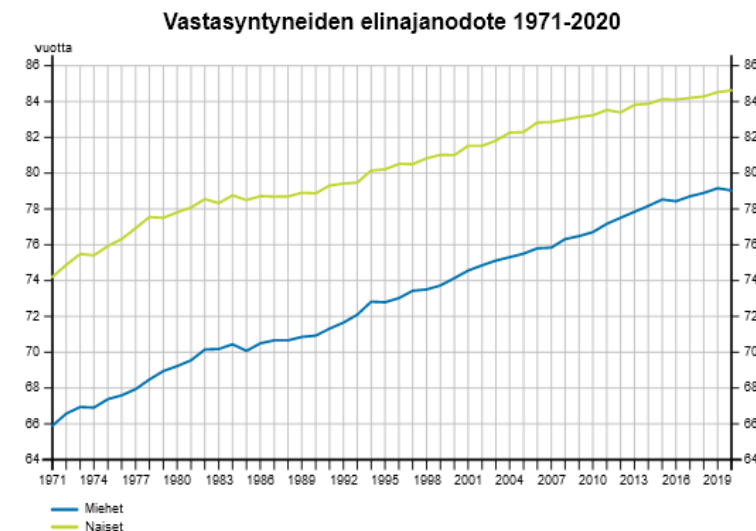
- Elinikäodote voidaan nyt laskea odotusarvona

$$LE = \sum_{i=1}^{\infty} iP(i)$$

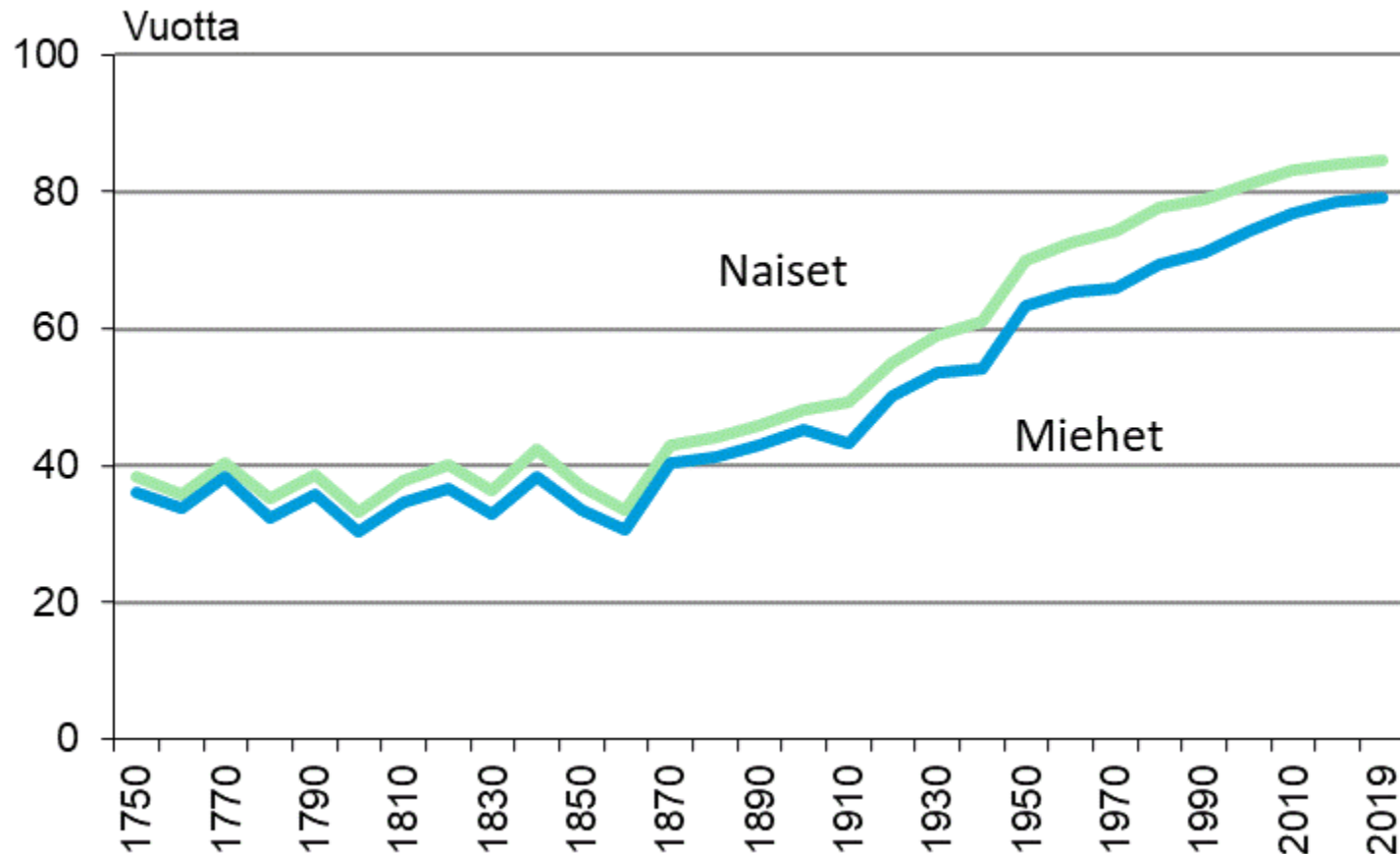
Elinajanodotteen kehitys

- Esimerkkejä elinajanodotteista (wikipedia)

- Neanderthalin ihminen 20
- Antiikin Kreikka 28
- Antiikin Rooma 28
- Keskiajan Englanti 33
- 1700-luvun loppu 37
- 1900-luvun alku 50
- Noin 1940 65
- Nykyinen Länsi-Eurooppa 77–85
- Nykyinen Sambia 37
- Nykyinen Japani 81
- Suomi vuonna 2020 (Lähde: Tilastokeskus)
 - » poikavauva 79 vuotta,
 - » tyttövuva 84,6 vuotta



Suomi eliniän odote (lähde tilastokeskus)



Riskit ja elinajanodotteet

- Lähtökohtia

- Osa väestöstä menehtyy riskin j takia
- Tähän riskiin liittyvä kuolevuus

$$h_j(i) = \frac{i+1:\text{nnen vuoden riskin } j \text{ takia kuolevat}}{i:\text{nnen vuoden loppuun asti elävät}}$$

- Muista kuin riskistä j aiheutuva kuolevuus

$$h_{\Delta j}(i) = h(i) - h_j(i) \geq 0$$

- Tämän avulla saadaan elinajanodote LE_j , joka perustuu siis muihin kuin riskiin j
- Erotus

$$LLE_j = LE_j - LE$$

kuvastaa riskistä j johtuvaa elinajanodotteen alentumista

- » LE_j = muut syyt kuin riski j
- » LE = kaikki syyt (mukaanlukien riski j)
- Riskien eliminointi pidentää elinajanodotetta
 - » Viime vuosikymmeninä elinajanodote on pidentynyt noin puolelatoista vuodella kymmentä vuotta kohden

Esimerkki

- Kuolevuus Uudessa-Seelannissa

- Vertailtavana

- » kaikki kuolemaan johtaneet syyt
- » verenkiertojärjestelmän häiriöt

- Kuolevuus eri ikävuosiluokissa

- Kokonaiselinajan odote $LE = 79.2$ vuotta
- Ilman verenkiertojärjestelmän häiriöitä odote $LE_j = 86.3$ vuotta
- Vaikutus siis $86.3 - 79.2 = 7.1$ vuotta ~ 2600 vrk

TABLE 7.2

Death Rates by Total Population from All Causes (Rates per 100,000 Population per Year)

Age-Specific Rate						
0-1	2-14	15-24	25-44	45-64	65-74	75+
632.6	24.6	68.7	112.1	495.4	2117.3	7488.9

TABLE 7.3

Death Rates by Total Population from Diseases of the Circulatory System (Rates per 100,000 Populations per Year)

Age-Specific Rate						
0-1	2-14	15-24	25-44	45-64	65-74	75+
5.29	0.61	2.08	19.61	149.69	755.73	3738.50

Ranges of i

h

h_j

0-1	6.326E-03	5.286E-05
2-14	2.460E-04	6.101E-06
15-24	6.870E-04	2.076E-05
25-44	1.121E-03	1.961E-04
45-64	4.954E-03	1.497E-03
65-74	2.117E-02	7.557E-03
75+	7.489E-02	3.738E-02

Esimerkkejä

TABLE 7.4
Loss of Life Expectancy for Some Activities Involving Fatality Risk [4]

Activity or Risk	Loss of Life Expectancy (Days)
Living in poverty	3500
Being male (versus female)	2800
Cigarette smoking (male)	2300
Being unmarried	2000
Being black (versus white)	2000
Working as a coal miner	1100
30 pounds overweight	900
Grade school dropout	800
Suboptimal medical care	550
15 pounds overweight	450
All accidents	400
Motor vehicle accidents	180
Occupational accidents	74
Married to smoker	50
Drowning	40
Speed limit: 65 versus 55 mph	40
Falls	39
Radon in homes	35
Firearms	11
All electricity, nuclear (based on Union of Concerned Scientists Data)	1.5
Peanut butter (1 Tbsp/day)	1.1
Hurricanes, Tornadoes	1
Airline crashes	1
Dam failures	1
All electricity, nuclear (based on Nuclear Regulatory Commission Data)	0.04

Muita riskimittoja

- Ekvivalentti vuosittainen riski
 - Engl. equivalent annual risk
 - Ilmaisee sen riskille altistumisen määrän ja/tai toiminnan laajuuden, joka lisää kuoleman tn:ää miljoonasosan verran vuositason
 - » Esim. jos USA:ssa 15 % tupakoitsijoista kuolee tupakan takia, he polttavat ~3000 savuketta/v ja elinikäodote on 70 vuotta, niin yhden savukkeen polttamisen aiheuttama riski on $(0.15 / 70) \times (1/3000) = 0.71 \times 10^{-6}$
 - » 1.4 savukkeen polttaminen lisää riskiä miljoonasosan

TABLE 7.5

Risk Exposures that Increase Chance of Death by 1 in 1,000,000 per Year [5]

Nature of Risk Exposure	Cause of Death
Spending 1 hour in a coal mine	Black lung disease
Spending 3 hour in a coal mine	Accident
Traveling 10 miles by bicycle	Accident
Traveling 300 miles by car	Accident
Traveling 10,000 miles by jet	Accident
Having chest x-ray taken in a good hospital	Cancer caused by radiation
Living 50 years within 5 miles of a nuclear plant	Cancer caused by plant emissions

- Huomioita
 - Tekee erilaisten riskien vertailun verraten helpoksi
 - Käytännössä tätä riskimittaa on usein vaikea laskea
 - Pieniin altistumistasoihin liittyvät riskivaikutuksen voivat olla epälineaarisia
 - Ei kuvasta tosiasiallisia altistumistasoja

Altistumisen aiheuttamat riskit

- Periaatteita
 - Esitetään, mitä seuraamuksia riskit voivat aiheuttaa suhteutettuna altistuneiden henkilöiden lkm:ään
 - » Vertailukohtana esim. koko väestö tai yksilöt

TABLE 7.6
Risk of Various Activities per Year per Million Population Exposed [6]

Cause	Annual Rate (Deaths per Million)
Asbestos exposure in schools	0.005–0.093
Whooping cough vaccination (1970–1980)	1–6
Aircraft accidents (1979)	6
High school football (1970–1980)	10
Drowning (ages 5–14)	27
Motor vehicle accident, pedestrian (ages 5–14)	32
Home accidents (ages 1–14)	60
Long-term smoking	1200

TABLE 7.7
Risk of Fatalities and Injuries from Automobile Accidents per Year per Unit Population Exposed [7]

National Rates: <i>Fatalities</i>	
Fatalities per 100 million vehicle miles traveled	1.5
Fatalities per 100,000 population	15.26
Fatalities per 100,000 registered vehicles	19.56
Fatalities per 100,000 licensed drivers	22.23
National Rates: <i>Injured Persons</i>	
Injured persons per 100 million vehicle miles traveled	120
Injured persons per 100,000 population	1187
Injured persons per 100,000 registered vehicles	1522
Injured persons per 100,000 licensed drivers	1729

Muita riskien esittämistapoja

- Riskit voidaan suhteuttaa monin eri tavoin
 - Arviointiperusteina mm. tulosten perusteltavuus, kommunikointitarpeet, tarkoituksenmukaisuus
 - Tuloksia luettava kriittisesti – onko nähtävissä tarkoitushakuisuutta?

TABLE 7.8
Hourly Mortality Rates of Various Activities per Person in the Exposed Population [7]

Activity	Hourly Mortality Rate
Plague in London in 1965	1.5×10^{-4}
Rock climbing (on rock face)	4.0×10^{-5}
Civilian in London Air-Raids, 1940	2.0×10^{-6}
Jet travel	7.0×10^{-7}
Automobile travel	1.0×10^{-7} (at 70 mph)
Bicycling	1.0×10^{-7} (at 30 mph)
Coal mining accidents (accidents)	4.0×10^{-7}
Background	1.0×10^{-6}

TABLE 7.9A
Deaths per 100 km Traveled in U.K. [7]

Sector	Class	1967–1971	1972–1976	1986–1990
Rail travel	Passengers from train accidents	0.65	0.45	1.10
Air travel	Airline passengers on scheduled service	2.30	1.40	0.23
Road Travel	Public service vehicles	1.20	1.20	0.45
	Private cars or taxis	9.00	7.50	4.40
	Cyclists	88.00	85.00	50.00
	Motorcycle driver	163.00	165.00	104.00
	Motorcycle passenger	375.00	359.00	104.00
	Pedestrian, based on 8.7 km walk per week	110.00	105.00	70.00

TABLE 7.9B
Travel Risks on per Mile and per Hour Basis [7]

	Death Rate	
	Passenger Hours (per 10^9)	Passenger Miles (per 10^9)
Air		
Bus		
U.S.A.	80	1.7
U.K.	30	1.3
Rail		
U.S.A.	80	1.3
U.K.	50	1.3
Car		
U.S.A.	950	24
U.K.	570	19

TABLE 7.10
Odds of Certain Activities per Year

Activity/Accident	Approximate Chance per Year
A fire killing 10 or more people	1
A railway accident killing or seriously injuring 100 or more people	1 in 20
An aircraft accident killing 500 people	1 in 1,000
Airplane crashing into full football stadium	1 in a 100 million
A house catches fire	1 in 200
A person dies from heart disease	1 in 280
A person dies of cancer	1 in 500
Automobile fatality	1 in 6,000
Killed by lightning	1 in 1.4 million
Killed by flood or tornado	1 in 2 million
Killed in hurricane	1 in 6 million
Drowning	1 in 20,000
Car crash	1 in 5,300
Choking	1 in 68,000

TABLE 7.11
Cancer Risk Contributors

Factor or Class of Factors	Percent of All Cancer-Deaths	
	Best Estimate	Range of Estimate
Tobacco	30	25–40
Alcohol	3	<1–24
Diet	35	10–70
Food additives	<1	Unknown
Reproduction and sexual behaviors	7	1–13
Occupation	4	2–8
Pollution	2	<1–5
Industrial products	<1	<1–2
Medicines and medical procedures	1	0.5–3
Geophysical factors	3	2–4
Infection	10	1 — unknown

Riskien hyväksymisestä

- Periaatteita
 - Vertailukohtana ”luonnollisista” syistä tapahtuvan kuoleman tn (kehittyneissä maissa noin 1/10000)
 - » Mutta miten ”luonnolliset” syyt tulkitaan?
 - Esim. ydinvoimariskien sääntely USA:ssa
 - » ”The risk to an individual in the vicinity of a nuclear plant ... should not exceed 0.1% of the sum of prompt fatality risks resulting from other accidents to which the population is generally exposed”
 - » USA:ssa v. 2003 noin 98 000 tapaturmaista kuolemaa ja väestö 285 milj. $\Rightarrow$ tn $3.4 \times 10^{-4} \Rightarrow 3.4 \times 10^{-7}$ riski em. säännöksen mukaan hyväksyttävissä

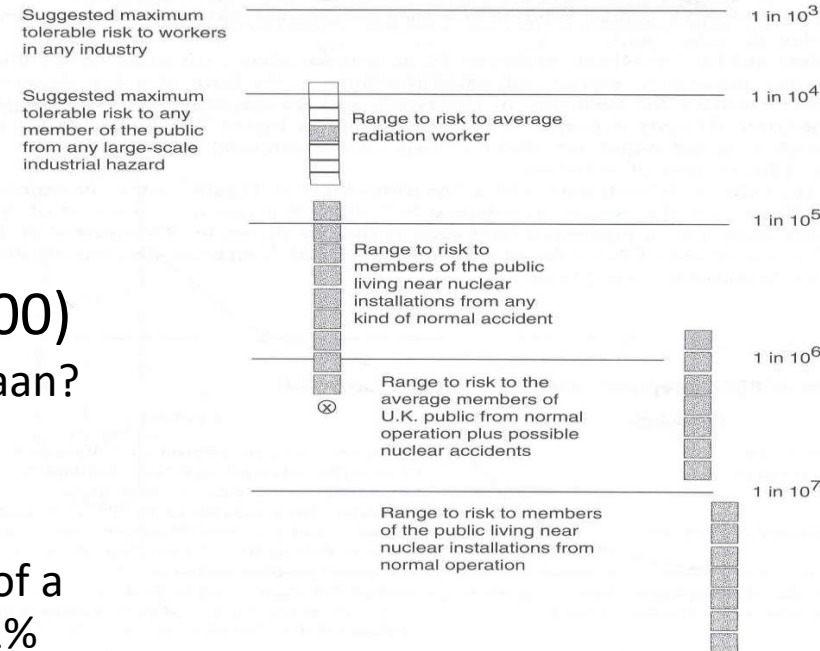


FIGURE 7.2 Tolerable and actual levels of risk to individuals in the public [7].

Riskien hyväksymisestä (2/2)

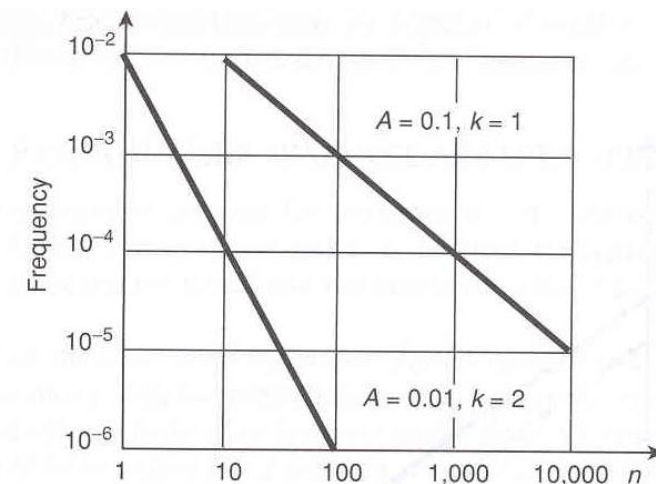
- Muita esimerkkejä

TABLE 7.12
Examples of Risk Acceptance Levels for Various Cases [14]

Technology	Risk Goal
Marine structures	Failure probability for different accident classes 10^{-3} – 10^{-6}
Aviation, air planes	Catastrophic failure per flight hour: less than 10^{-9}
Space vehicles	Catastrophic consequence for a crew transfer vehicle (CTV) smaller than 1 in 500 CTV missions
Process industry (Netherlands)	Consequence of more than 10^n fatalities must be smaller than probability 10^{-3-2n} . Individual risk of less than 10^{-6} per plant year
IEC 61508 (for all technologies) Electrical/electronic safety systems with embedded software	Average probability of failure per demand: 10^{-1} to 10^{-5} for different safety levels 1–4 and low demand mode of operation

Yhteiskunnallisten riskien rajaaminen

- ISO 2394 standardi
 - Rajaa periaatteessa kaikkia ihmishenkeä uhkaavia riskejä rakenteisiin liittyen ("General principles on reliability for structures")
 - Vaatimuksena todennäköisyyspöytä
- $$P(N_d > n) < A n^{-k}$$
- missä
 - » N_d on yhden vuoden aikana yhdessä onnettomuudessa kuolleiden lukumäärä
 - » A vaihtelee välillä 0.001 ... 1.0 krt/vuodessa
 - » k vaihtelee välillä 1... 2 (suuret k :n arvot kuvaavat sitä, että erityisesti suuria onnettomuuksia halutaan välttää)
 - Huom. kyseessä absoluuttinen riskirajoitus



Toimenpiteiden mitoittaminen (1/2)

- Tarkastellaan järjestelmän huoltoa
 - Järjestelmä pois käytöstä huollon takia jakson d
 - Tänä aikana riski kasvaa ΔR verran
 - Huoltotoimenpide tehdään f kertaa vuodessa
 - Yhden toimenpiteen aiheuttama riskin kasvu

$$r = \Delta R \cdot d$$

- Vuositasolla vaikutus

$$R = f \cdot \Delta R \cdot d$$

- Yksittäisestä tapahtumasta (kuten huollosta) aiheutuva riski ei saa ylittää tasoa r_c
- Vuositasolla aiheutuva lisäys ei saa ylittää tasoa R_c
- Tällöin huollon sallituksi maksimikestoksi saadaan

$$f \Delta R d \leq R_c \wedge \Delta R d \leq r_c \Rightarrow d = \min\{r_c / \Delta R, R_c / f \Delta R\}$$

Toimenpiteiden mitoittaminen (2/2)

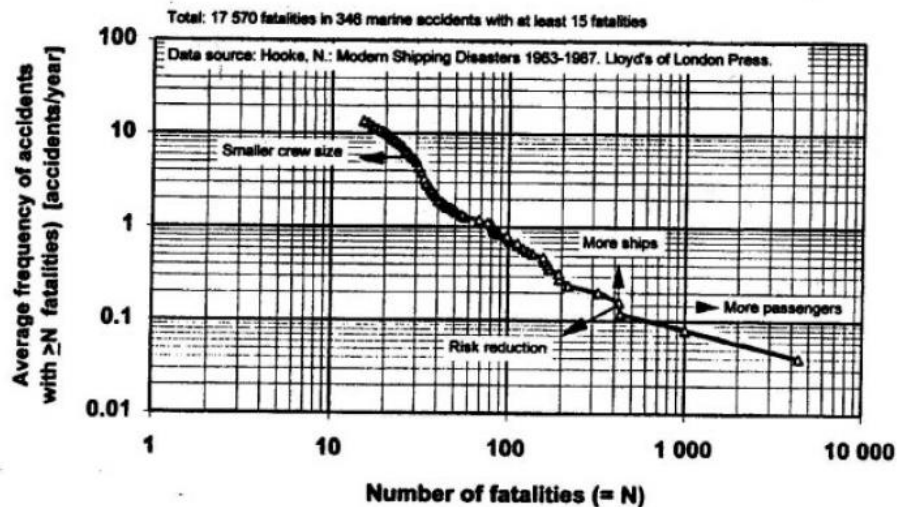
- Esim. ydinvoimala

- Reaktorin vaurioitumistaajuus 2.5×10^{-5} per vuosi
- Komponentin huollon aikana tämä taajuus 40-kertaistuu
- Komponentti huollettava kahdesti vuodessa
- Riskirajoitukset $r_c = 1 \times 10^{-6}$ ja $R_c = 1 \times 10^{-5}$
- Huolto saa siis maksimissaan kestää

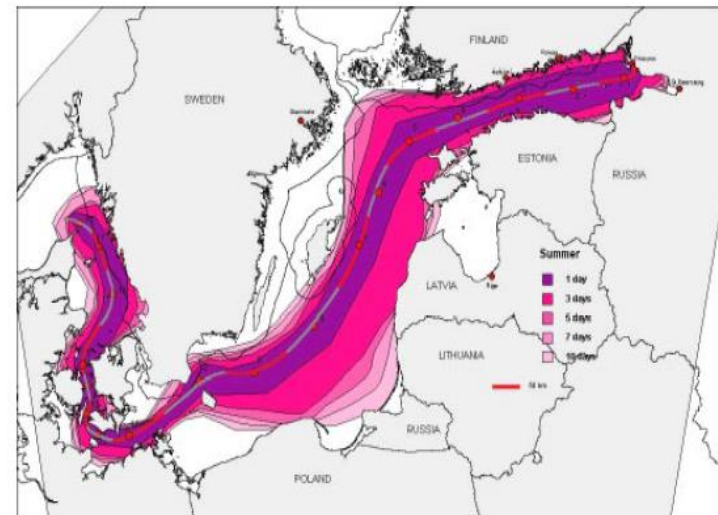
$$\min \left\{ \frac{1 \times 10^{-6}}{40 \times 2.5 \times 10^{-5}}, \frac{1 \times 10^{-5}}{2 \times 40 \times 2.5 \times 10^{-5}} \right\} = 8.76 \text{ h}$$

Merikuljetusten riskit

(source: Hooke: Modern shipping disasters 1963 - 1987.)



Source: Tacis, Baltic Pipeline System; Oil Spill Analysis, March 2000.



Aikavaikutukset

- Huomioita
 - Myöhemmin toteutuvia riskejä pidetään usein hyväksyttävämpinä kuin välittömästi toteutuvia
 - » Esim. on mahdollista, että ennen riskin toteutumista joku muu riski voi toteutua, jolloin arvioitavana olevalla riskillä ei ole yhtäläistä merkitystä
 - Tätä latenssivaikutusta voidaan periaatteessa kuvata siirtämällä riskirajoituskäyrää $F-N$ -tasossa

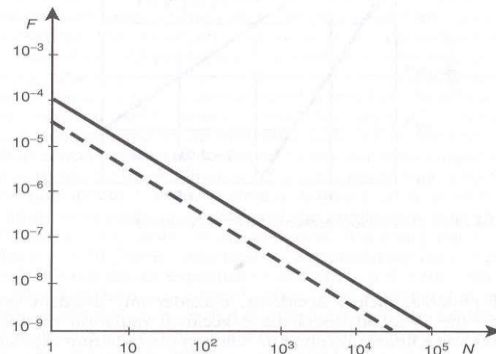
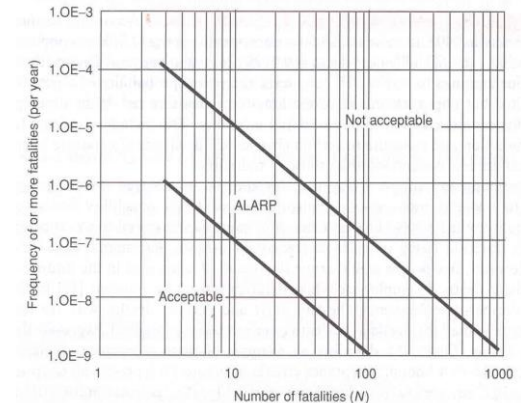


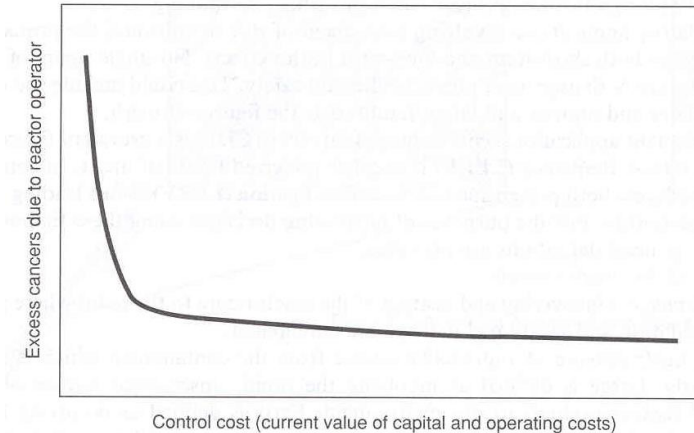
FIGURE 7.6 Proposed risk acceptance criterion for delayed death risk (solid line) compared with early deaths (broken line) both in cumulative form.



- ALARP = As Low As Reasonably Possible
(ALARA = As Low As Reasonably Achievable)

Riskien taloudellinen mittaaminen

- Taloudellisten riskien hyväksyttävyyttä voidaan kuvata vastaavanlaisina käyrinä



- Willingness-to-Accept (WTA)**
 - Paljonko sinulle pitäisi maksaa, jotta olisit valmis hyväksymään riskin X?
 - » Esimerkiksi 1 % lisäys liikennekuolemariskissä
- Willingness-to-Pay (WTP)**
 - Paljonko olet valmis maksamaan siitä, että riski X osaltasi pienenee?
 - » Esimerkiksi 1 % alenema liikennekuolemariskissä
- WTA:t usein paljon WTP:itä suurempia**
 - Asetelman epäsymmetrisyys, ankkuroituminen

Esimerkki (1/2)

- Elävän puun arvo
 - Coloradon yliopiston työntekijöille annettiin kuvitteellinen tilaisuus omistaa (ja siis suojella) puu, joka muussa tapauksessa joutuisi tutkimukseen
 - Tutkimuksessa puun kerrottiin joko kuolevan (Kill) tai sitten ei (NoKill)
 - WTA = miten paljon henkilölle olisi pitänyt maksaa, jotta hän luopuisi jo omistamastaan puusta?
 - WTP = miten paljon henkilö olisi ollut valmis maksamaan saadakseen puun omistukseensa?

Esimerkki (2/2)

- Elävän puun arvo

1370

THE AMERICAN ECONOMIC REVIEW

DECEMBER 1992

TABLE 2—EXPERIMENTAL RESULTS

Condition	Mean	SD	N	Ratio of means (WTA/WTP)
WTA-NoKill	8.00	8.027	30	1.66
WTP-NoKill	4.81	8.280	26	
WTA-Kill	18.43	21.693	29	2.36
WTP-Kill	7.81	9.633	30	

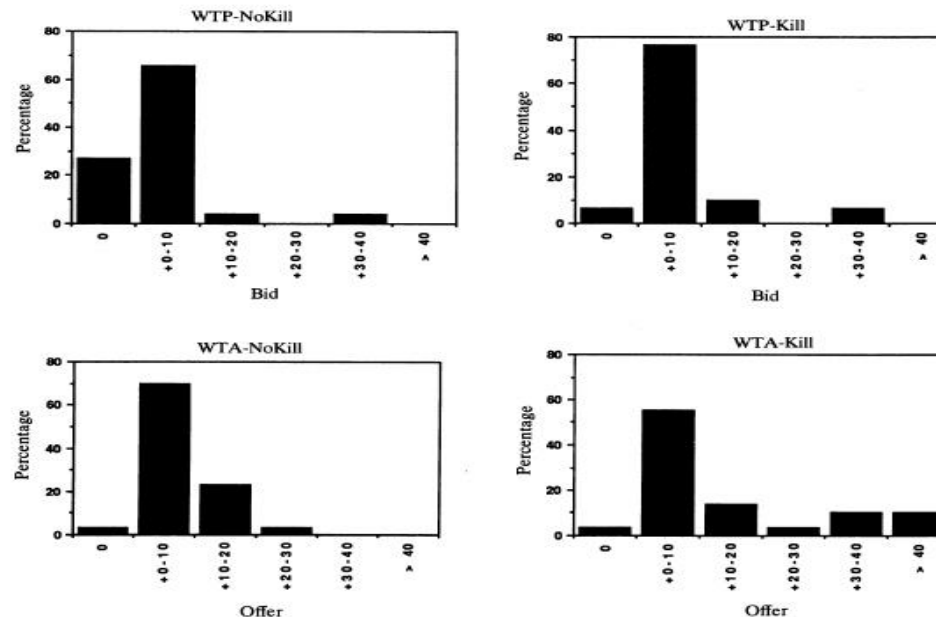


FIGURE 1. FREQUENCY DISTRIBUTIONS OF BIDS AND OFFERS

Ihmiselämän tilastollinen arvo

- Tulevilla elämillä on arvoa
 - Value of Statistical Life (VOSL)
 - » Voidaan lyhentää myös VSL
 - Diskonttokertoimet saattavat olla negatiivisia tai toisaalta erittäin suuria
 - » M.L.Cropper, S.K. Aydede, P.R. Portney, *Discounting Human Lives*, 1991 Am. J. Agric. Econ. 1410, 1412.
 - Negatiivisilla koroilla tuleva elämä arvotetaan nykyistä arvokkaammaksi
 - » J.K. Horowitz, R. T. Carson, *Discounting Statistical Lives*, 3 J. Risk & Uncertainty 403, 410 (1990)
 - » Koeasetelmassa yli kolmasosa antoi negatiivisia diskonttokertoimia

Table 1

Annotated overview of studies with empirical estimates of the value of statistical life in road safety, in 1997 US dollars ($\times 1000$)^a

Authors	Country	Year of		Study type	No. of estimates	Range of VOSL estimates in 1997 US dollars ^b		
		Publication	Data			Single estimate	Lowest estimate	Highest estimate
Adkinson and Halvorsen (1990)	US	1990	1986	Revealed	1	4538		
Baker (1973)	US	1973	1973 ^c	CPLS	4		826	12,383
Beattie et al. (1998)	UK	1998	1996	Stated	4		1344	15,187
Blomquist (1979) ^d	US	1979	1988	Revealed	1	1506		
Blomquist and Miller (1992)	US	1996 ^c	1987	Revealed	3		1444	5,388
Carthy et al. (1999)	UK	1999	1997	Stated	4		4031	5,246
Cohen (1980)	US	1980	1974	CPLS	1	380		
Corro et al. (2000)	US	2000	1999	Stated	8		2336	5,548
Dessaignes and Rabl (1995)	France	1995	1994	Stated	6		882	20,510
Dreyfus and Viscusi (1995)	US	1995	1987	Revealed	1	4056		
Ghosh et al. (1975) ^d	UK	1975	1973	Revealed	1	1692		
Hansen and Scuffham (1995)	New Zealand	1994	1994 ^c	CPLS	1		637	727
Jara-Diaz et al. (2000)	Chile	2000	1999	Stated	1	4348		
Johannesson et al. (1996)	Sweden	1996	1995	Stated	4		5242	6,312
Jondrow et al. (1983) ^d	US	1983	1988	Revealed	1	1903		
Jones-Lee et al. (1983)	UK	1983	1982	Stated	11		594	10,149
Kidholm (1995)	Denmark	1995	1993	Stated	3		745	1,110
Laroche et al. (1995)	Canada	1995	1986	Stated	2		1739	3,111
Maier et al. (1989)	Austria	1989	1989 ^c	Stated	6		1557	4,297
McDaniels (1992)	US	1992	1986	Stated	3		8327	29,933
Malinak (1974)	UK	1974	1974 ^c	Revealed	1	784		
Miller and Guria (1991)	New Zealand	1991	1990	Stated	5		1101	1,760
				Revealed	1	1434		
Morrall (1986)	US	1986	1984	CPLS	4		143	1,864
Parsson and Cedervall (1991)	Sweden	1991	1987	Stated	10		1224	25,949
Parsson et al. (1995)	Sweden	1995	1993	Stated	2		4262	4,866
Parsson et al. (2001)	Sweden	2001	1998	Stated	1	2307		
Schwab Christie (1995)	Switzerland	1995	1993	Stated	1	906		
Schwab Christie and Soguel (1995)	Switzerland	1995	1994	Stated	2		816	981
Viscusi et al. (1990)	US	1991	1991 ^c	Stated	1	9116		
Winston and Mannering (1984) ^d	US	1984	1988	Revealed	1	1903		

VOSL ja riskitaso

- Arviot riippuvat kontekstista ja riskitasosta
 - » http://www.nafe.net/JFE/j03_3_02.pdf

Table 4

Values of Life in Sound Surveys (Thousands of 1988 After-Tax Dollars)

Study	Context	Risk Level	Value	Sample Size	Country
Gerking et al. (1988)	labor market	4.2–10	2217*	1351	US
Jones-Lee et al. (1985)	highway safety	.8–1	2813	1057	UK
Landefeld (1979)	cancer	17	2632	102	US
Viscusi, Magat (1989)	highway safety	2	2379	195	US
Persson (1989)	highway safety	1	1458	506	Sweden
Maclean (1979)	fire safety	.6	3597	300	UK

* Adjusted to after-tax dollars.
Risks are in units of 1 in 10,000.

TABLE 7.13

Median Costs of Life-Saving Measures per Sector

Sector	Cost per Statistical Life (\$)
Medical	19,000
Injury reduction	48,000
Toxin control	2,800,000
Overall	42,000

Päätösanalyysistä

- Päätöksenteon teoriat
 - Deskriptiiviset teoriat kuvaavat sitä, miten päätöksiä tehdään joko yksilö- tai organisaatiotasolla
 - » Teorioiden empiiristä oikeellisuutta voidaan testata
 - » Pyrkimys ei välttämättä päätöksenteon 'parantaminen'
 - » Esim. prospektiteoria (Kahneman & Tversky, 1979): Vaihtoehtoja arvioidaan referenssipisteen suhteen, jonka suhteen tapahtuvista samansuuruisista muutoksista tappiot koetaan merkittävimiksi kuin voitot
 - Normatiiviset teoriat perustuvat rationaalisuus-vaatimukseen, joita 'hyvä' päätöksenteko täyttää
 - » Päätökset epävarmuuden vallitessa $\Rightarrow$ hyötyteoria (utility theory; von Neumann & Morgenstern, 1944)
 - » Päätökset varmuuden vallitessa $\Rightarrow$ arvoteoria (value theory; Debreu 1961; Luce et al., 1971)
 - » Vrt. MS-E2134 Päätöksenteko ja ongelmanratkaisu
- Menetelmäluokittelua
 - Taloudelliset menetelmät
 - » Pyrkivät riskien kvantifiointiin ja hinnoitteluun
 - Ei-taloudelliset menetelmät
 - » Eivät yhteismitallista päätösvaihtoehtoja rahana
 - » Soveltavat monikriteerisen päätöksenteon menetelmiä (esim. arvopuuanalyysi, analyttinen hierarkiaprosessi (AHP), päätöspuut)
- Analyysin käyttötarkoituksia
 - Ylittääkö riski annetut rajat?
 - Jos, niin mikä vaihtoehtoista kustannustehokkain?

Kustannushyötyanalyysi

- Engl. cost-benefit analysis (CBA)
 - Riskihallintatoimenpiteen odotusarvoiset kustannukset ja hyödyt arvioidaan
 - Toimenpide hyväksyttävissä, jos hyödyt ylittävät riskienhallintatoimenpiteet kustannukset
 - Hyödyt ja kustannukset voivat olla välittömiä (direct) tai välillisiä (indirect)
 - » Esim. riskienhallintatoimenpiteiden välittömät hyödyt koituvat tyypillisesti riskeille altistujien eduksi, välittömät kustannukset maksajien osaksi
 - » Välilliset vaikutukset voivat ilmetä eri tavoin – esim. sähkön toimitusvarmuuden paranemisen kautta saavutettavina hyötyinä
 - » Rajanveto kuitenkin usein tulkinnanvaraista
- Priorisointi
 - Vaihtoehtoiset riskienhallintatoimenpiteet voidaan priorisoida hyötykustannussuhteen perusteella

$$R = \frac{B}{C}$$

- missä B viittaa hyötyihin ja C kustannuksiin
- Näin tehtynä tarkastelu ei kuitenkaan huomioi eri riskienhallintatoimenpiteiden yhteisvaikutuksia

Esimerkki polttoainetankin suojaus

- Päätilanne
 - Sivutörmäys voi aiheuttaa polttoainetankin hajoamiseen ja räjähtämisen; valmistajalla 3 vaihtoehtoa
 - » A: Teräksisen suojalevyn asentaminen, maksaa \$14 ja estää olennaisesti kaikki räjähdykset
 - » B: Suojaavan muovilevyn asentaminen, maksaa \$4 ja estää 95% räjähdyksistä
 - » C: Tankin vuoraaminen muovilla, maksaa \$2 ja estää 85% räjähdyksistä
 - Ajoneuvoja valmistetaan arviolta 6 milj.kpl
 - » Ilman toimenpiteitä sivutörmäyskolareiden aiheuttamien räjähdysten tuloksena menehtyy 180 henkilöä, loukkaantuu 200 henkilöä ja vaurioituu 3000 autoa
 - » Menetetyn ihmishengen kustannus \$500 000, loukkaantumisen \$70 000, ajoneuvon korjaamisen \$1200
- Hyötykustannussuhteet
 - A: Kustannukset $\$14 \times 6 \text{ milj.} = \84 milj.
Hyödyt $180 \times \$0.5 \text{ milj.} + 200 \times \$0.07 \text{ milj.} + 3000 \times \$1200 = \$107 \text{ milj.}$
Hyötykustannussuhde $107/84 = 1.28$
 - B: Kustannukset $\$4 \times 6 \text{ milj.} = \24 milj.
Hyödyt $95\% \times \$107 \text{ milj.} = \102.2
Hyötykustannussuhde $102/24 = 4.25$
 - C: Kustannukset $\$2 \times 6 \text{ milj.} = \12 milj.
Hyödyt $85\% \times \$107 \text{ milj.} = \91.4 milj.
Hyötykustannussuhde $91.4/12 = 7.62$

C siis suhteeltaan suurin $\Rightarrow$ valittaisiin tällä tarkastelulla

Kustannushyötyanalyysistä

- Laajuuden vaikutukset
 - Kokonaishyötyjen oltava kokonaiskustannuksia suuremmat
 - Välittömät ja välilliset hyödyt ja kustannukset määrittävät toimenpiteiden realistisuutta
 - » Jos välittömät hyödyt ovat välittömiä kustannuksia suuremmat, mutta välilliset kustannukset välillisiä hyötyjä suuremmat, yhteiskunnan on tarkoituksenmukaista asettaa rajoituksia $\Rightarrow$ sääntely
 - esim. päästörajoitukset
 - » Jos välittömät kustannukset välittömiä hyötyjä suuremmat, toimijan ei kannata toteuttaa toimenpidettä, vaikka sen välilliset hyödyt olisivat välillisiä kustannuksia suuremmat $\Rightarrow$ subventointi
 - esim. puhdistusteknologian verohelpotukset
 - » Näissä välittömyys rajattu toimijan mukaan – so. välittömät hyödyt ja kustannukset koituvat samalle toimijalle

TABLE 8.1
Decision Criteria in Benefit–Cost Analysis

Case	Direct Balance	Indirect Balance	Decision
1	$C_D < B_D$	$C_I < B_I$	Acceptable
2	$C_D > B_D$	$C_I > B_I$	Unacceptable
3	$C_D < B_D$	$C_I > B_I$	Unacceptable (unless allowed by regulation)
4	$C_D > B_D$	$C_I < B_I$	Unacceptable (unless subsidized)

<https://tem.fi/ohjeet-ja-menetelmat-yritysvaikutusten-arviointiin>

http://www.ktm.fi/index.phtml?s=1767

KAUPPA- JA TEOLLISUUS-MINISTERIÖ

På svenska | In English | Teks

Ministeriö Yritykset Markkinat ja kuluttajat Kansainvälistyminen Teknologia Energia Valtion yhtiöom

Etusivu > Yritykset > Lainsäädännön yritysvaikutukset > Ohjeet ja menetelmät > Menetelmät

Haku:

Vuoden 1999 ohje

Tarkistuslista

Muut vaikutusarviointiohjeet

Menetelmät

Yrityspaneeeli

Menetelmät

Lainsäädännön yritysvaikutusten arvioimiseksi on käytettävissä erilaisia kvantitatiivisia menetelmiä. Tällaisia ovat esimerkiksi staattiset ja dynaamiset laskelmat, ekonometrinen mallittaminen, taloudelliset tasapainomallit, kustannus-hyötyanalyysi ja kustannustehokkuusanalyysi. Käytännössä säädöshankkeen vaikutuksia etukäteen arvioitaessa joudutaan kuitenkin usein käyttämään lähinnä laadullista arviointia. Tällöinkin olisi pyrittävä arvioimaan ainakin sitä, mitkä ovat yritysvaikutusten kohderyhmät sekä sitä, miten merkittäviä ja minkä suuntaisia erilaiset välittömät ja välilliset vaikutukset yrityksiin ovat.

Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen (VATT) tutkimusprofessorin Jaakko Kianderin muistiossa luodaan käytännönläheinen katsaus yritysvaikutusten arvioinnin menetelmiin ja arvioinnissa huomioon otettaviin keskeisiin tekijöihin. Muistion tavoitteena on tukea säädösvalmistelijaa yritysvaikutusten arvioinnin suunnittelussa ja suorittamisessa.

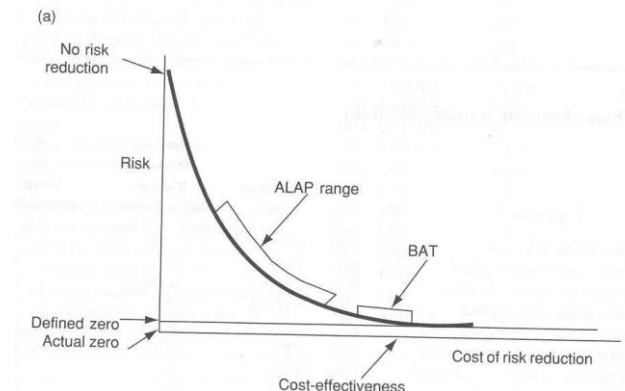
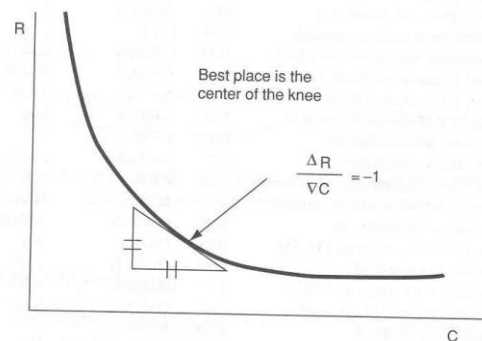
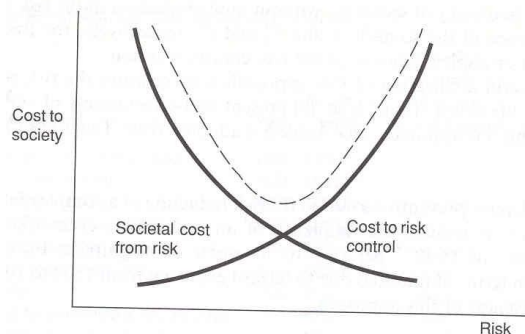
Yritysvaikutusten arviointi edellyttää perustietoa yrityskentän rakenteesta sekä yritystoiminnasta ja sen reunaehdoista. Yritystietoa-osioon on koottu tietoa yritystoiminnasta ja linkkejä yritystiedon lähteisiin (Tilastokeskus, Eurostat, Patentti- ja rekisterihallitus, verohallinto).

Yritysvaikutusten yhtenä menetelmänä voidaan myös käyttää yrityspaneelia, sähköisesti toteuttavaa kyselyä määritellyille kohdeyrityksille. Yrityspaneelia voidaan käyttää esimerkiksi säädöshankkeiden esiselvityksen tietolähteenä tai jo vireillä olevassa hankkeessa eri vaihtoehtojen testaamiseksi.

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus,
Kiander: Lainsäädännön yritysvaikutukset ja

Kustannustehokkuusanalyysi

- Engl. cost-effectiveness analysis (CEA)
 - Riskit ja riskienhallintatoimenpiteet aiheuttavat kustannuksia
 - » Riskien lähes täydellinen eliminointi erittäin kallista
 - » Toisaalta suuret riskit voivat johtaa suuriin tappioihin
 - Kustannustehokkuusanalyysissä haetaan riskien-hallintatasoa, joka minimoi kokonaiskustannukset



- BAT = Best Available Technology
- ALAP = As Low As Practicable

Riskitehokkuusanalyysi

- Engl. risk-effectiveness analysis
 - Kuvaa, miten tehokkaasti riskienhallintatoimenpiteet alentavat riskitasoa
 - Voidaan perustaa suhdelukuun

$$RE = \frac{S}{\sum_{i=1}^n F_i C_i - \sum_{i=1}^n F'_i C'_i}$$

missä S on riskienhallintatoimenpiteen vuosittainen kustannus, F ja F' riskien esiintymistaajuuudet sekä C ja C' niiden seuraamukset ennen toimenpidettä ja sen jälkeen

- Esim. teollinen tuotantolaitos
 - Ennaltaehkäisevän riskienhallintatoimenpiteen vuosikustannus \$1.5 milj. Toimenpide alentaa onnettomuustaajuutta tasolta 1×10^{-5} kertaluokalla ja onnettomuudessa menehtyvien määrä alenee 1500:sta 100:aan. Onko toimenpide tehokas?
 - Tehokkuusluvuksi saadaan

$$RE = \frac{\$1.5 \times 10^6}{1 \times 10^{-5} \times 1500 - 1 \times 10^{-6} \times 100} \cong \$1 \times 10^8$$

- Eli yhden hengen säästö maksaisi \$100 milj

Esimerkkejä riskivertailuista (1/2)

Regulation	Year	Health or Safety	Baseline Mortality Risk per Million Exposed	Cost per Premature Death Averted (US\$ millions 1990)
Unvented space heater ban	1980	CPSC	1,890	0.1
Aircraft cabin fire protection standard	1985	FAA	5	0.1
Auto passive restrain/seat belt standards	1984	NHTSA	6,370	0.1
Steering column protection standard	1967	NHTSA	385	0.1
Underground construction standards	1989	OSHA-S	38,700	0.1
Trihalomethane drinking water standards	1979	EPA	420	0.2
Aircraft seat cushion flammability standard	1984	FAA	11	0.4
Alcohol and drug control standard	1985	FRA	81	0.4
Auto fuel-system integrity standard	1975	NHTSA	343	0.4
Standards for servicing auto wheel rims	1984	OSHA-S	630	0.4
Aircraft floor emergency lighting standards	1984	FAA	2	0.6
Concrete and masonry construction standards	1988	OSHA-S	630	0.6
Crane-suspended personnel platform standard	1988	OSHA-S	81,000	0.7
Passive restraints for trucks and buses	1989	NHTSA	6,370	0.7
Side-impact standards for autos (dynamic)	1990	NHTSA	NA	0.8
Children's sleepwear flammability ban	1973	CPSC	29	0.8
Auto side door support standards	1970	NHTSA	2,520	0.8
Low-altitude windshear equipment and training	1988	FAA	NA	1.3
Electrical equipment standards (metal mines)	1970	MSHA	NA	1.4
Trenching and excavation standards	1989	OSHA-S	14,310	1.5
Traffic alert and collision avoidance (TCAS)	1988	FAA	NA	1.5
Hazard communication standard	1983	OSHA-S	1,800	1.6
Side-impact standards for trucks and MPVs	1989	NHSTA	NA	2.2
Gain dust explosion prevention standards	1987	OSHA-S	9,450	2.8
Rear lap/shoulder belts for autos	1989	NHSTA	NA	3.2
Standards for radio nuclides in uranium mines	1984	EPA	6,300	3.4
Benzene NESHAP (original: fugitive emissions)	1984	EPA	1,470	3.4
Ethylene dibromide drinking water standards	1991	EPA	NA	5.7

Esimerkkejä riskivertailuista (2/2)

Regulation	Year	Health or Safety	Baseline Mortality Risk per Million Exposed	Cost per Premature Death Averted (US\$ millions 1990)
Benzene NESHAP (revised: coke by-products)	1988	EPA	NA	6.1
Asbestos occupational exposure limit	1972	OSHA-S	3,015	8.3
Benzene occupational exposure limit	1987	OSHA-S	39,600	8.9
Electrical equipments standards (coal mines)	1970	MSHA	NA	9.2
Arsenic emission standards for glass plants	1986	EPA	2,660	13.5
Ethylene oxide occupational exposure limits	1984	OSHA-S	1,980	20.5
Arsenic/copper NESHAP	1986	EPA	63,000	23.0
Hazardous waste listing for petroleum refining sludge	1990	EPA	210	27.6
Cover/move uranium mil tailings (inactive sites)	1983	EPA	30,100	31.7
Benzene NESHAP (Revised: transfer operations)	1990	EPA	NA	32.9
Cover/move uranium mil tailings (active sites)	1983	EPA	30,100	45.0
Acrylonitrile occupational exposure limit	1978	OSHA-S	42,300	51.5
Coke ovens occupational exposure limit	1976	OSHA-S	7,200	63.5
Lockout/tagged	1989	OSHA-S	4	70.9
Asbestos occupational exposure limit	1986	OSHA-S	3,015	74.0
Arsenic occupational exposure limit	1978	OSHA-S	14,800	106.9
Asbestos ban	1989	EPA	NA	110.7
Diethylstilbestrol (DES) cattlefeed ban	1979	FDA	22	124.8
Benzene NESHAP (revised waste operation)	1990	EPA	NA	168.2
1,2-Dichloropropane drinking water standard	1991	EPA	NA	653.0
Hazardous waste land disposal ban (1st to 3rd)	1988	EPA	2	4,190.4
Municipal solid waste landfill standards (proposed)	1988	EPA	<1	19,107.0
Formaldehyde occupational exposure limit	1987	OSHA-S	31	86,201.8
Atrazine/alachlor drinking water standard	1991	EPA	NA	92,069.7
Hazardous waste listing for wood preserving chemicals	1990	EPA	<1	5,700,000.0