

Luento 3

Riskien kvalitatiivinen arviointi

PRA:n pääpiirteet

Tapahtumapuuanalyysi

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

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 määrittettyjen uhkaskenaarioiden todennäköisyydet sekä haitallisten seuraamusten suuruudet
- Ideaali
 - Tunnistetaan kaikki skenaariot, lasketaan näiden todennäköisyydet ja rakennetaan kokonaisvaltainen riskikuva
 - Käytännössä utopistinen tavoite
 - Kaikkea ei voi tietää – tietämättömyys

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)

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?
 - » Haettava 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

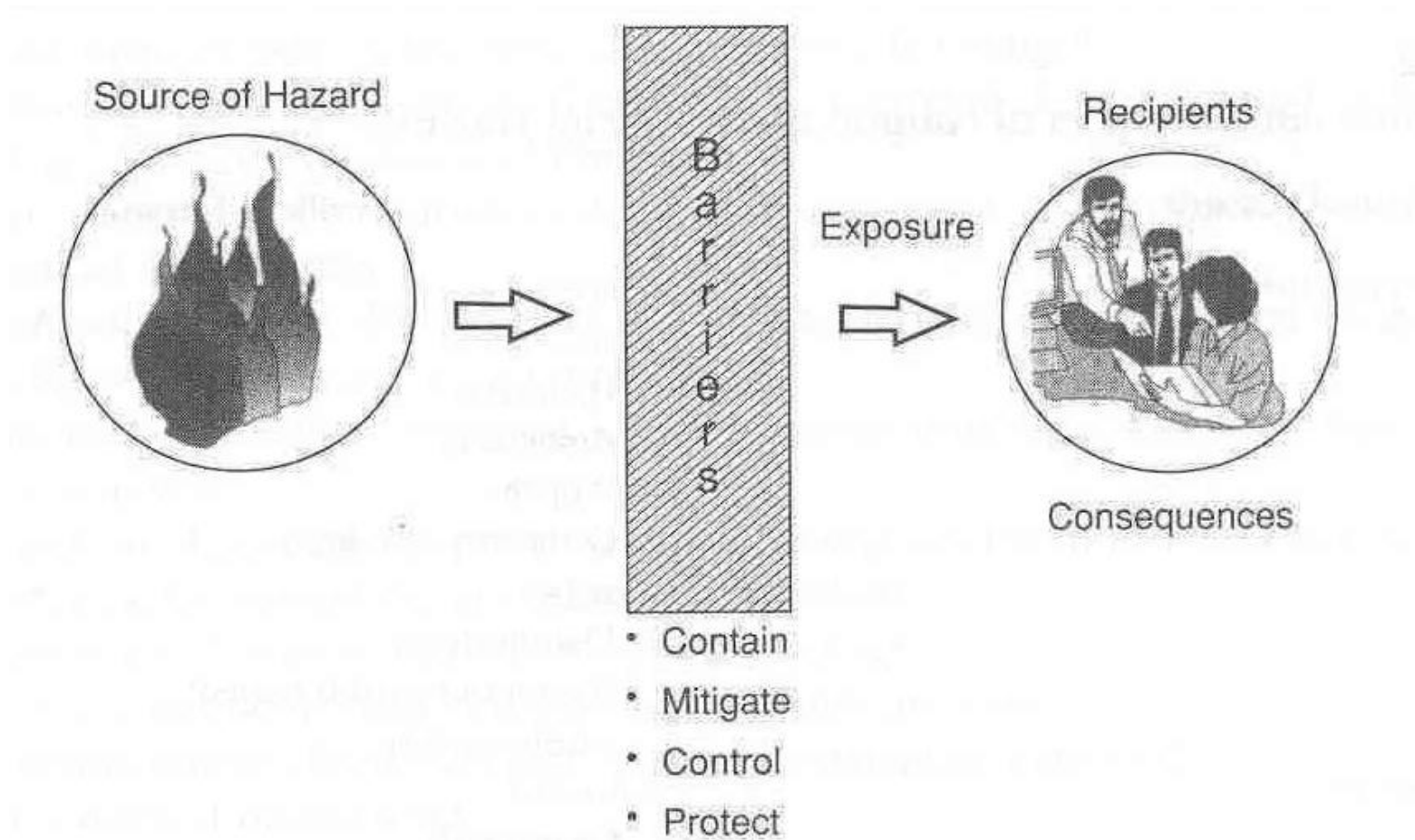
1) Suuronnettomuus

- » 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

Riskien arviointi

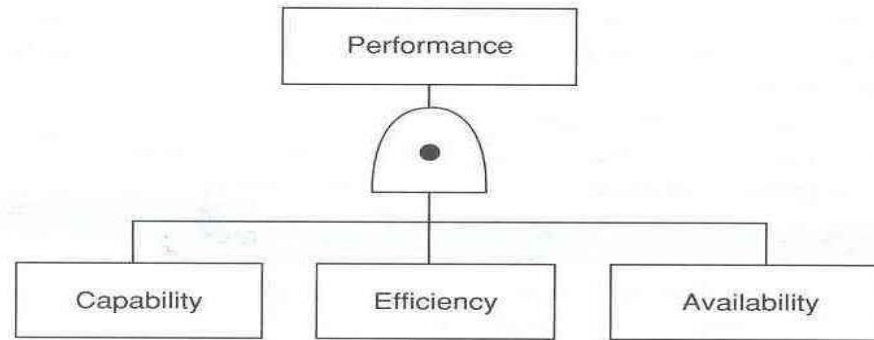


General illustration of risk assessment concept.

Suorituskyvyn arvioinnista

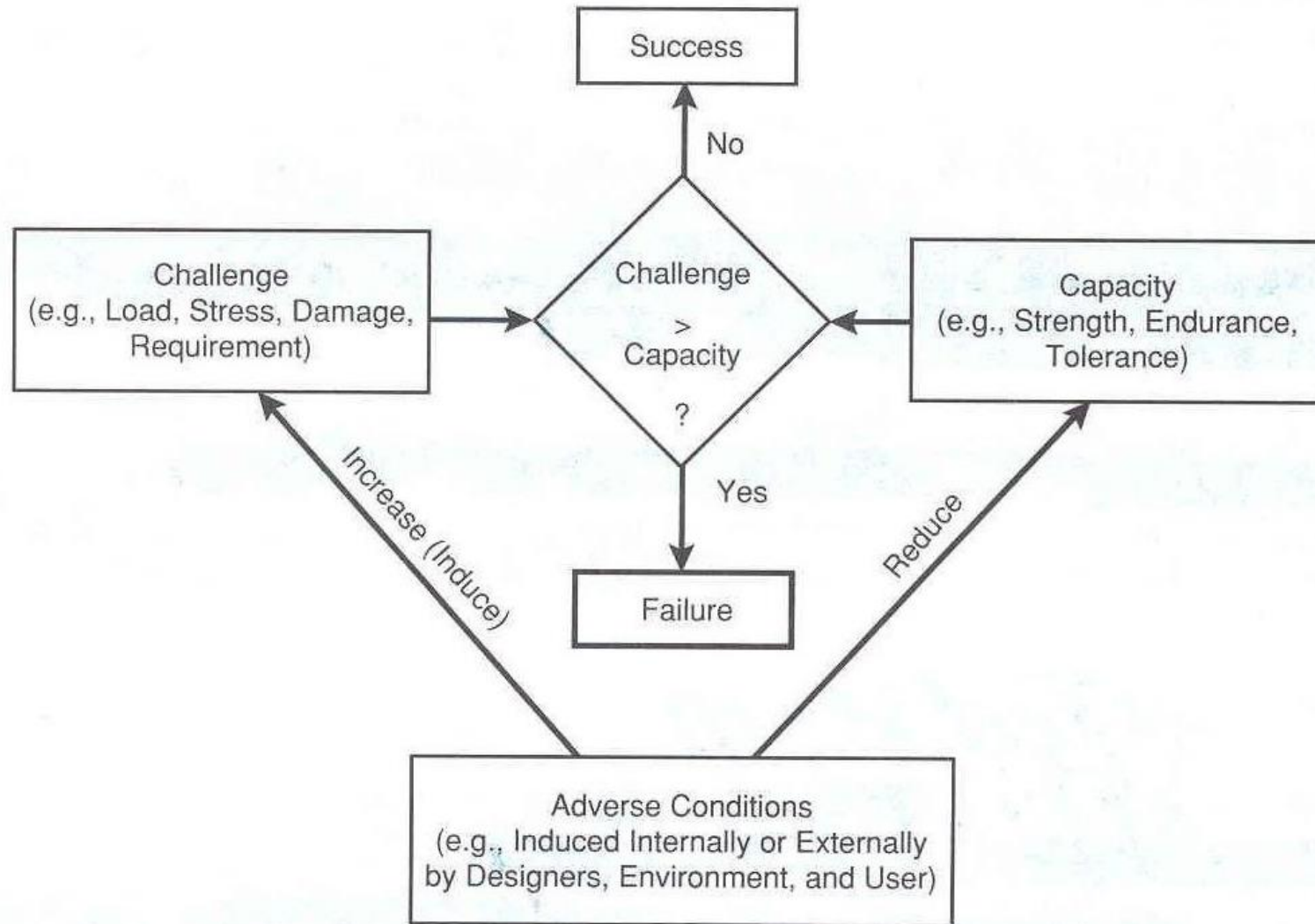
- Suorituskyky
 - Tarkoittaa järjestelmän kykyä suoriutua sille tarkoitetuista tehtävistä kaikkina ajankohtina
 - Huomioita
 - » Voidaan luonnehtia kvalitatiivisesti tai kvantitatiivisesti
 - » Ei ole kvantitatiivisessa mielessä deterministinen, riippuu
 - toimintaympäristön asettamista vaatimuksista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

Suorituskyvyn ulottuvuuksia

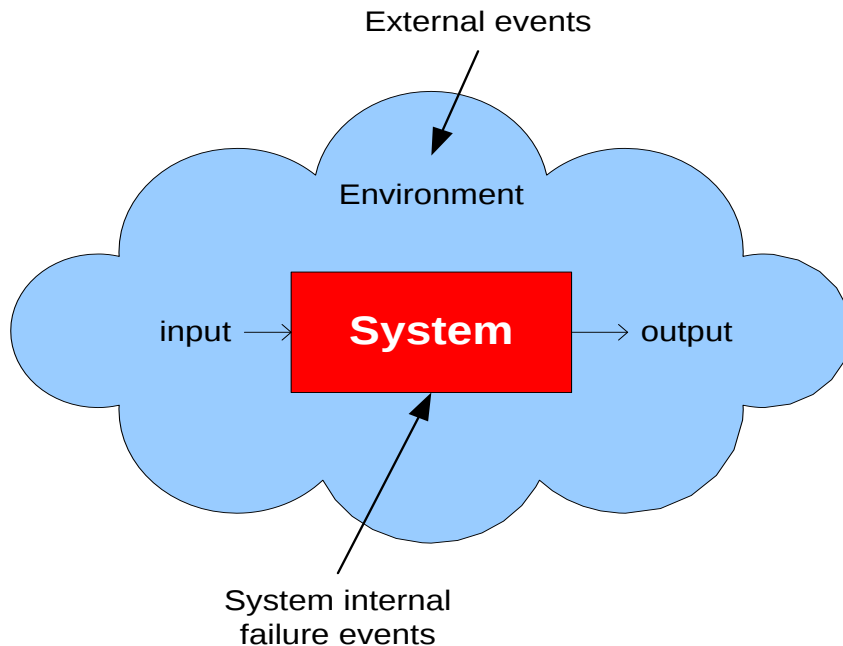


- **Suoritustaso (engl. capability)**
 - Täsmentää, miten todennäköisesti järjestelmän suoritusominaisuudet (eng. capacity) vastaavat järjestelmään kohdistuvia vaatimuksia siten, että järjestelmä saavuttaa sille asetetut tavoitteet
 - » Vrt. junaliikenteen suoritustaso – max 5 min myöhästys
 - » Jos 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



Turvallisuuden osoittaminen



Deterministinen vaatimus:

- Suunnitteluperusteiset (postuloidut) skenaariot eivät saa johtaa epätoivottuihin seurauksiin

Probabilistinen vaatimus:

- $f(\text{ei-toivottu seuraus}) < f^*$

Esimerkki: Silta



- Suunnitteluperuste: kuorma, joka sillan on kestettävä
- Deterministinen $L^* < S^*$
- Probabilistinen $P(L < S) < p$

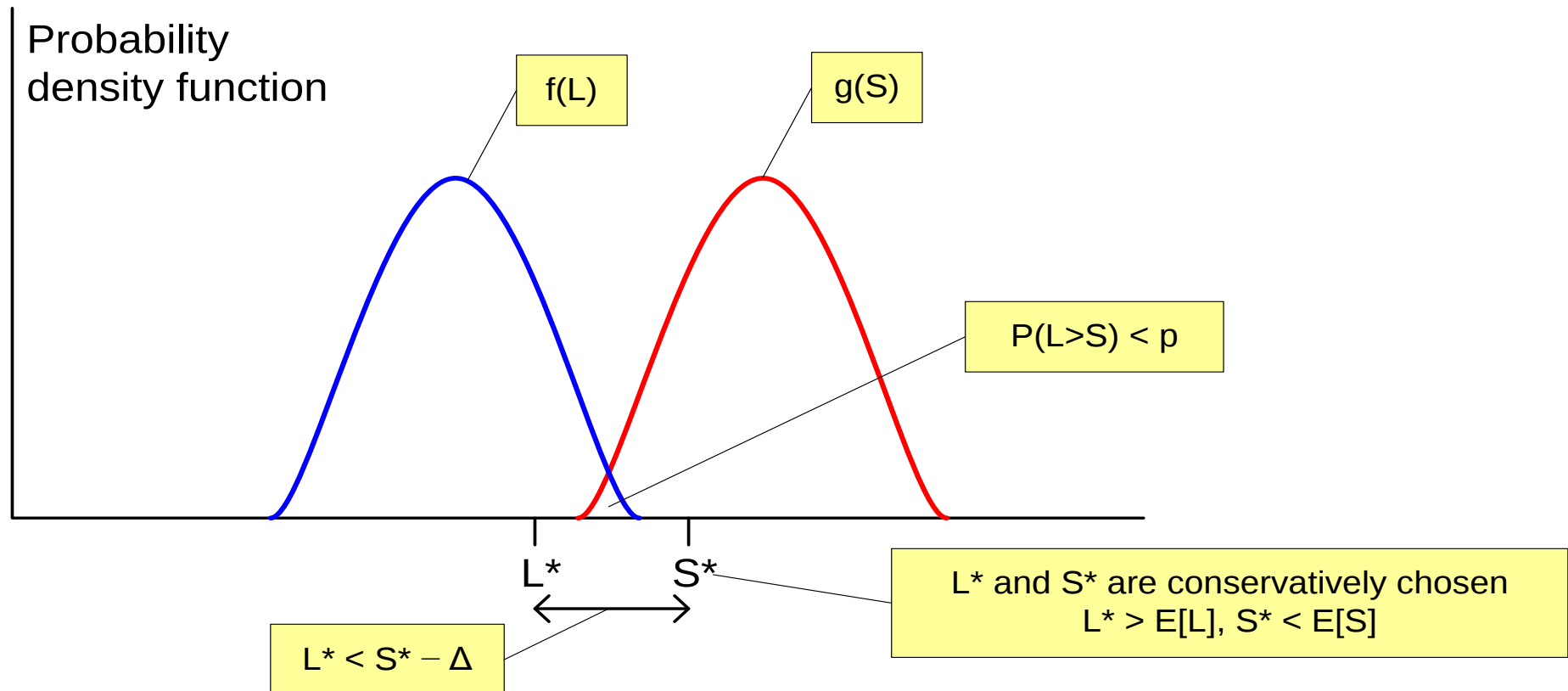
Deterministinen analyysi

- L^* (suunnitteluperusteinen kuorma)
 - based on engineering judgements or standards
 - is chosen with some conservatism to represent a maximal reasonably postulated load on the bridge
- S^* (sillan kestävyys)
 - calculated with a qualified method, using conservative assumptions (the “true” S^* is higher than S^*)
- Hyväksymiskriteeri: $L^* < S^* - \Delta$,
 - where Δ is an additional safety margin (defined e.g. in a standard)

Probabilistinen analyysi

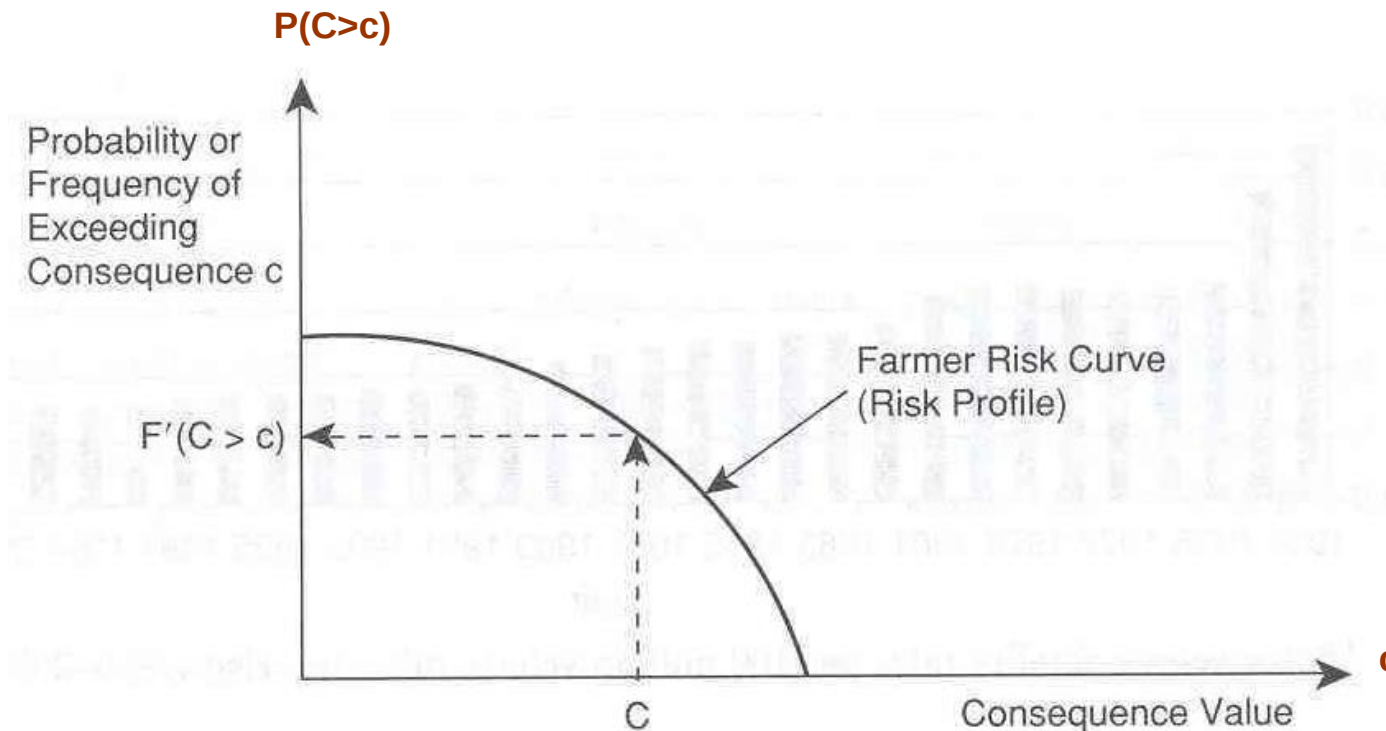
- The probability distribution of L is estimated using engineering judgements or statistics is possible
- The probability distribution of S is estimated using e.g. probabilistic structural analysis methods
- Derivation of $P(L < S)$ is probability calculus
- Acceptance criterion $P(L < S) < p$,
 - where p may be defined in a standard

Lähestymistapojen vertailu

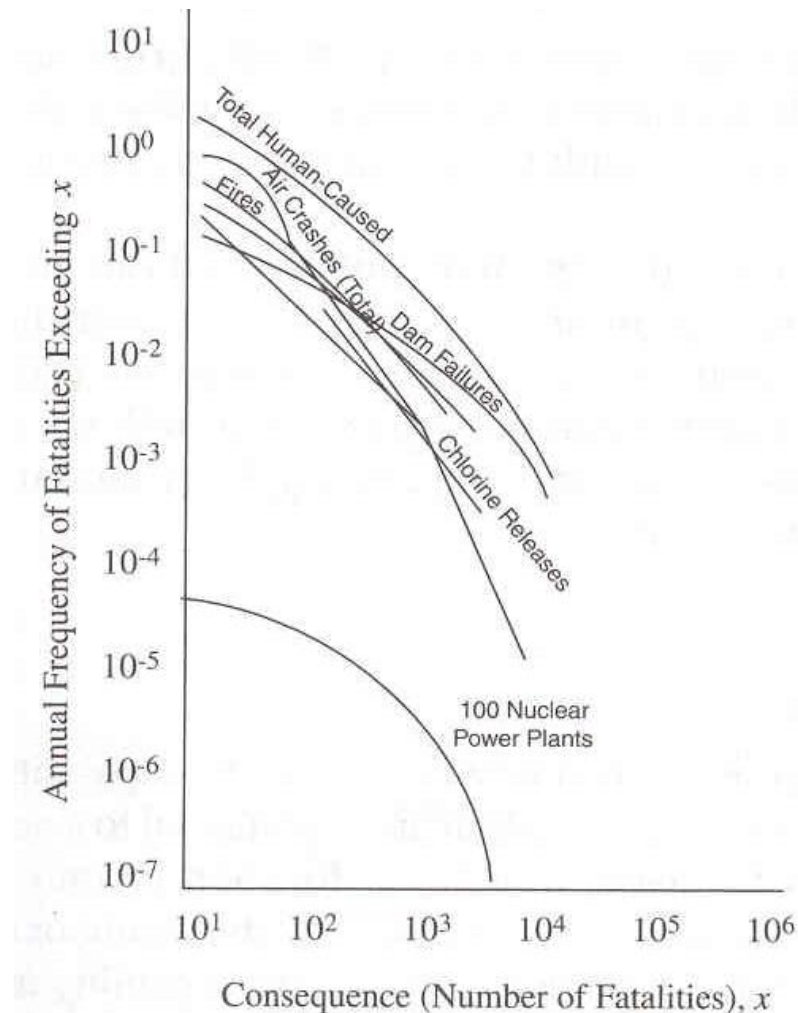


Farmerin käyrä

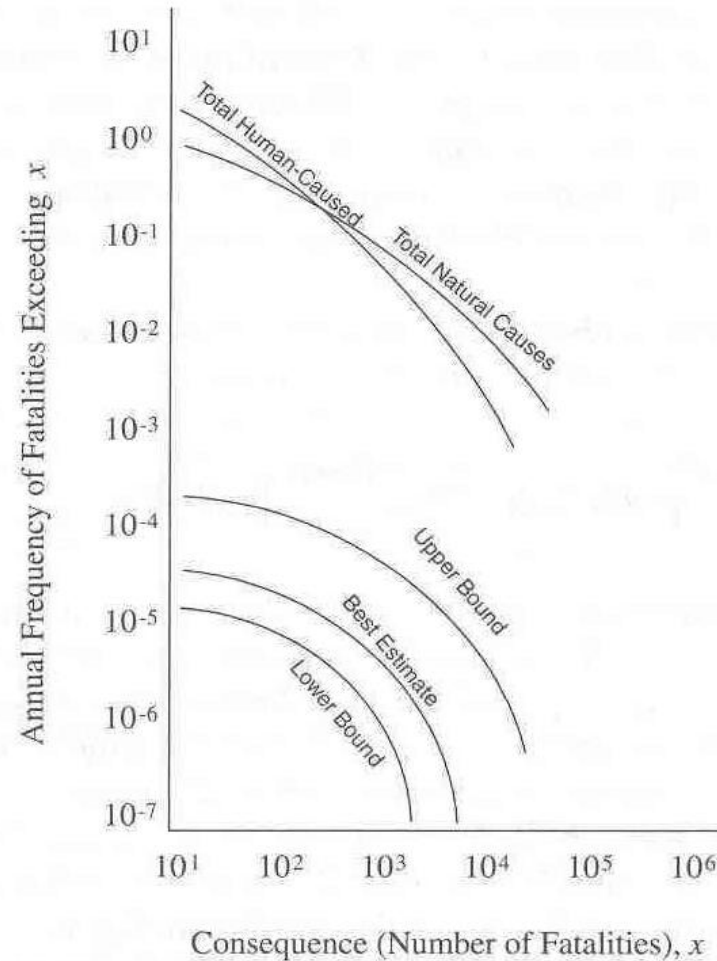
- Tulkinta
 - Liittää kuhunkin tappiotasoon todennäköisyyden, jolla päädytään tätä tasoa suurempaan tappioon



Farmerin käyriä (1/2)



Farmerin käyriä (2/2)



Esimerkki Farmerin käyristä (1/2)

- Lähtökohtia
 - Laitostyyppi hajoaa todennäköisyydellä $p = 0,1$
 - Hajotessaan laitos aiheuttaa 10 henkilön kuoleman
 - Lasketaan riskiprofiilit, kun laitoksia $n = 1, 2, 5, 10$ kpl
- Binomijakauma
 - Jos laitoksia n , niin niistä hajoaa täsmälleen x kpl todennäköisyydellä

$$P(X = x; n) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}, 0 \leq x \leq n$$

- Esimerkiksi jos $n = 3$, $x = 1$, niin

$$\begin{aligned} P(X = 1; 3) &= \binom{3}{1} 0,1^1 (1 - 0,1)^2 \\ &= \frac{3!}{2! \times 1!} \times 0,1 \times 0,9^2 \approx 0,243 \end{aligned}$$

- Enintään x laitosta hajoaa todennäköisyydellä

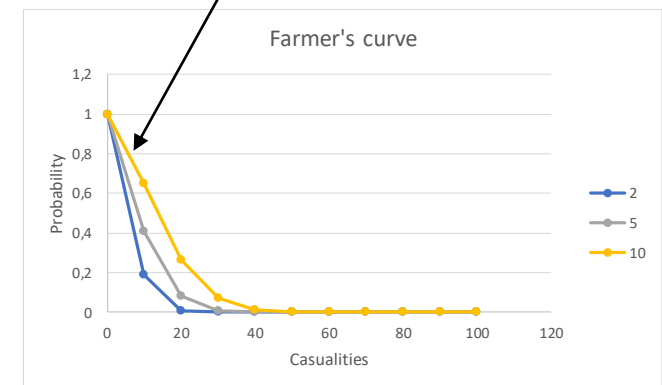
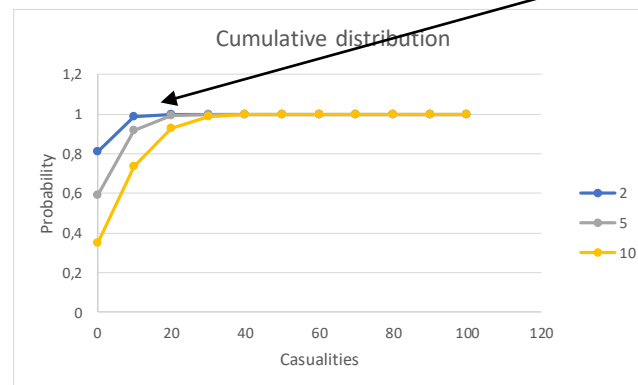
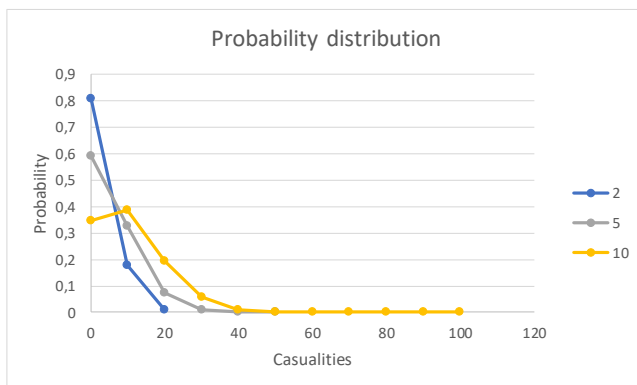
$$P(X \leq x; n) = \sum_{i \leq x} \binom{n}{i} p^i (1 - p)^{n-i}$$

Esimerkki Farmerin käyristä (1/2)

- Todennäköisyys sille, että kuolemia tulee yli c kpl on komplementtitapaus sille, että enintään $c/10$ laitosta hajoaa

$$F_n(c) = 1 - \sum_{i \leq c/10} \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$$

Tarkkaan ottaen pitäisi olla porraskäyriä



Tilastoperustainen riskien arviointi

- Frekvenssipohjainen yhdistely
 - Jos tiedetään,
 - » mitkä ovat odotusarvoiset vahingot vaaratilanteissa ja
 - » miten usein vaaratilanteita toteutuu,
 - niin riskiarvioita voidaan tuottaa näiden tietojen pohjalta
- Esim. USA:n liikennekuolemat
 - USA:ssa on tilastojen valossa 15 miljoonaa liikenneonnettomuutta vuodessa siten, että 1 henkilö kuolee 300 onnettomuutta kohtia. Liikennekuolemien riskiä voidaan täten kuvata luvulla

$$\left(15 \times 10^6 \frac{\text{onnettomuus}}{\text{vuosi}}\right) \left(\frac{1}{300} \frac{\text{kuollutta}}{\text{onnettomuus}}\right) = 50000 \frac{\text{kuollutta}}{\text{vuosi}}$$

- Huom!
 - Tapahtumia oltava tarpeeksi paljon tilastollisesti – muuten luottamusvälit ovat isoja
 - » Vrt. suurten lukujen laki $\Rightarrow$ ennuste tarkentuu
 - Tämä tulos varmaan saatavissa tilastoista suoraan
 - Näkökulmana kansakunnan taso – ei yksilön
 - » Millä tn:llä yksi nimenomainen henkilö kuolee?
 - » Miten ajotottumukset jne. vaikuttavat?

Esimerkki - Salmonella

- Toiseksi yleisin ruokamyrkytyksen aiheuttaja
 - Esiintyy kananmunissa, pastöroimattomassa maidossa, lihassa jne.
- Tilastotietoja USA:sta
 - 19 sairastumista per miljoona syötyä kananmunaa
 - 710 kuolemaa per miljoona sairastumista
 - 47 miljardia syötyä kananmunaa
 - \$400 taloudellinen tappio per sairastapaus
- Mitkä ovat salmonellan odotusarvoiset tappiot (kuolemantapaukset, taloudelliset menetykset)?
 - sairastumisia $47 \times 10^9 / (1 \times 10^6) \times 19 = 893\,000$ kpl
 - kuolemia $893\,000 \times (710 / 1 \times 10^6) = 634$ kpl
 - taloudelliset tappiot $893\,000 \times \$400 = \$357\,200\,000$

Esimerkki Autokolarit

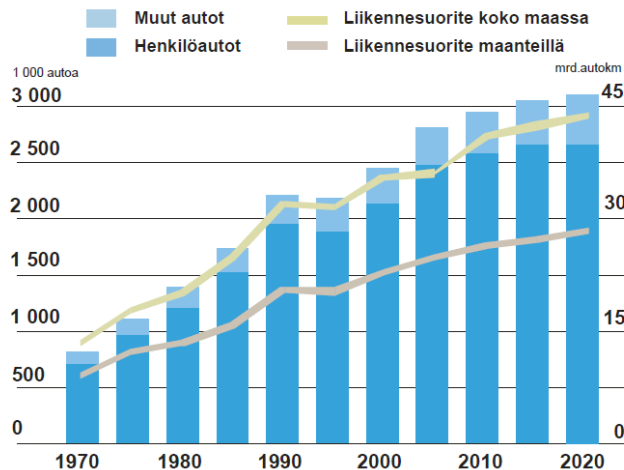
- Tilastotietoja USA:sta v. 2003
 - väkiluku 250 miljoonaa
 - 6,3 miljoonaa kolaria
 - 1 loukkaantunut per 3 kolaria
 - 1 kuolemantapaus per 165 kolaria
 - kuolemaan johtaneen kolarin odotusarvoiset tappiot \$450 000 kuolemasta ja \$25 000 omaisuudesta
 - loukkaantumiseen johtaneen kolarin vastaavasti \$15 000 loukkaantumisesta ja \$10 000 omaisuudesta
 - muista kolareista \$3 000 omaisuudesta
- Mitkä ovat kolareista aiheutuvat taloudelliset tappiot?

Autokolarit (jatkoa)

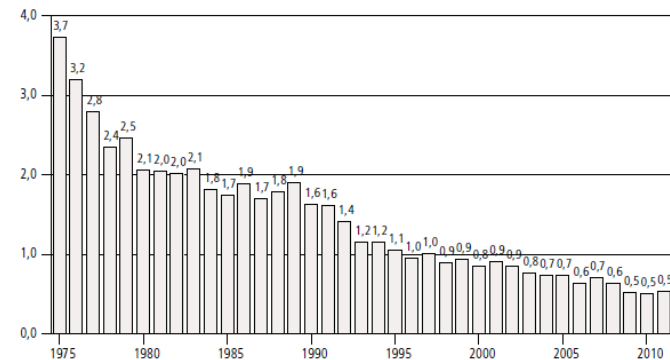
Risk Contributor	Fatality	Injury	Other	Total
Probability per person per accident	$6.3 \times 10^6 / 250 \times 10^6 = 0.025$	0.025	0.025	
Probability of events given accident	1/165	1/3	109/165	
Probability of consequence per person	$1/165 \times 0.025 = 1.53 \times 10^{-4}$	8.4×10^{-3}	1.66×10^2	
Magnitude of consequence (US\$ at risk)	450,000 + 25,000	15,000 + 10,000	3000	
Risk (expected loss)	US\$ 72.54	US\$ 210.00	US\$ 49.94	US\$ 332.49 per person– year

Riskin mittaamisesta

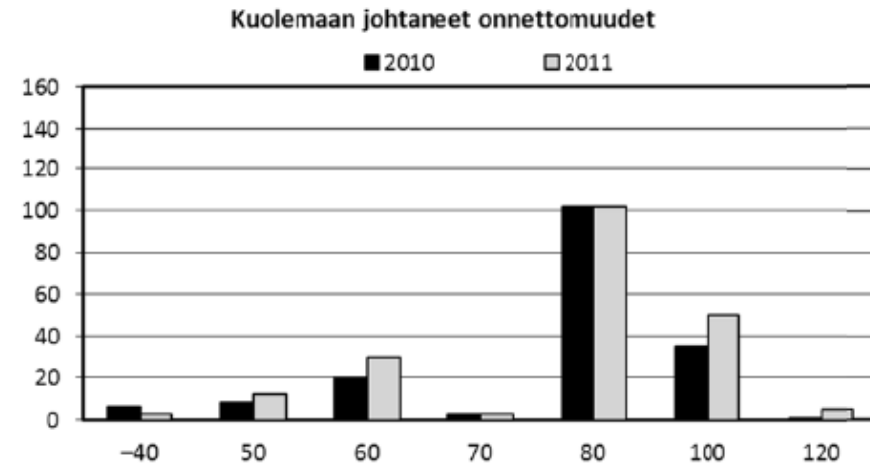
- Riskitaso suhteutettava asteikkoon
 - Ajokilometriä kohden suhteutettu riski vähentynyt tätäkin enemmän (lähde: Tiehallinto)



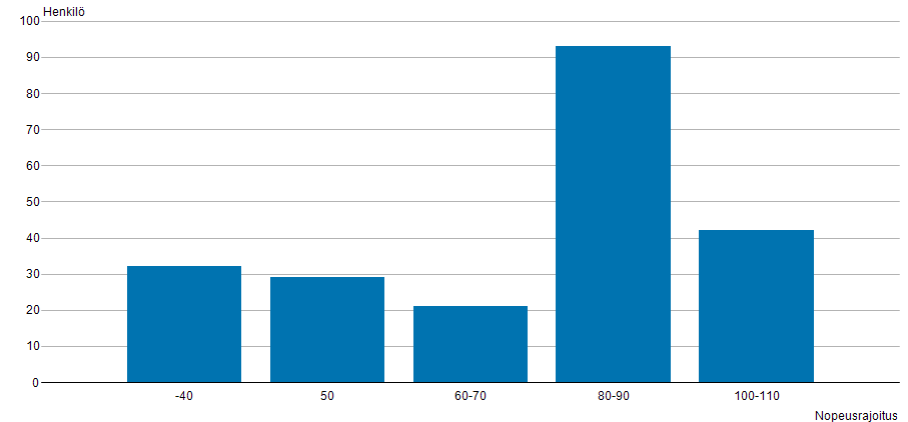
Kuolleet 100 miljoonaa autokilometriä kohti 1975–2011
Killed per 100 million automobile kilometres 1975–2011



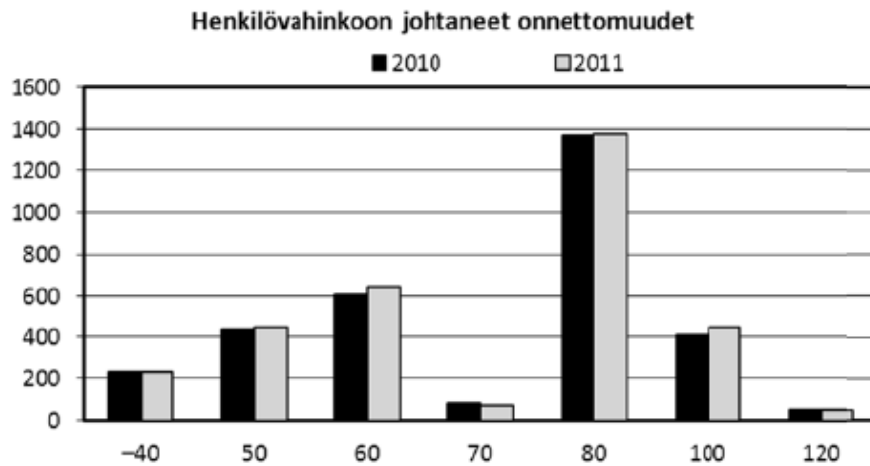
Lähteet: Liikennevirasto, Tilastokeskus – Sources: Finnish Transport Agency, Statistics Finland



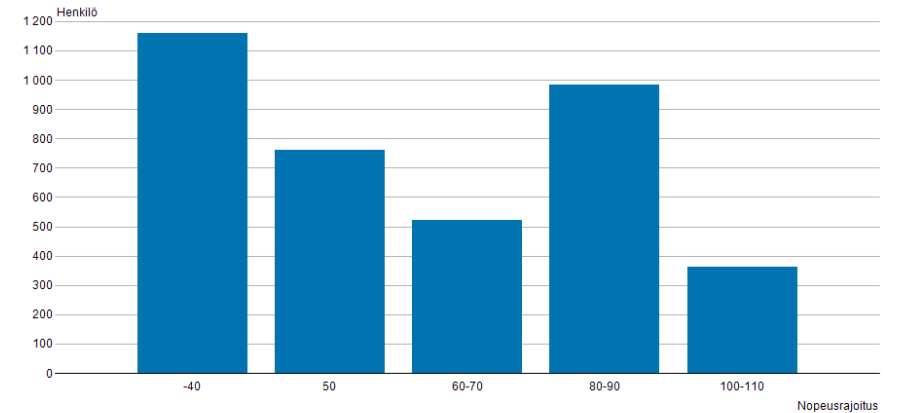
Tieliikenneonnettomuuksissa kuolleet ja loukkaantuneet muuttujina Nopeusrajoitus. Yhteensä, Kuolleet, 2021.



Lähde: Tilastokeskus



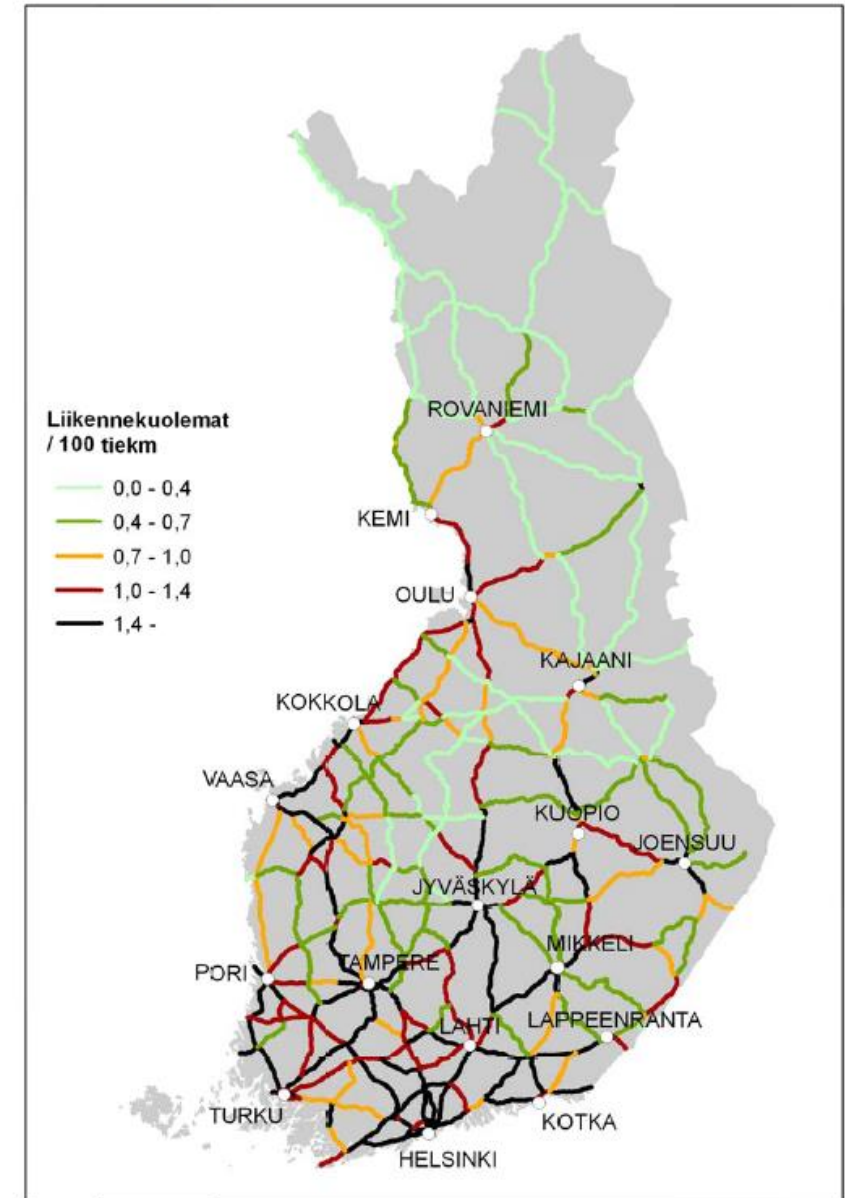
Tieliikenneonnettomuuksissa kuolleet ja loukkaantuneet muuttujina Nopeusrajoitus. Yhteensä, Loukkaantuneet (ml. vakavasti loukk.), 2021.



Lähde: Tilastokeskus

Kuva 8. Henkilövahinkoon johtaneiden onnettomuuksien lukumäärä nopeusrajoituksittain (km/h) maanteillä vuosina 2010 ja 2011.⁵

Kartta 3. Liikennekuolemien tiheys päätieverkolla, TARVA-ohjelmalla laskettu nykytilan ennuste..



Taulukko 3. Tieliikenteessä kuolleet tienkäyttäjryhmän ja iän mukaan 2008

Table 3. Killed in road traffic by road user group and age 2008

Tienkäyttäjä – Road user	Ikä – Age						
	0–5	6–9	10–14	15–17	18–20	21–24	25–34
Jalankulkija – Pedestrian	1	1	1	1	-	-	2
Polkupyörä, kuljettaja – Bicycle, driver	-	-	-	2	-	-	1
Polkupyörä, matkustaja – Bicycle, passenger	-	-	-	-	-	-	-
Mopo, kuljettaja – Moped, driver	-	-	-	6	-	-	2
Mopo, matkustaja – Moped, passenger	-	-	-	-	-	-	-
Moottoripyörä, kuljettaja – Motor cycle, driver	-	-	-	4	4	2	7
Moottoripyörä, matkustaja – Motor cycle, passenger	-	-	1	-	-	1	-
Henkilöauto, kuljettaja – Passenger car, driver	-	-	-	1	16	14	18
Henkilöauto, matkustaja – Passenger car, passenger	2	1	1	12	9	2	10
Linja-auto, kuljettaja – Bus, driver	-	-	-	-	-	-	-
Linja-auto, matkustaja – Bus, passenger	-	-	-	-	-	-	-
Pakettiauto, kuljettaja – Van, driver	-	-	-	-	-	-	2
Pakettiauto, matkustaja – Van, passenger	-	-	-	-	-	-	1
Kuorma-auto, kuljettaja – Lorry, driver	-	-	-	-	1	-	2
Kuorma-auto, matkustaja – Lorry, passenger	-	-	-	-	-	-	-
Traktori, kuljettaja – Agricultural tractor, driver	-	-	-	-	-	-	-
Traktori, matkustaja – Agricultural tractor, passenger	-	-	-	-	-	-	-
Muu, kuljettaja – Other, driver	-	-	-	-	-	1	1
Muu, matkustaja – Other, passenger	-	-	-	-	-	-	-
Yhteensä – Total	3	2	3	26	30	20	46

jatkuu – continues

Tienkäyttäjä – Road user	Ikä – Age					Yhteensä Total
	35–44	45–54	55–64	65–74	75–	
Jalankulkija – Pedestrian	4	8	7	8	20	53
Polkupyörä, kuljettaja – Bicycle, driver	1	-	3	6	5	18
Polkupyörä, matkustaja – Bicycle, passenger	-	-	-	-	-	-
Mopo, kuljettaja – Moped, driver	1	-	1	1	2	13
Mopo, matkustaja – Moped, passenger	-	-	-	-	-	-
Moottoripyörä, kuljettaja – Motor cycle, driver	7	4	2	-	-	30
Moottoripyörä, matkustaja – Motor cycle, passenger	1	-	-	-	-	3
Henkilöauto, kuljettaja – Passenger car, driver	18	20	15	16	26	144
Henkilöauto, matkustaja – Passenger car, passenger	4	5	4	2	6	58
Linja-auto, kuljettaja – Bus, driver	-	-	-	-	-	-
Linja-auto, matkustaja – Bus, passenger	-	-	-	-	-	-
Pakettiauto, kuljettaja – Van, driver	-	5	1	-	-	8
Pakettiauto, matkustaja – Van, passenger	-	-	-	-	-	1
Kuorma-auto, kuljettaja – Lorry, driver	-	-	2	-	-	5
Kuorma-auto, matkustaja – Lorry, passenger	-	-	-	-	-	-
Traktori, kuljettaja – Agricultural tractor, driver	1	2	1	1	-	5
Traktori, matkustaja – Agricultural tractor, passenger	-	1	-	-	-	1
Muu, kuljettaja – Other, driver	-	2	1	-	-	5
Muu, matkustaja – Other, passenger	-	-	-	-	-	-
Yhteensä – Total	37	47	37	34	59	344

Kuolleet 2021				
Tienkäyttäjä	0-14	15-24	25-34	35-44
Jalankulkija	1	2	3	
Polkupyörä	1	1	1	
Mopo				1
Moottoripyörä, kuljettaja	1	6	1	6
Moottoripyörä, matkustaja		1	1	
Henkilöauto, kuljettaja		18	16	18
Henkilöauto, matkustaja	2	7	2	3
Linja-auto, kuljettaja				
Linja-auto, matkustaja				
Pakettiauto, kuljettaja		1	1	2
Pakettiauto, matkustaja				1
Kuorma-auto, kuljettaja		1		1
Kuorma-auto, matkustaja				
Traktori, kuljettaja		1		
Traktori, matkustaja				
Muu, kuljettaja		1		
Muu, matkustaja				
SUMMA	5	39	25	32

Tienkäyttäjä	45-54	55-64	65-74	75-	SUMMA
Jalankulkija	4	2	2	10	24
Polkupyörä	1	2	6	10	22
Mopo		1		2	4
Moottoripyörä, kuljettaja	1	7	3	1	26
Moottoripyörä, matkustaja					2
Henkilöauto, kuljettaja	13	12	10	13	100
Henkilöauto, matkustaja	4		3	3	24
Linja-auto, kuljettaja					
Linja-auto, matkustaja					
Pakettiauto, kuljettaja		1	1	1	7
Pakettiauto, matkustaja					1
Kuorma-auto, kuljettaja					2
Kuorma-auto, matkustaja	1				1
Traktori, kuljettaja					1
Traktori, matkustaja					
Muu, kuljettaja		1	3		5
Muu, matkustaja					
SUMMA	24	26	28	40	219

Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu

Matematiikan ja systeemianalyysin laitos

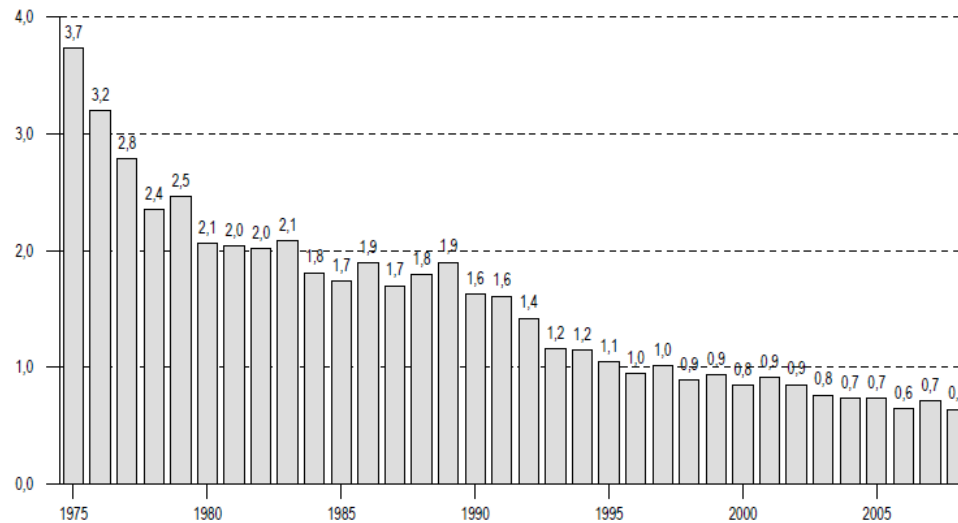
Taulukko 16. Kuolleet tienkäyttäjryhmittäin ikäryhmän 100 000 asukasta kohti 2008

Table 16. Killed by age group and road user group per 100,000 inhabitants 2008

Ikä Age	Jalankulkija Pedestrian	Polkupyörä Bicycle	Mopo Moped	Moottoripyörä Motor cycle	Henkilöauto – Pass. car Kuljettaja Driver	Matkustaja Passenger	Muu auto Other car	Muu kulkuneuvo Other vehicle	Yhteensä Total
0–5	0,3	-	-	-	-	0,6	-	-	0,9
6–9	0,4	-	-	-	-	0,4	-	-	0,9
10–14	0,3	-	-	0,3	-	0,3	-	-	0,9
15–17	0,5	1,0	3,0	2,0	0,5	6,0	-	-	12,9
18–20	-	-	-	2,1	8,3	4,7	0,5	-	15,6
21–24	-	-	-	1,1	5,3	0,8	-	0,4	7,5
25–34	0,3	0,2	0,3	1,1	2,7	1,5	0,8	0,2	7,0
35–44	0,6	0,1	0,1	1,1	2,6	0,6	-	0,1	5,3
45–54	1,1	-	-	0,5	2,6	0,7	0,7	0,7	6,2
55–64	0,9	0,4	0,1	0,3	2,0	0,5	0,4	0,3	4,9
65–74	1,7	1,3	0,2	-	3,5	0,4	-	0,2	7,3
75–	4,8	1,2	0,5	-	6,3	1,5	-	-	14,3
Yhteensä Total	1,0	0,3	0,2	0,6	2,7	1,1	0,3	0,2	6,5

Kuolleet 100 miljoonaa autokilometriä kohti 1975–2008

Killed per 100 million automobile kilometres 1975–2008



Lähteet: Tiehallinto, Tilastokeskus – Source: Finnish Road Administration, Statistics Finland

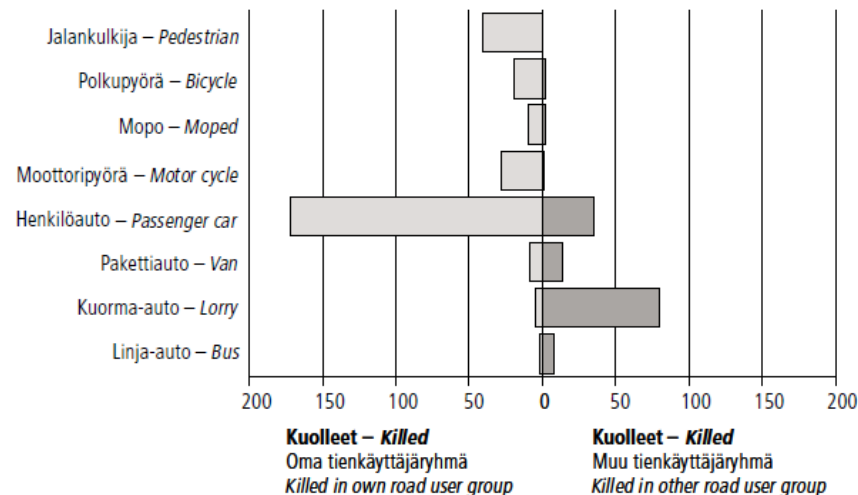
Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu

Matematiikan ja systeemianalyysin laitos

Taulukko 11. Moottoriajoneuvojen kuljettajat henkilövahinko-onnettomuuksissa ajokortin mukaan 2011
Table 11. Motor vehicle drivers in accidents involving casualties by type of vehicle and driving licence 2011

Ajokortti – Driving licence	Kuljettajan liikenneyksikkö – Traffic unit of driver								Yhteensä Total
	Mopo Moped	Moottoripyörä Motor cycle	Henkilöauto Pass. car	Linja-auto Bus	Pakettiauto Van	Kuorma-auto Lorry	Traktori Agric. tractor	Muu Other	
M	768	—	—	—	—	—	—	—	768
T	165	—	—	—	—	—	10	—	175
A1, A	12	167	—	—	1	—	—	—	180
B1, B, BE	37	178	4 263	—	258	2	17	5	4 760
C1, C	29	167	1 273	—	209	127	30	6	1 841
CE, C1E	6	46	300	1	76	271	12	2	714
D1, D1E	1	1	10	3	—	—	—	—	15
D, DE	1	15	103	131	9	81	1	—	341
Harjoituslupa – Learning	—	1	—	—	—	—	—	—	1
Ei ajokorttia – No licence	44	55	217	1	7	4	4	—	332
Ei tietoa – Unknown	64	22	232	11	23	21	2	22	397
Yhteensä – Total	1 127	652	6 398	147	583	506	76	35	9 524

Tieliikenneonnettomuuksissa kuolleet osallisten tienkäyttäjryhmien mukaan 2011
Killed in road traffic accidents by road user group 2011



<http://www.liikenneturva.fi/>
www.lvkk.fi (liikennevakuutustilastot)
www.oti.fi (onnettomuustietoinstituutti)

Taulukko 17. Kuolleet ja loukkaantuneet kuukausittain 2003–2008
Table 17. Killed and injured by month 2003–2008

Kuukausi – Month	2003	2004	Vuosi – Year				Rattijuopumustapauksissa 2008 Involving drunken driver
			2005	2006	2007	2008	
Kuolleet – Killed							
Tammikuu – January	22	25	50	15	28	21	3
Helmikuu – February	23	19	20	22	20	22	6
Maaliskuu – March	25	40	24	16	29	21	6
Huhtikuu – April	26	38	19	16	24	25	12
Toukokuu – May	29	42	32	27	39	29	7
Kesäkuu – June	26	28	41	32	48	25	9
Heinäkuu – July	32	26	44	36	42	41	9
Elokuu – August	43	25	42	45	32	27	9
Syyskuu – September	42	40	35	40	31	33	3
Lokakuu – October	33	38	24	30	32	44	21
Marraskuu – November	32	28	28	24	26	29	7
Joulukuu – December	46	26	20	33	29	27	4
Yhteensä – Total	379	375	379	336	380	344	96
Loukkaantuneet – Injured							
	2003 ¹⁾	2004	Vuosi – Year				
			2005	2006	2007	2008	
Tammikuu – January	621	676	682	474	649	594	37
Helmikuu – February	470	571	472	550	425	520	41
Maaliskuu – March	470	522	499	473	493	427	36
Huhtikuu – April	590	551	490	430	606	590	81
Toukokuu – May	735	746	834	682	738	799	111
Kesäkuu – June	849	778	866	1 013	936	883	140
Heinäkuu – July	902	913	1 124	983	859	950	124
Elokuu – August	989	914	984	946	982	869	107
Syyskuu – September	918	760	864	891	724	805	83
Lokakuu – October	880	830	789	806	664	792	79
Marraskuu – November	748	740	716	603	679	661	78
Joulukuu – December	916	790	663	729	691	623	40
Yhteensä – Total	9 088	8 791	8 983	8 580	8 446	8 513	957

¹⁾ Tilastoini muuttanut – Compilation method changed

Taulukko 18. Kuolleet ja loukkaantuneet viikonpäivittäin 2003–2008
Table 18. Killed and injured by day of week 2003–2008

Viikonpäivä – Day of week	2003	2004	Vuosi – Year				Rattijuopumustapauksissa 2008 Involving drunken driver
			2005	2006	2007	2008	
Kuolleet – Killed							
Maanantai – Monday	42	66	53	42	56	45	6
Tiistai – Tuesday	59	42	46	40	48	48	9
Keskiviikko – Wednesday	55	43	45	55	47	43	15
Torstai – Thursday	45	48	58	45	43	53	14
Perjantai – Friday	54	86	73	53	50	66	21
Lauantai – Saturday	69	55	70	65	72	52	19
Sunnuntai – Sunday	55	35	34	36	64	37	12
Yhteensä – Total	379	375	379	336	380	344	96
Loukkaantuneet – Injured							
	2003 ¹⁾	2004	Vuosi – Year				
			2005	2006	2007	2008	
Maanantai – Monday	1 293	1 270	1 244	1 184	1 199	1 154	63
Tiistai – Tuesday	1 129	1 233	1 178	1 099	1 140	1 197	81
Keskiviikko – Wednesday	1 210	1 194	1 139	1 173	1 172	1 218	78
Torstai – Thursday	1 263	1 270	1 365	1 244	1 113	1 121	116
Perjantai – Friday	1 532	1 337	1 477	1 480	1 390	1 520	144
Lauantai – Saturday	1 476	1 450	1 425	1 405	1 381	1 319	312
Sunnuntai – Sunday	1 185	1 037	1 155	995	1 051	984	163
Yhteensä – Total	9 088	8 791	8 983	8 580	8 446	8 513	957

¹⁾ Tilastoini muuttanut – Compilation method changed

akoulu itos

	Kuolleet	Loukkaantuneet (ml. vakavasti loukk.)
2021M01	13	161
2021M02	10	104
2021M03	8	123
2021M04	11	142
2021M05	17	147
2021M06	15	259
2021M07	20	309
2021M08	17	196
2021M09	11	191
2021M10	18	162
2021M11	13	171
2021M12	9	174
Summa	162	2139

2020 tapahtuneet liikennevakuutuksesta korvatut vahingot viikonpäivittäin.

Viikonpäivä	Vahingot kpl	Vahingot %	Henkilö- vahingot kpl	Uurit kpl	Uurit %	Uurit / 100 vahinkoa
Maanantai	5 628	15	1 782	2 295	14	41
Tiistai	5 601	15	1 768	2 252	14	40
Keskiviikko	5 876	16	1 785	2 364	15	40
Torstai	5 741	15	1 707	2 200	14	38
Perjantai	6 445	17	1 980	2 701	17	42
Lauantai	4 337	12	1 713	2 425	15	56
Sunnuntai	3 448	9	1 456	2 021	12	59
Yhteensä	37 076	100	12 191	16 258	100	44

		Kaikki vahingot				Henkilöautojen yhteenajot			
Aiheuttaja	Malli	Vah lkm	Vah lkm / 100 ajon	H-vah lkm / 100 vah	Yks h-vah / 100 vah	Vah lkm	Uhrin / 100 vah	Vastapuol uhrin / 100 vah	
Kaikki henkilöautot		112657	2.8	14.4	4.6	91556	3579	3.9	6.7
ALFA ROMEO 156		208	3.6	12.0	2.9	181	10	-	-
AUDI A3		572	3.2	12.1	3.1	482	11	2.3	7.3
AUDI A4		1257	2.8	13.1	4.2	1057	34	3.2	7.9
AUDI A6		853	3.4	11.8	3.4	727	15	2.1	8.3
BMW 3-SARJA		962	3.0	16.6	5.9	773	30	3.9	9.4
BMW 5-SARJA		789	3.1	13.8	5.1	636	15	2.4	6.8
CHRYSLER GRAND VOYAGER		322	4.0	7.5	2.5	272	13	-	-
CHRYSLER NEON		473	3.2	10.4	2.1	402	8	-	-
CHRYSLER SEBRING		148	2.6	11.5	2.0	127	6	-	-
CHRYSLER VOYAGER		422	3.5	8.3	1.7	358	7	-	-
CITROEN BERLINGO		268	3.2	10.4	3.4	240	11	-	-
CITROEN C3		306	2.4	18.0	4.6	241	17	-	-
CITROEN C4		248	2.7	9.3	4.0	210	8	-	-
CITROEN C5		880	3.2	12.4	3.1	740	20	2.7	6.1
CITROEN SAXO		181	2.7	16.0	5.5	146	10	-	-
CITROEN XANTIA		456	3.3	11.4	3.3	381	6	-	-
CITROEN XSARA		1437	2.9	16.5	6.3	1150	53	4.6	6.3
FIAT BRAVA		455	3.0	15.8	4.6	361	27	7.5	5.3
FIAT BRAVO		334	3.2	15.0	3.6	277	24	-	-
FIAT MAREA		287	3.3	19.9	4.2	242	16	-	-
FIAT PUNTO		1681	2.4	19.3	5.8	1312	103	7.9	6.6
FIAT STILO		480	2.5	12.3	3.8	408	11	2.7	7.1
FORD ESCORT		789	2.6	19.3	6.5	627	46	7.3	8.9
FORD FIESTA		691	2.4	15.6	4.5	568	28	4.9	9.5
FORD FOCUS		2848	2.7	13.7	3.6	2370	88	3.7	5.6
FORD GALAXY, S-MAX		143	3.5	11.9	1.4	118	6	-	-
FORD KA		310	2.0	21.3	3.9	251	16	-	-
FORD MONDEO		2691	2.9	11.4	2.8	2300	83	3.6	6.7
HONDA ACCORD		684	2.9	14.8	4.2	545	19	3.5	5.3
HONDA CIVIC		1059	3.2	16.0	6.2	838	45	5.4	6.1
HONDA CR-V		750	3.5	9.3	2.9	634	11	1.7	4.3
HONDA HR-V		157	3.1	10.2	1.3	134	3	-	-
HONDA JAZZ		125	2.9	18.4	4.0	100	6	-	-
HYUNDAI GETZ		217	2.2	15.7	5.1	163	3	-	-
KIA CERATO		330	3.2	8.8	1.5	280	9	-	-
LADA VAZ 110		340	2.7	17.6	6.2	269	14	-	-
LADA VAZ SAMARA		227	2.0	14.1	3.1	189	8	-	-
MAZDA 323		416	2.6	16.8	4.3	343	29	8.5	9.9
MAZDA 323F		210	2.8	11.0	2.4	180	3	-	-
MAZDA 626		646	2.6	14.2	4.0	536	32	6.0	7.6
MAZDA MAZDA3		249	2.5	13.7	2.0	214	11	-	-
MAZDA MAZDA6		873	2.7	9.5	2.4	758	18	2.4	4.4
MERCEDES-BENZ A-SARJA		324	2.5	13.0	3.1	272	9	-	-
MERCEDES-BENZ C-SARJA		1152	2.4	15.0	4.4	911	31	3.4	8.1
MERCEDES-BENZ E-SARJA		1122	2.8	16.5	4.7	868	41	4.7	6.9
MITSUBISHI CARISMA		339	2.6	17.4	5.3	277	16	-	-
MITSUBISHI LANCER		215	2.4	18.1	6.0	170	5	-	-
NISSAN ALMERA		2686	2.4	15.7	5.7	2161	92	4.3	7.2
NISSAN MAXIMA		170	2.7	10.0	2.4	146	5	-	-
NISSAN MICRA		733	2.2	20.1	6.4	573	44	7.7	7.5
NISSAN PRIMERA		2712	2.8	12.8	4.5	2238	75	3.4	5.9
NISSAN X-TRAIL		185	3.5	11.4	1.6	154	4	-	-
OPEL ASTRA		3359	2.6	14.8	4.9	2742	110	4.0	6.6

oulu

DS

Kvalitatiivinen riskianalyysi

- Tukeutuu riskien todennäköisyyksien ja seuraamusten sanalliseen luokitteluun
 - Ei edellytä tarkkoja numeerisia arvioita
 - Mahdollisia todennäköisyysarvioita
 - » Lähes varma/Luultava/Mahdollinen/Mahdollinen/ Epätodennäköinen/Lähes mahdoton
 - Mahdollisia seuraamusarvioita
 - » Katastrofaalinen/Kriittinen/ Marginaalinen/ Merkityksetön
 - Välittää näkemystä riskeistä
 - Tärkeää suhtautua arvioihin kriittisesti

Kvalitatiivinen riskianalyysi

- Tuotetaan riskimatriisi
 - Vaaraskenaariot positioidaan todennäköisyyksien ja seuraamusten suhteen
 - Luokitellaan vaarojen tärkeys
 - » Esim. High / Intermediate / Low / Trivial
 - Riskienhallintatoimet suunnataan usein tärkeimpiin

TABLE 2.3
Qualitative Risk Assessment Matrix

Frequency of Occurrence	Frequency (per Year)	Severity of Consequence			
		Catastrophic	Critical	Marginal	Negligible
Frequent	>1	H	H	H	I
Probable	$1-10^{-1}$	H	H	I	L
Occasional	$10^{-1}-10^{-2}$	H	H	L	L
Remote	$10^{-2}-10^{-4}$	H	H	L	L
Improbable	$10^{-4}-10^{-6}$	H	I	L	T
Incredible	$<10^{-6}$	I	I	T	T

Riskimatriisin esittäminen

TABLE 2.13

Likelihood Categories for a Risk Matrix

Category	Description	Annual Probability Range
A	Likely	≥ 0.1 (1 in 10)
B	Unlikely	≥ 0.01 (1 in 100) but < 0.1
C	Very unlikely	≥ 0.001 (1 in 1000) but < 0.01
D	Doubtful	≥ 0.0001 (1 in 10,000) but < 0.001
E	Highly unlikely	≥ 0.00001 (1 in 100,000) but < 0.0001
F	Extremely unlikely	< 0.00001 (1 in 100,000)

TABLE 2.14

Consequence Categories for a Risk Matrix

Category	Description	Examples
I	Catastrophic	Large number of fatalities and/or major long-term environmental impact
II	Major	Fatalities and/or major short-term environmental impact
III	Serious	Serious injuries and/or significant environmental impact
IV	Significant	Minor injuries and/or short-term environmental impact
V	Minor	First aid injuries only and/or minimal environmental impact
VI	None	No significant consequence

Probability Category	A	L	M	M	H	H	H
	B	L	L	M	M	H	H
	C	L	L	L	M	M	H
	D	L	L	L	L	M	M
	E	L	L	L	L	L	M
	F	L	L	L	L	L	L
		VI	V	IV	III	II	I
Consequence Category							

FIGURE 2.11
Example Risk Matrix

Ayyub, Tables 2.13-
2.15

Myönteiset seuraamukset

TABLE 2.16

Expanded Likelihood Categories for a Risk Matrix

Category	Description	Annual Probability Range
AA	Very likely	≥ 0.8
A	Likely	≥ 0.1 (1 in 10) but < 0.8
B	Unlikely	≥ 0.01 (1 in 100) but < 0.1
C	Very unlikely	≥ 0.001 (1 in 1000) but < 0.01
D	Doubtful	≥ 0.0001 (1 in 10,000) but < 0.001
E	Highly unlikely	≥ 0.00001 (1 in 100,000) but < 0.0001
F	Extremely unlikely	< 0.00001 (1 in 100,000)

TABLE 2.17

Example Consequence Categories for a Risk Matrix in 2003
Monetary Amounts (US\$)

Category	Description	Cost
I	Catastrophic loss	$\geq \$10,000,000,000$
II	Major loss	$\geq \$1,000,000,000$ but $< \$10,000,000,000$
III	Serious loss	$\geq \$100,000,000$ but $< \$1,000,000,000$
IV	Significant loss	$\geq \$10,000,000$ but $< \$100,000,000$
V	Minor loss	$\geq \$1,000,000$ but $< \$10,000,000$
VI	Insignificant loss	$< \$1,000,000$
I+	Insignificant gain	$< \$1,000,000$
II+	Significant gain	$\geq \$1,000,000$ but $< \$10,000,000$
III+	Major gain	$\geq \$10,000,000$

H+	H+	M+	AA						
H+	M+	L+	A	L	M	M	H	H	H
M+	L+	L+	B	L	L	M	M	H	H
			C	L	L	L	M	M	H
			D	L	L	L	L	M	M
			E	L	L	L	L	L	M
			F	L	L	L	L	L	L
III+	II+	I+	Probability Categories	VI	V	IV	III	II	I
Gain Categories				Loss Categories					

Luokittelut riskiarvioinnissa (1/2)

Todennäköisyys (T)	
T = 0	Ei mahdollinen
T = 1	Hyvin epätodennäköinen (kerran 100 vuodessa tai harvemmin)
T = 2	Epätodennäköinen (korkeintaan kerran 30 vuodessa)
T = 3	Lievästi todennäköinen (korkeintaan kerran 10 vuodessa)
T = 4	Melko todennäköinen (korkeintaan kerran 3 vuodessa)
T = 5	Hyvin todennäköinen (kerran vuodessa tai useammin)

Henkilövahingot (H)	
H = 0	Ei henkilövahinkoja
H = 1	Yhden henkilön lievä loukkaantuminen
H = 2	Yhden henkilön vakava loukkaantuminen tai usean henkilön lievä loukkaantuminen
H = 3	Usean henkilön vakava loukkaantuminen
H = 4	Yhden henkilön kuolema
H = 5	Usean henkilön kuolema

Luokittelut riskiarvioinnissa (2/2)

- Kokonaisriski $R = T \cdot (H + M + K)$
 - Huom! tämä rinnastaa eri vahinkotyytit keskenään lineaarisesti - siirtymät eri luokkien välillä arvioitu yhtä merkittäviksi (vaikka näin ei välttämättä oikeasti ole)

Materiaalivahingot (M)	
M = 0	Ei materiaalivahinkoja
M = 1	Vahingot alle 20 000 EUR
M = 2	Vahingot alle 200 000 EUR
M = 3	Vahingot alle 2 MEUR
M = 4	Vahingot alle 10 MEUR
M = 5	Vahingot yli 10 MEUR

Keskeytysvahingot (K)	
K = 0	Ei keskeytysvahinkoja
K = 1	Toiminnan keskeytys alle 1 viikko
K = 2	Toiminnan keskeytys alle 1 kuukausi
K = 3	Toiminnan keskeytys alle puoli vuotta
K = 4	Toiminnan keskeytys alle 1 vuosi
K = 5	Toiminnan keskeytys yli 1 vuosi tai toiminnan lopettaminen

Esimerkki polttoainetankki

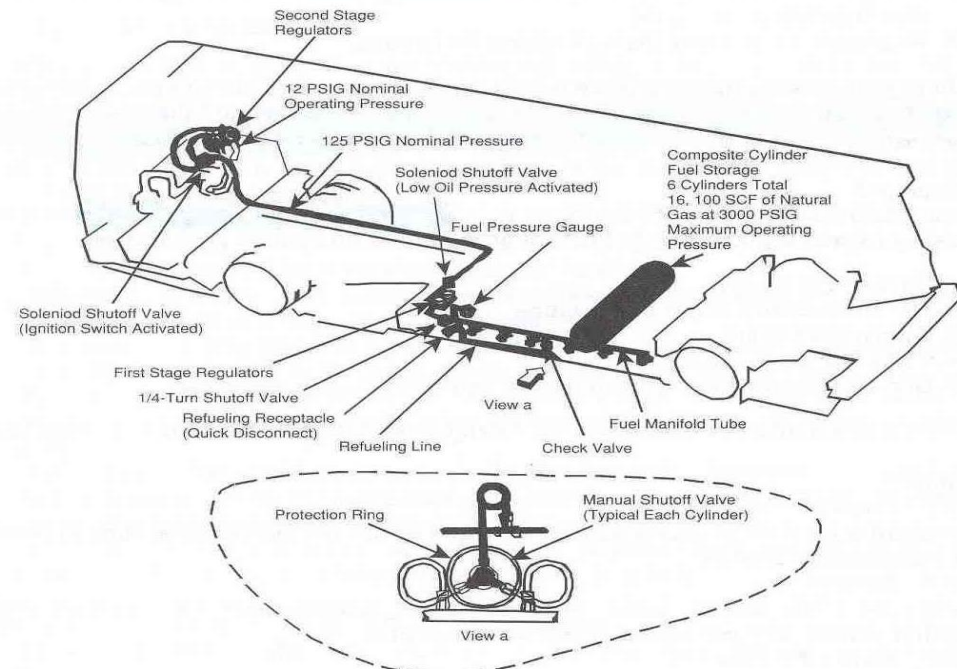
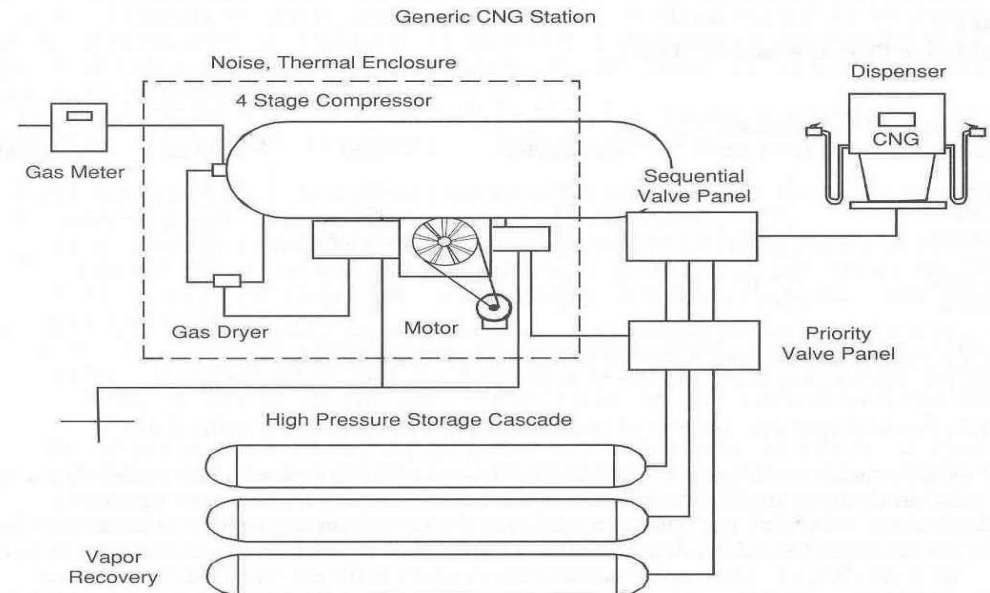


FIGURE 2.7 Overall elements of the CNG system.

Polttoainetankki – riskien tunnistaminen

- **Hasardit**
 - Kaasujärjestelmän tulipalot ja räjähdykset
 - » Vahingot matkustajille ja ulkopuolisille
- **Barriäärit**
 - CNG-säiliö
 - Paineenhallintajärjestelmä
 - Operaattori
 - Hälytysjärjestelmä (kaasuvuodon tunnistus)
 - Ennakkohuolto
- **Barriäärien toiminta kriittisissä skenaarioissa**
 - CNG-säiliön tai paineenhallintajärjestelmän katastrofaaliset vikaantumiset (sisäiset viat), joista seuraa äkillisesti kaasuvuoto ja syttymisen mahdollisuus
 - CNG-säiliön tai paineenhallintajärjestelmän eheyttä heikentävät viat tai ilmiöt, joista seuraa asteittain kaasuvuoto ja syttymisen mahdollisuus
 - ...

Vaaraskenaariot

TABLE 2.4
Barrier Failures and Their Effects

Failure Category of the Barrier	Failures Internal to the Barrier	Failures External to the Barrier
Mechanically induced failure	Pressure gauge failing cause missile damage Fire resulting from gas release through pressure relive system because of pressure/temperature cycling CNG tank falling hazards CNG fuel tank explosion or other fires due to vehicle impact in traffic accident Vehicle fire caused by fuel system leaks due to poor design or improper installation Vehicle fire due to undetected fuel system leaks from failed components Vehicle explosion resulting from fuel system leaks Building explosion from vehicle, dispenser, or storage vessel leaks Explosion due to mechanical damage to vehicle storage cylinder	Explosion of CNG fuel tank due to failure of the compressor to shut off Missile damage from flying parts generated during CNG tank disassembly High speed flying object from fueling hose failure Fire due to gas dispenser damage from vehicle collision Fire from damaged gas supply pipelines Fire resulting from drive away during fueling Missile damage from catastrophic compressor failure causing damages and injuries/fatalities
Chemically induced failures	Explosion due to catastrophic tank rupture resulted from external corrosion of CNG fuel tank Explosion of vehicle tank due to internal corrosion	Fire from corrosion of gas supply pipeline resulting in leaks Fire and explosion from corrosion of storage vessels
Electrically induced failures	Vehicle fire due to electrical failures not related to CNG system	Electric shock from power supply to natural gas compressor stations Fire from electrostatic charge occurred during tank venting

Polttoainetankki (jatk.)

TABLE 2.5
Matrix of Gas Release and Dispersion Scenarios

CNG Release Mode	Ignition Mode	Expected Consequence
Instantaneous	Immediate	Fireball
	Delayed	Vapor cloud explosion or flash fire
Gradual	Immediate	Jet flame
	Delayed	Vapor cloud explosion or flash fire

TABLE 2.6
Severity Description from Exposure of the Fire

Severity Category	Severity Category Description
Catastrophic	CNG release involving catastrophic fire or explosion
Critical	Unconfined CNG release with critical fire or explosive potential
Marginal	Small CNG release with marginal ignition potential or fire effects
Minor	Failure with minor fire potential and only loss of system operation

Polttoainetankki (jatk.)

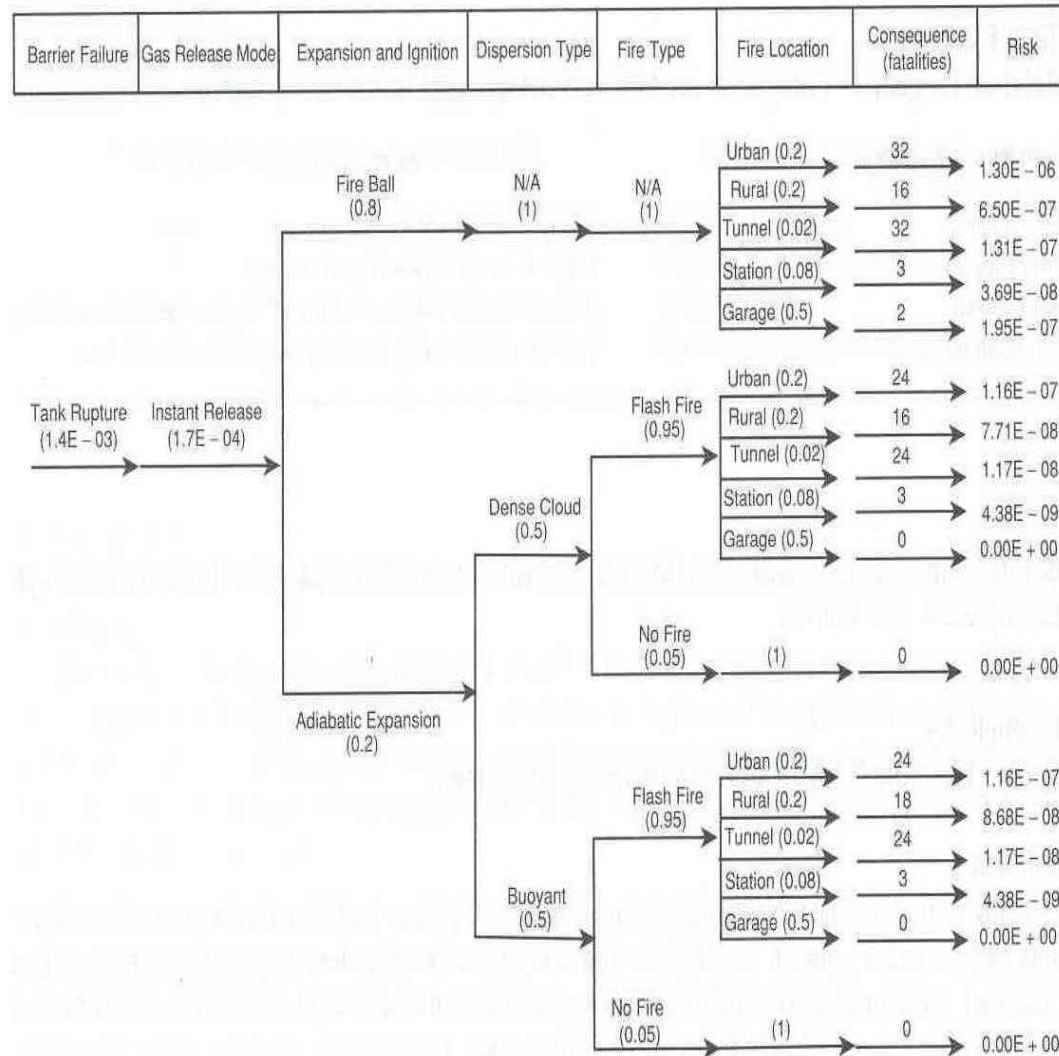
TABLE 2.7
Relative Frequency Categories for Fire Scenarios

Frequency Category	Frequency Category Description
(A) Frequent	Likely to occur within 1 year or less
(B) Probable	Likely to occur within 10 years or less
(C) Unlikely	Probable within the expected life of 20 years for a bus or station
(D) Remote	Possible but not likely during the expected life of 20 years

TABLE 2.8
Risk Matrix Showing the Number of Scenarios Falling into the Various Risk Categories

	Catastrophic	Critical	Marginal	Minor
Likely	0	0	0	4
Probable	1	8	6	15
Unlikely	3	7	12	19
Remote	4	3	2	3

Onnettomuusketjujen kvantifiointi



Tn-pohjainen turvallisuusanalyysi

- PSA (Probabilistic Safety Assessment)
- PRA (Probabilistic Risk Analysis)
 - Kehitetty alkuaan ydinvoimalaitosten turvallisuustarkasteluihin (WASH-1400 1970-luvulla USA:ssa)
 - Käytetty sittemmin lukuisissa eri yhteyksissä
 - Soveltuu laajojen teknisten järjestelmien riskien analyysiin
- Tukeutuu osin muihin menetelmiin
 - Vikapuut, tilamallit, tilastanalyysit, tapahtumapuut
 - Lisäksi tarvitaan myös fysikaalisia malleja
 - » Esim. onnettomuuksien seurauksien arviointi
- PRA:n tavoitteet
 - Tunnistaa teknisen järjestelmän häiriöistä johtuvat erilaiset onnettomuudet
 - Tuottaa kvantitatiiviset arviot onnettomuuksien esiintymistodennäköisyyksistä ja/tai -taajuuksista
 - Tunnistaa onnettomuuksista johtuvat vahingolliset seuraukset
 - Arvioi seurauksien suuruutta kvantitatiivisesti

PRA:n tasot

- Taso 1
 - Sisältää vain onnettomuusketjujen esiintymistaajuuden arvioinnin
- Taso 2
 - Sisältää tason 1 lisäksi sisältää eri seurausten suuruuden arvioinnin (esim. ympäristöön pääsevän myrkkymäärän arviointi)
- Taso 3
 - Sisältään tasojen 1 ja 2 lisäksi sisältää fysikaalisten seurausten aiheuttamien terveys-, ympäristö- yms. haittojen kvantitatiivisen arvioinnin

Määritelmiä

- **Onnettomuus**
 - Alkuhäiriöstä (alkutapahtumasta) liikkeelle lähtevä, turvallisuustoimintojen erilaisten vikayhdistelmien kautta epätoivottuun seuraukseen johtava tapahtumasarja
- **Alkutapahtuma**
 - Prosessin häiriö tai vika, jonka hoitaminen vaatii turvallisuustoimenpiteitä (esim. prosessin pysäyttäminen), ja joka ilman onnistuneita turvallisuustoimenpiteitä johtaa epätoivottuihin seurauksiin
- **Turvallisuustoiminto**
 - Alkutapahtuman edelleenkehittymisen estävä tai sitä lieventävä toiminto
- **Turvallisuusjärjestelmä**
 - Tekninen järjestelmä, joka toteuttaa turvallisuustoiminnon
- **Onnettomuusketju**
 - Tietystä alkutapahtumasta alkava onnettomuus, josta tiettyjen turvallisuustoimintojen vikojen tai toimimattomuuden kautta päädytään epätoivottuun seuraukseen

Tulipalo kemikaalivarastossa (1/2)

- Onnettomuus
 - Kemikaalivarastossa syttyneen tulipalon aiheuttama vahingollinen tapahtuma
- Mahdollisia alkutapahtuma
 - Palonalku, joka johtuu esimerkiksi
 - » varomattomasta tulenkäsittelystä
 - » staattisen sähkön aiheuttamasta kipinästä
 - » varastossa toimivan laitteen viasta
 - » jne.
- Turvallisuustoimintoja
 - Palon sammuttaminen sprinklereillä
 - Palon varhainen havaitseminen ja sammutus henkilökunnan toimesta
 - Automaattinen palohälytys ja palokunnan toteuttama sammutus
- Turvallisuusjärjestelmiä
 - Sprinklerijärjestelmä
 - Palohälytysjärjestelmä
 - Palokunta
 - Jne.

Tulipalo kemikaalivarastossa (2/2)

- Mahdollisia onnettomuusketjuja
 - Staattisen sähköön aiheuttama palo, joka etenee sprinklerijärjestelmän toimimattomuuden takia, mutta jonka automaattisen palohälytyksen kutsuma palokunta sammuttaa tietyn ajan kuluessa
 - Staattisen sähköön aiheuttama palo, joka tuhoaa varaston sekä sprinklerijärjestelmän että automaattisen palo-hälytyksen toimimattomuuden takia
 - jne.
- PRA:n tasot
 - Taso 1 - Lasketaan eri palo-onnettomuusketjujen esiintymistaajuuudet
 - Taso 2 - Arvioidaan lisäksi kunkin onnettomuusketjun seurausten suuruus
 - » Esim. automaattisen sammutusjärjestelmän sammuttama palo (taajuus x krt per vuosi) aiheuttaa pienet vesivahingot eikä myrkkypäästöjä synny
 - » Esim. kaikkien turvallisuustoimintojen epäonnistuttua varasto räjähtää, mistä seuraa paineaalto ja erittäin suuri myrkkypäästö
 - Taso 3 – Edellisten lisäksi arvioidaan mm. myrkkypäästöjen lyhyt- ja pitkäaikaisia ympäristön asukkaille aiheutuvia terveyshaittoja

Onnettomuustn:ien määrittäminen (1)

- Millä tn:llä tietty onnettomuusketju esiintyy tietyn ajanjakson kuluessa?
 - Tn. sille, että ajanjaksolla
 - esiintyy alkutapahtuma ja
 - turvallisuustoiminnot eivät toimi alkutapahtuman esiintyessä
- Alkutapahtumien tunnistaminen ja järjestelmävasteen määrittelemineen
 - Lähtökohtana alkutapahtumien (initiating events, IE) tunnistaminen ja järjestelmävasteen kuvaaminen
 - Voidaan käyttää kvalitatiivisia tunnistusmenetelmiä (käydään läpi myöhemmin)
 - Mitkä turvallisuustoiminnot tai onnettomuuksien etenemistä estävät keinot ovat käytettävissä ko. alkutapahtuman yhteydessä?

$$f = f_{IE} \prod_{i=1}^n P(F_i | IE, F_1, \dots, F_{i-1})$$

- f_{IE} = alkutapahtuman esiintymistaajuus
- F_i = i:nneen turvallisuustoiminnon vikatapahtuma
- $P(F_i | IE, F_1, \dots, F_{i-1})$ = i:nneen turvallisuustoiminnon ehdollinen vikaantumistn.

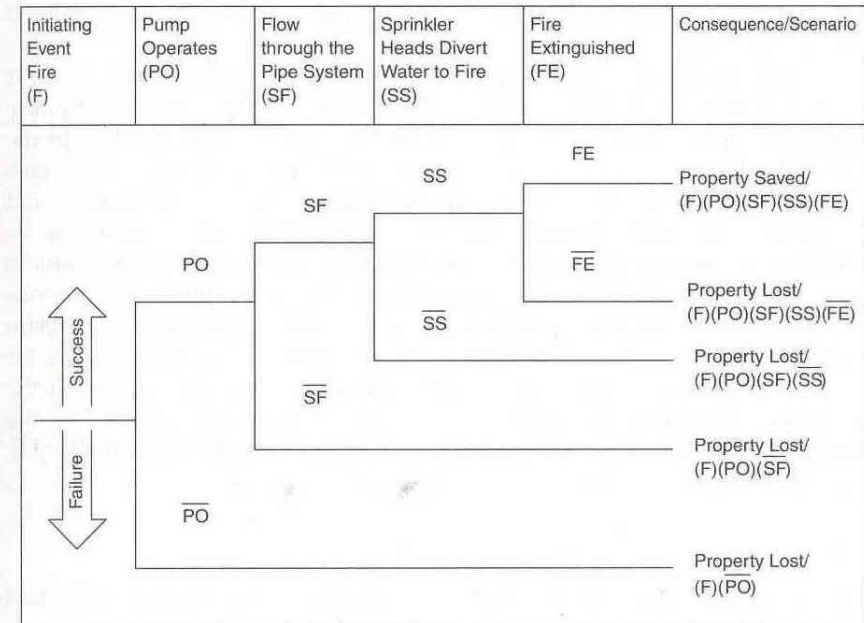
Onnettomuustn:ien määrittäminen (2)

- Onnettomuuden etenemisen kuvaaminen
 - Kuvataan sopivalla loogisella/rakenteellisella mallilla
 - » Sisältää turvallisuustoimintojen onnistumisten ja vikaantumisten aiheuttamat onnettomuuden kulun haarautumat
 - Käytetään usein tapahtumapuuanalyysiä
- Turvallisuustoimintojen luotettavuusanalyysi
 - Kuvataan sopivalla loogisella (tai rakenteellisella) mallilla turvallisuustoimintojen vikaantumiset niiden osien vikaantumisten avulla
 - Sovelletaan usein vikapuuanalyysiä
- Mallin kvantifiointi
 - Johdetaan perustapahtumien esiintymistodennäköisyydet/ -taajuudet perustuen tilastotietoihin, komponenttimalleihin ja asiantuntija-arvioihin
 - Lasketaan onnettomuusketjujen todennäköisyydet ja -taajuudet noudattaen tapahtuma- ja vikapuumallien logiikkaa ja todennäköisyyslaskun sääntöjä

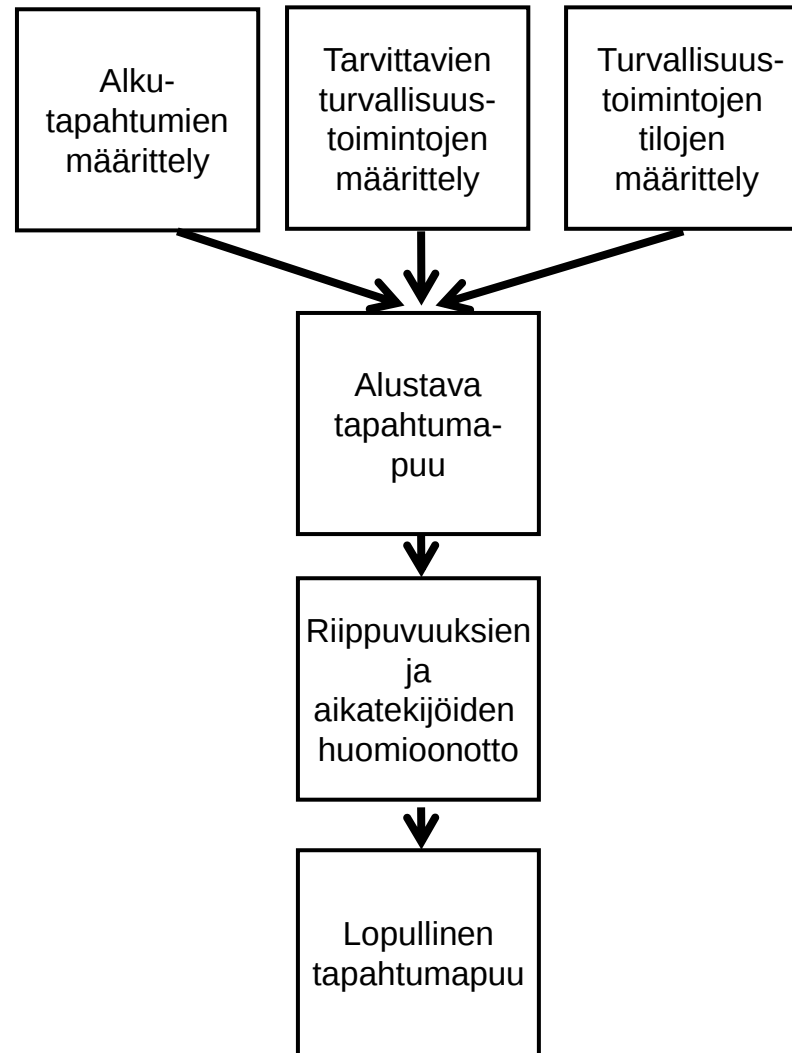
Tapahtumapuuanalyysi

- Tapahtumapu

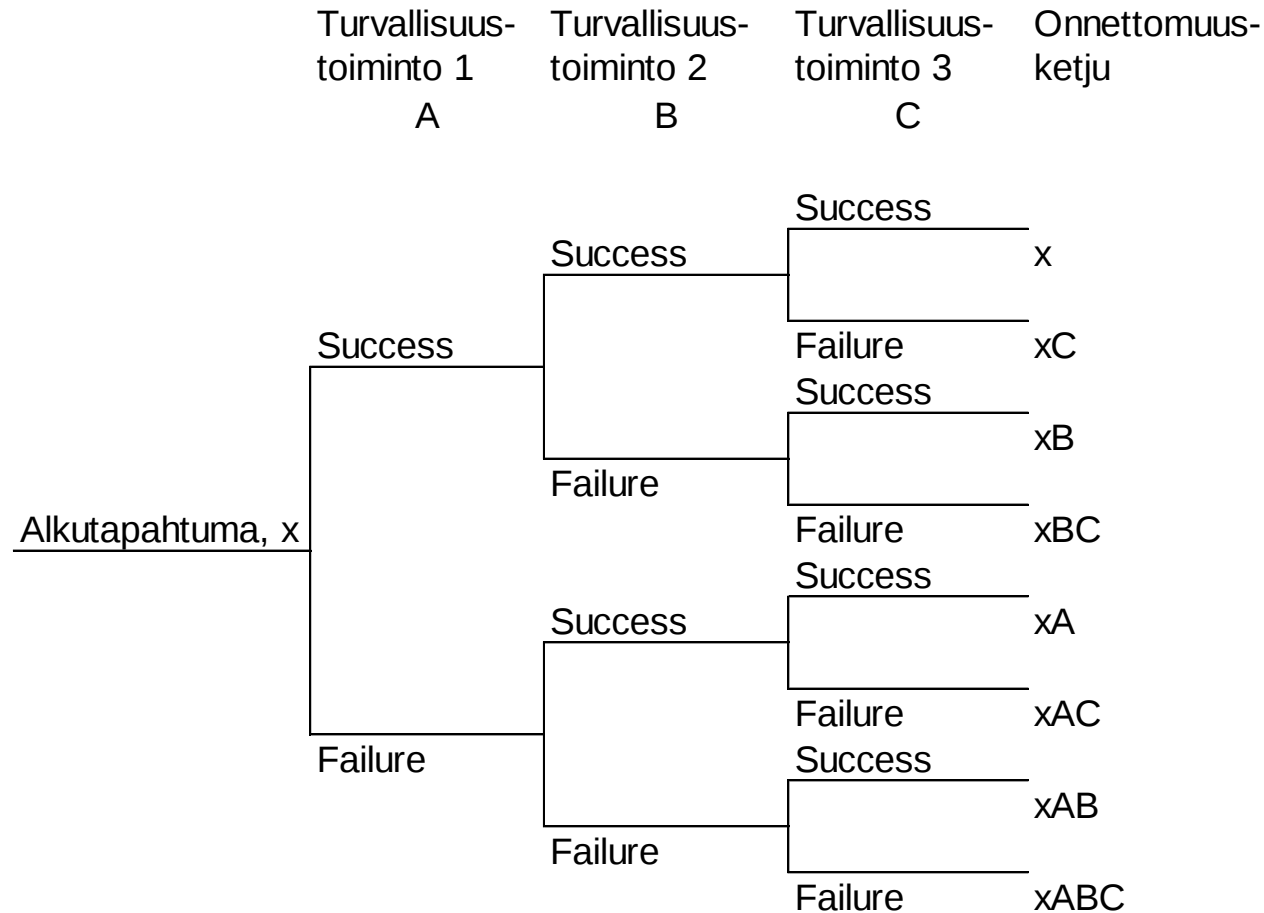
- Esittää annetusta alkutapahtumasta seuraavat onnettomuusketjut loogisena puuna
- Etenee alkutapahtumasta aikajärjestyksessä esiintyvien turvallisuustoimintojen tilojen kautta lopputiloihin
- On yleensä binäärinen so. turvallisuustoiminnoilla on kaksi tilaa (onnistunut = Success ja epäonnistunut = Failure)
- Myös ei-binääristen tapahtumapuiden käyttö mahdollista
- Haarautumistodennäköisyydet mahdollisia (ehtona aiemmin onnistuneet tai epäonnistuneet toiminnot)



Tapahtumapuun rakentaminen (1/2)

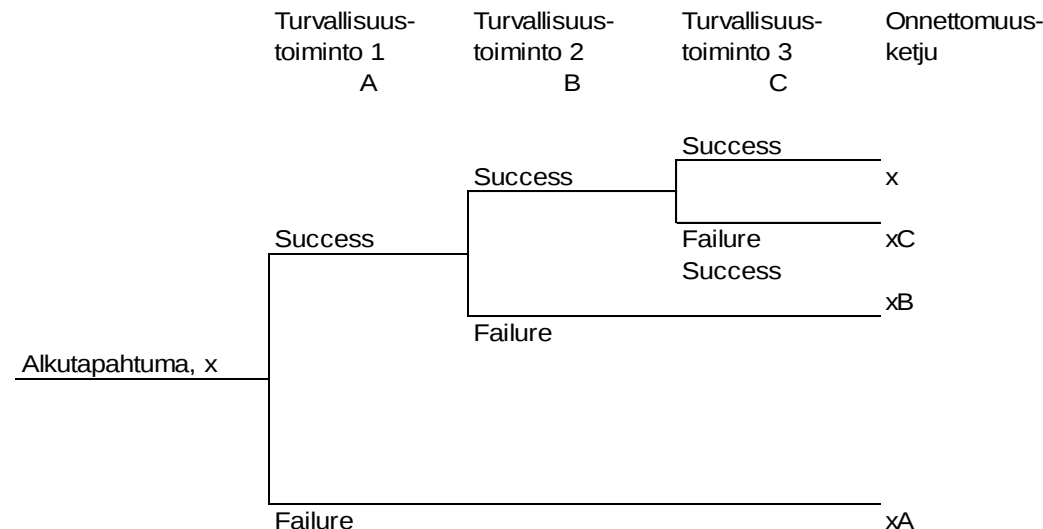


Esimerkki tapahtumapuusta



Tapahtumapuun rakentaminen (2/2)

- Tapahtumapuun haarojen todennäköisyydet lasketaan esimerkiksi vikapuilla
- Riippuvuuksien (esim. usealla turvallisuustoiminnolla on yhteisiä osia) huomioonotto tärkeää
 - Vikapuulaskenta ottaa yleensä riippuvuudet huomioon
 - Esim. jos A:n epäonnistuessa toiminnot B ja C eivät enää vaikuta tilanteeseen ja B:n epäonnistuessa C:llä ei ole merkitystä, niin saadaan



- Haarautumistodennäköisyydet ehdollisia (ehtona aiemmin onnistuneet tai epäonnistuneet toiminnot)
- Haettava kompromissi vikapuu- ja tapahtumapuumallien välillä