

Probabilistisk riskbedömning

Sannolikhetsbaserad uppskattning av miljö- och hälsorisker i förorenade markområden

Tomas Öberg
Högskolan i Kalmar

Riskbegreppet

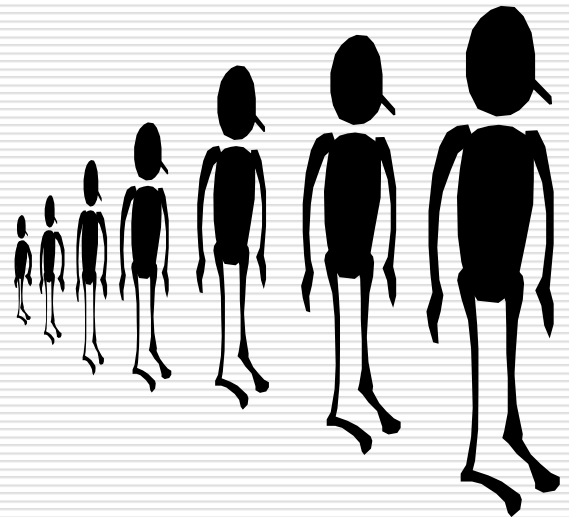
$$Risk = f(exponering, effekter)$$

Osäkerhet
(bristande kunskap)

Variabilitet
(naturlig variation)

Hur gör vi idag?

- Deterministisk ansats: Vi antar ett värde för varje variabel.
- "Medelsvensson" eller "average Joe"
 - Varken man eller kvinna
 - Väger 70 kg
 - Andas 20 m³ luft
 - Dricker 2 l vatten
 - Äter 290 g grönsaker per dag (30% hemodlat)
 - Bor hela livet på samma plats
 - osv.
- Konservativa antaganden: Vi bygger in säkerhetsmarginaler. Vilka?



Problem med den deterministiska ansatsen

- Vi vet inte hur stor säkerhetsmarginalen egentligen är
 - En serie konservativa antaganden kan leda till orealistiska riskuppskattningar
- Vi vet inte hur *osäkerhet* och *variabilitet* i ingångsvariablerna påverkar utfallet



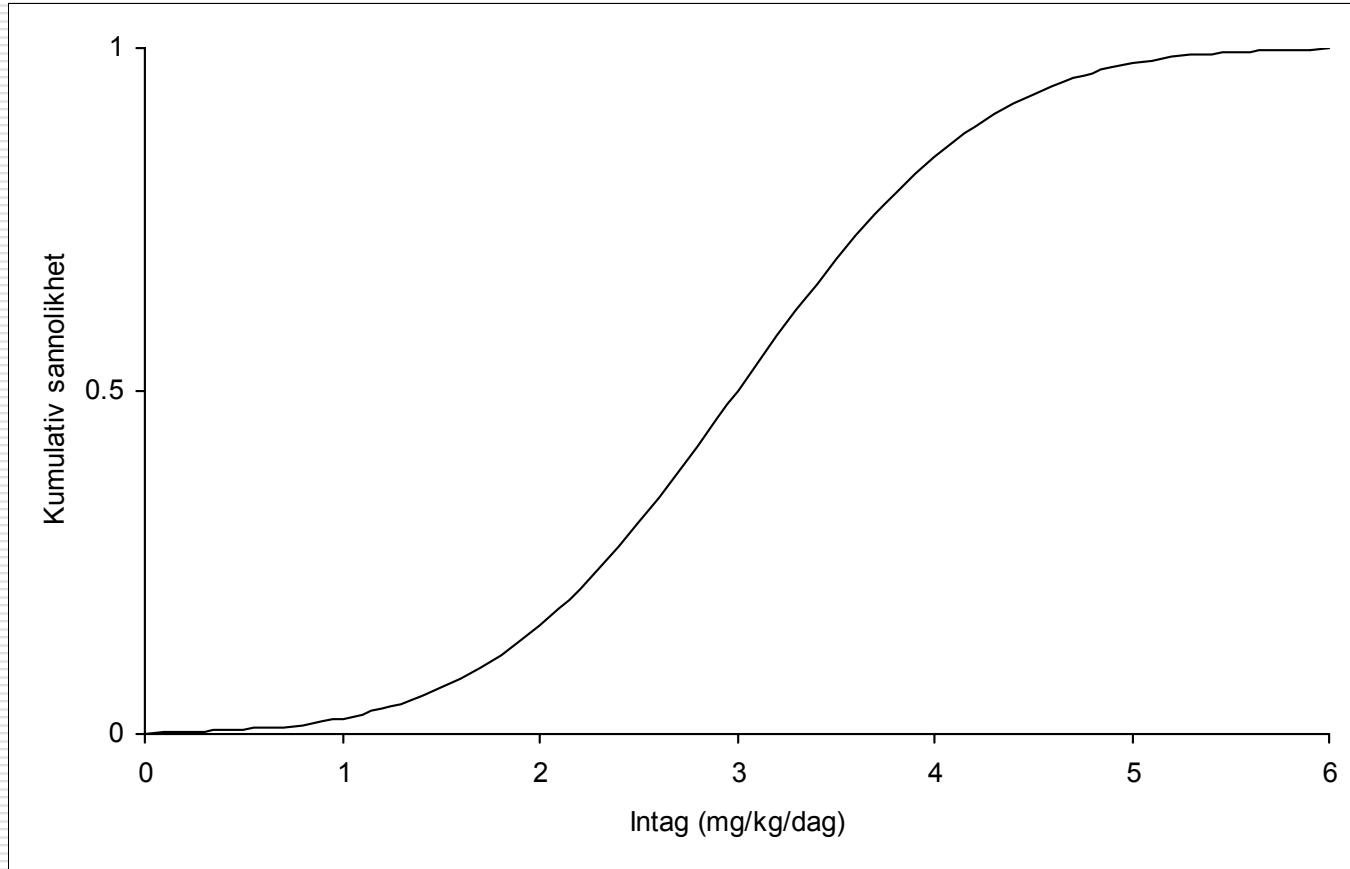
En annat tillvägagångssätt

- Probabilistisk riskbedömning
 - Sannolikhetsfördelningar för att beskriva variabilitet och osäkerhet i en eller flera av ingångsvariablerna
 - Monte Carlo-simulering
 - Resultatet som en sannolikhetsfördelning

“... osäkerhetsanalys är det enda alternativet för att motarbeta den ‘falska känslan av säkerhet’, som orsakas av en vägran att acceptera och försöka kvantifiera osäkerheten i riskuppskattningar”

Science and judgment in risk assessment, National Research Council, 1994

Vilken är sannolikheten?



Erfarenhet – förorenad mark

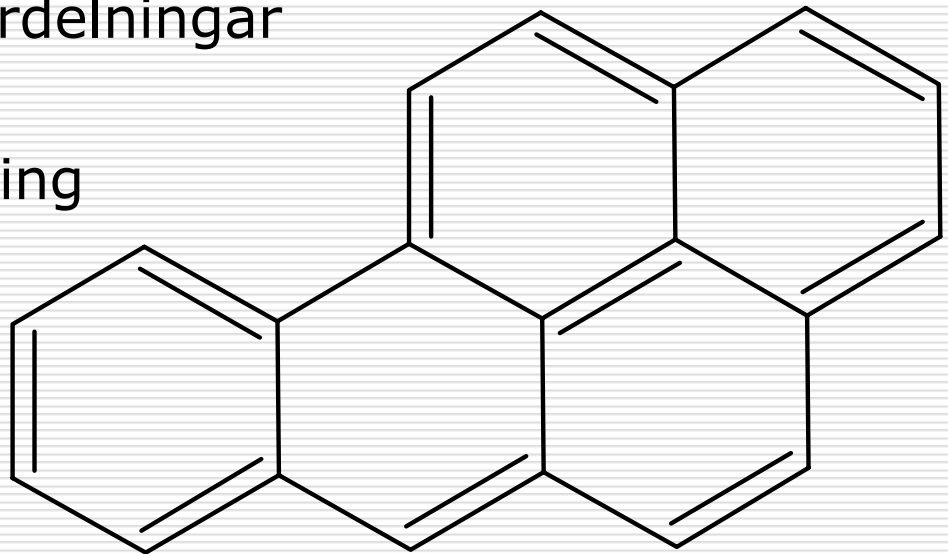
- Probabilistisk riskbedömning har använts sedan början av 1990-talet i USA
- Användningen ökar även i Europa (Storbritannien)
- Exempel på markförorening:
 - Bly, arsenik, krom, uran, PCB, PAH, hexaklorbensen, pentaklorfenol, dioxiner och klorerade lösningsmedel
- Exempel på verksamheter:
 - Metallurgisk industri (smältverk och gruvor), tillverkningsindustri, gasverkstomter, träimpregnering, infrastruktur och deponier

Tillämpbarhet i Sverige

- Informationsbehovet är givetvis lika stort här som annorstädes
 - Säkerhetsmarginalens storlek
 - Känslighet, källor till osäkerhet och variabilitet
- De svenska riskbedömningsmodellerna går enkelt att utöka med probabilistiska metodik

Ett räkneexempel

- Intag via grönsaker av benso[a]pyren
- Fyra steg
 1. Val av exponeringsmodell(er)
 2. Val av ingångsfördelningar
 3. Simulering
 4. Resultatredovisning
 - Presentation
 - Tolkning



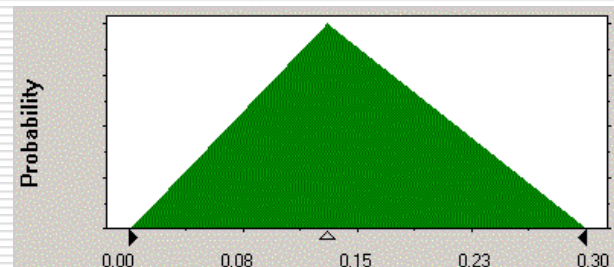
Modell

- I räkneexemplet används de beräkningsmodeller som redovisas i rapporten *“Development of generic guideline values”* (4639):
 - $Intag = C_s \cdot R_{ig} \cdot f_h \cdot K_{pl}$
 - $R_{ig} = (Intag_{barn} \cdot Exptid_{barn} / Bw_{barn} + Intag_{vux} \cdot Exptid_{vux} / Bw_{vux}) / Exptid_{tot}$
 - $K_{pl} = (BCF_{stam} \cdot f_{blad} + BCF_{rot} \cdot f_{rot}) \cdot \rho_b / (\theta_w + K_d \cdot \rho_b + H \cdot \theta_a)$
 - $K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$
 - $BCF_{stam} = (10^{(0.95 \cdot \log K_{ow} - 2.05)} + 0.82) \cdot 0.784 \cdot 10^{(-0.434 \cdot (\log K_{ow} - 1.78)^2 / 2.44)}$
 - $BCF_{rot} = 10^{(0.77 \cdot \log K_{ow} - 1.52)} + 0.82$
- Intagsberäkningen utgår från en koncentration i mark på 0.41 mg/kg (referenskonc. för KM)

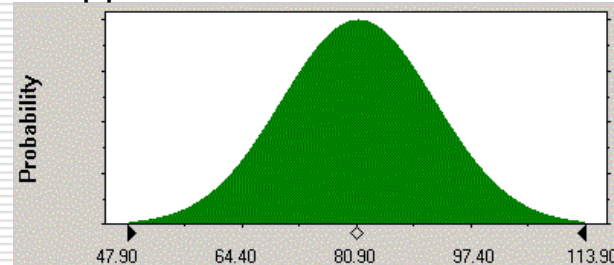
Ingångsfördelningar

Ingångsvariabel	Fördelning	Parametrar	Referens
C_s (mg/kg TS)	Uniform	Max=min=0.41	
$C_{s, \text{bakgrund}}$ (mg/kg TS)	Lognormal	Median=0.03, 90-percentil=0.44	[160]
f_h (%)	Triangulär	Min=0, max=30, typvärde=13	[155]
Intag _{barn} (kg/d)	Normal	Medelv=0.13, stdav=0.04	[156]
Exptid _{barn} (år, 0-6)	Triangulär	Min=1, max=6, typvärde=3	
BW _{barn} (kg)	Normal	Medelv=15, stdav=3, min=0	
Grönsaker: Intag _{vux, kvinna} (g/d)	Lognormal	Medelv=113, stdav=72	[157]
Grönsaker: Intag _{vux, man} (g/d)	Lognormal	Medelv=84, stdav=58	[157]
Rotfrukter: Intag _{vux, kvinna} (g/d)	Lognormal	Medelv=14, stdav=20	[157]
Rotfrukter: Intag _{vux, man} (g/d)	Lognormal	Medelv=12, stdav=44	[157]
Potatis: Intag _{vux, kvinna} (g/d)	Normal	Medelv=116, stdav=63, min=0	[157]
Potatis: Intag _{vux, man} (g/d)	Normal	Medelv=168, stdav=94, min=0	[157]
Exptid _{vux} (år, 7-75)	Lognormal	50-percentil= 9, 90-percentil=33, max=69	[73, 161]
BW _{vux, kvinna} (kg)	Normal	Medelv=66.3, stdav=9.4	[158, 162]
BW _{vux, man} (kg)	Normal	Medelv=80.9, stdav=11	[158, 162]
f_{blad} (%)	Beräknat	Grönsaker/(Potatis+rots.)	
ρ_b (kg/dm ³)	Triangulär	Min=0.25, max=1.6, typvärde=1.2	[159]
θ_w (dm ³ /dm ³)	Triangulär	Min=0.05, max=0.5, typvärde=0.3	[159]
θ_a (dm ³ /dm ³)	Triangulär	Min=0.0, max=0.60, typvärde=0.2	Neg. korr. m. θ_w
H	Lognormal	Logmedel=-4.80 logstdav=0.5	[159]
K_{oc}	Lognormal	Logmedel=5.82 logstdav=0.5	[159]
f_{oc} (%) *	Triangulär	Min=0.5, max=12, typvärde =2.5	Se not.
K_{ow} (l/kg)	Lognormal	Logmedel=6.13, logstdav=0.5	[159]

Andel hemodlat

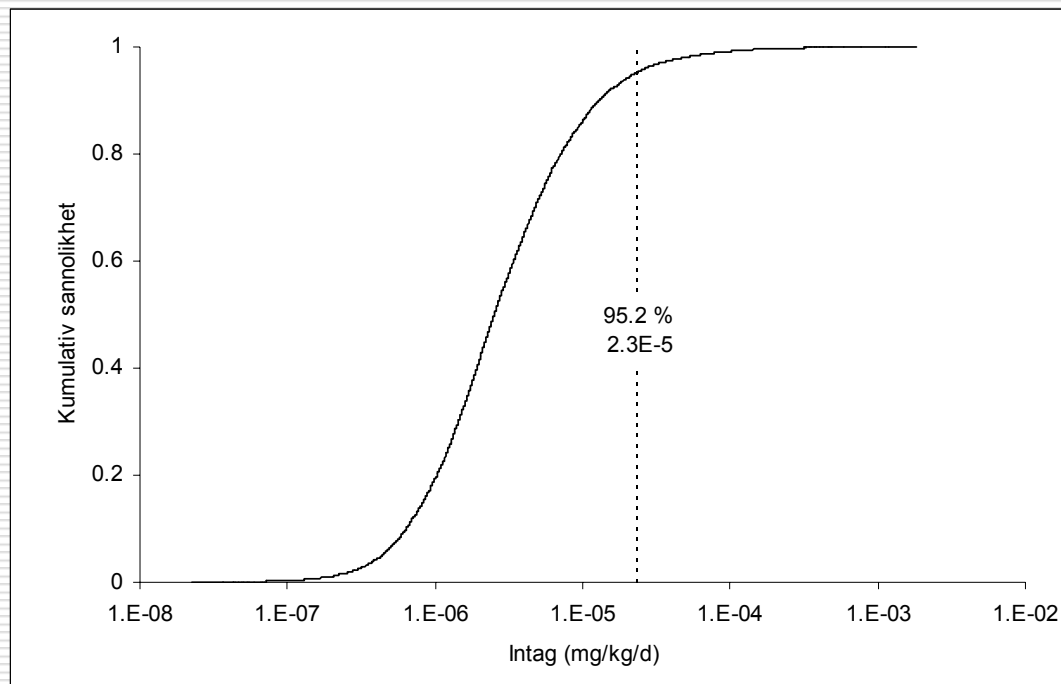


Kroppsvikt vuxen man



Variabilitet

- Variabilitet i markförhållanden, konsumtionsvanor, levnadsförhållanden och kroppsvikt

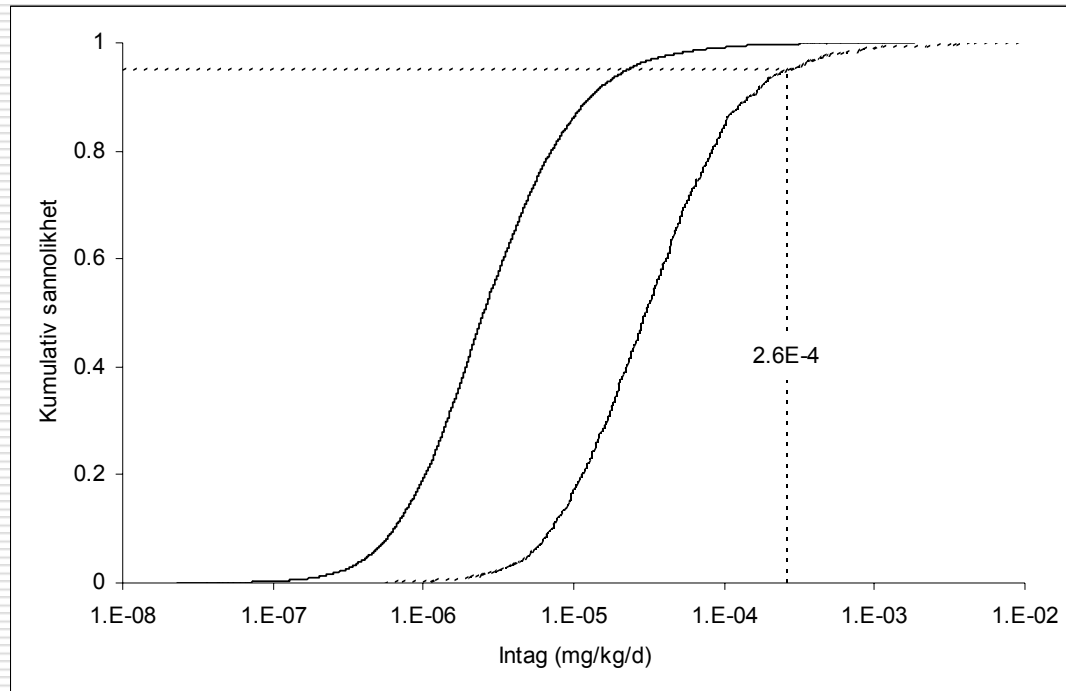


Det toxikologiska referensvärdet motsvarar 95-percentilen.

Endast 5% av de exponerade har ett högre intag.

Variabilitet och osäkerhet

- Variabilitet + osäkerhet i de tre fördelningskoefficienterna: K_{ow} , K_{oc} och H



Sannolikhet och konfidensgräns (95%) som en funktion av intag.

5% av de exponerade kan ha ett intag som är 10 ggr högre än det toxikologiska referensvärdet

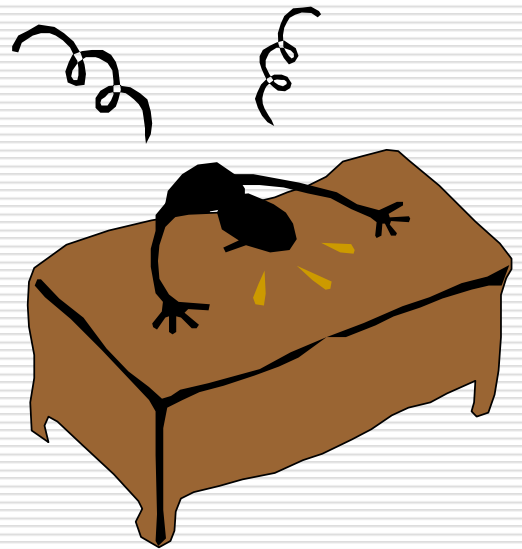
Borde riktvärdet ändras?

- Två handlingsalternativ
 1. Sänka riktvärdet
 2. Öka säkerheten i riskbedömningen

- Finns det andra osäkerheter?
- Modellosäkerheten dominerar
 - Upptagsmodellen är inte giltig för ämnen med $\log K_{ow}$ över 4.6 (BaP \approx 6.13)
 - Växtupptaget av tyngre PAH-föreningar är väsentligt lägre än vad upptagsmodellen anger
 - En fördjupad riskbedömning av benso[a]pyren bör utgå från empiriska data för växtupptag

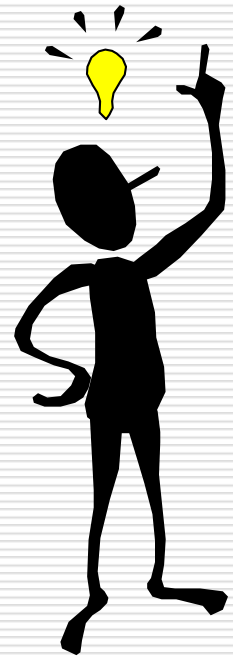
Mer arbete

- Probabilistisk riskbedömning kräver en större arbetsinsats (jämfört med traditionell deterministisk metodik)
 - Valet av ingångsfördelningar
 - Hantering av beroende mellan variabler
 - Numerisk stabilitet i simuleringen
 - Presentationen av resultatet
 - Osv.
- Är det då något att satsa på?



Fördelarna överväger

- En probabilistisk riskbedömning
 - Kan besvara frågan "Hur farligt?"
 - Kan redovisa säkerhetsmarginalen
 - Ger underlag för att förbättra riskbedömningen
 - Ger ökad öppenhet, osäkerheter måste diskuteras
 - Är vetenskapligt välgrundad, "state-of-the-art"



Vad behövs för att nå dit?

- Kvalitetssäkring
 - Vägledningsdokument liknande det som har utgivits av U.S. EPA
 - Genomförande
 - Redovisning och dokumentation
 - Kommunikation av resultaten till berörda
- Utbildning
 - Probabilistisk metodik ingår i kurser vid Högskolan i Kalmar och civilingenjörsutbildningen i Lund
 - Behovet av fortbildningskurser av redan yrkesverksamma är sannolikt stort
 - Distansutbildning (nätbaserad)
 - Kortare problembaserade kurser

Tack

- Naturvårdsverket, "Hållbar Sanering", som har beviljat medel för projektets första del
- Bo Bergbäck som har varit projektledare
- Mark Elert och Tommy Hammar som har ingått i den arbetsgrupp som har samordnat projektet

