



# Probabilistisk riskbedömning

---

Sannolikhetsbaserad uppskattning av miljö- och hälsorisker i förorenade markområden

Tomas Öberg  
Högskolan i Kalmar

Presentation vid Nätverket Renare Marks  
vårmöte i Umeå, 16-17 mars 2005

# Riskbegreppet

---

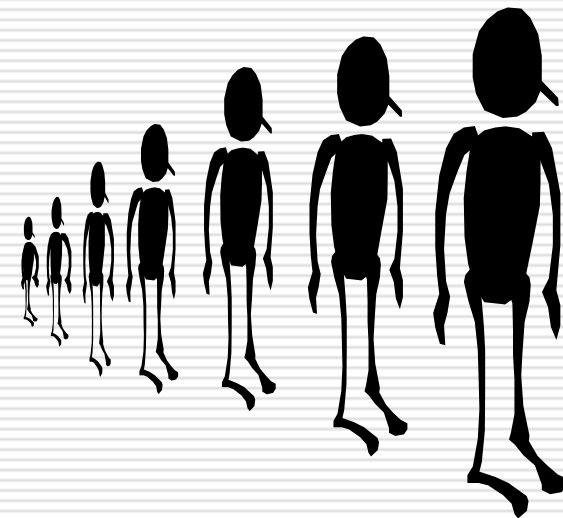
$$Risk = f(exponering, effekter)$$

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 m<sup>3</sup> 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

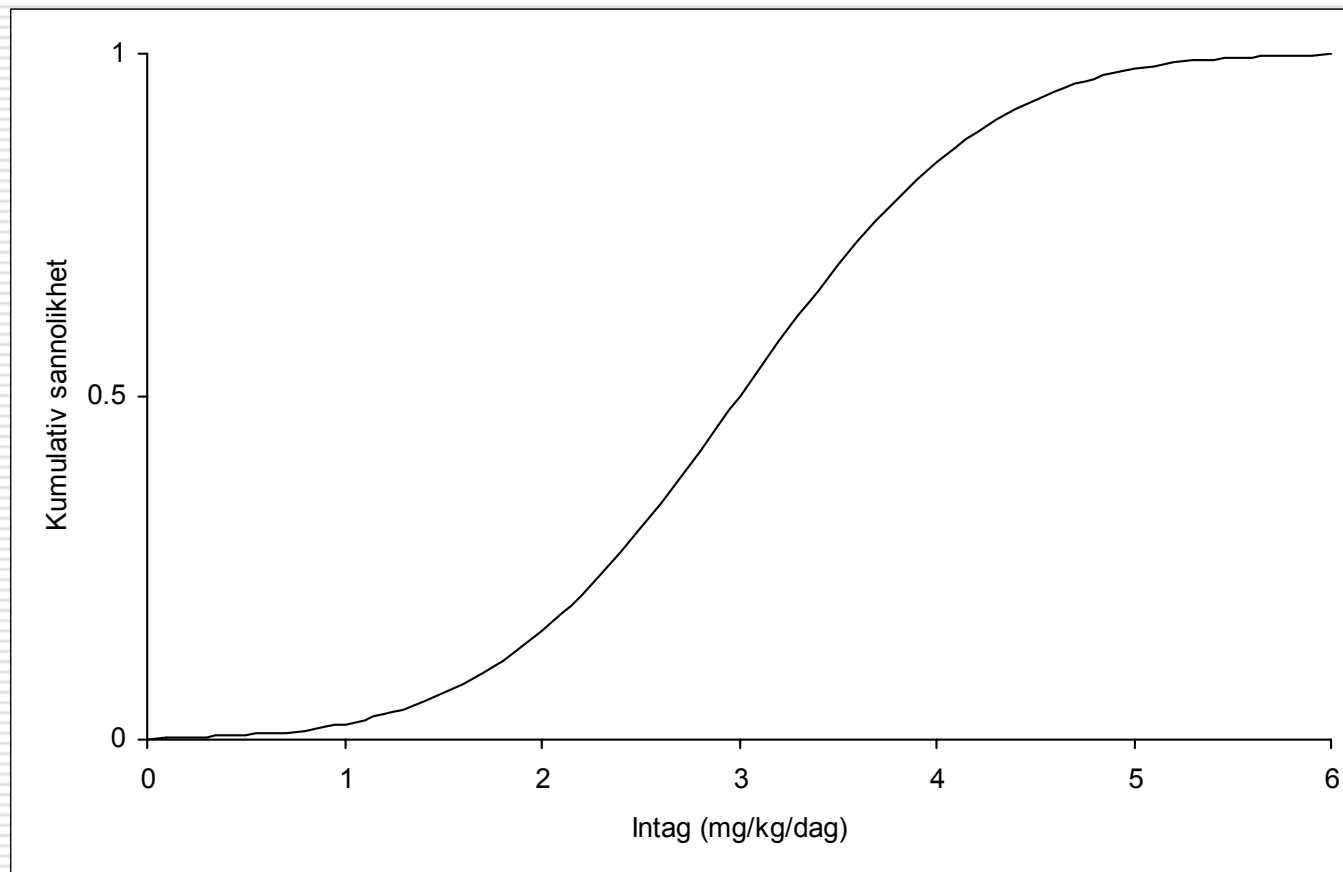
- Probabilistisk riskbedömning
  - Sannolikhetsfördelningar för att beskriva variabilitet och osäkerhet i en eller flera av ingångsvariablerna
  - Monte Carlo-simulering
  - Resultatet som en sannolikhetsfördelning

*“... 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

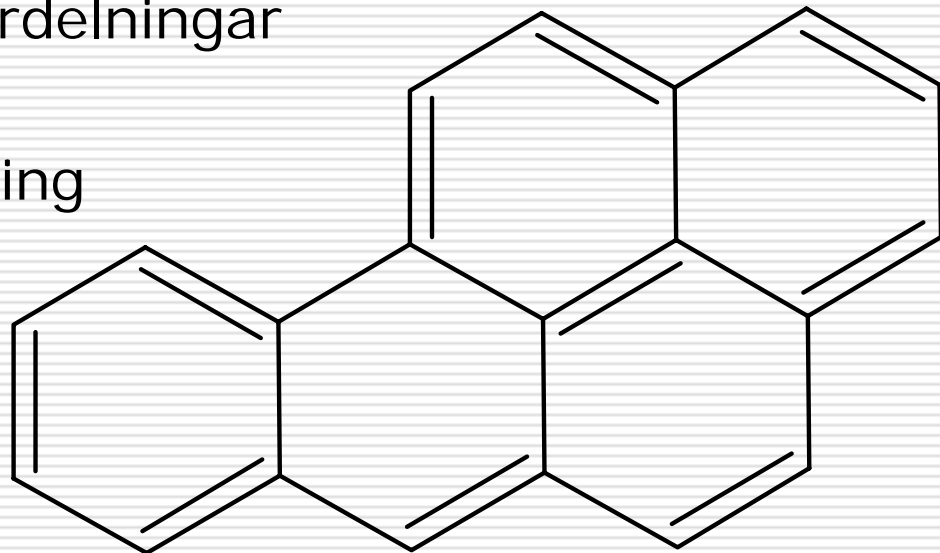
---

- 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):

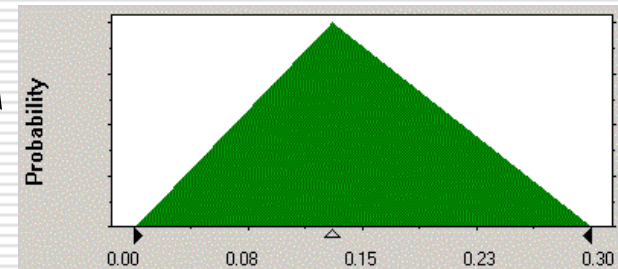
- $Intag = C_s \cdot R_{ig} \cdot f_h \cdot K_{pl}$
- $R_{ig} = (Intag_{barn} \cdot Exptid_{barn} / Bw_{barn} + Intag_{vux} \cdot Exptid_{vux} / Bw_{vux}) / Exptid_{tot}$
- $K_{pl} = (BCF_{stam} \cdot f_{blad} + BCF_{rot} \cdot f_{rot}) \cdot \rho_b / (\theta_w + K_d \rho_b + H \cdot \theta_a)$
- $K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$
- $BCF_{stam} = (10^{(0.95 \cdot \log K_{ow} - 2.05)} + 0.82) \cdot 0.784 \cdot 10^{(-0.434 \cdot (\log K_{ow} - 1.78)^2 / 2.44)}$
- $BCF_{rot} = 10^{(0.77 \cdot \log K_{ow} - 1.52)} + 0.82$

- Intagsberäkningen utgår från en koncentration i mark på 0.41 mg/kg (referenskonc. för KM)

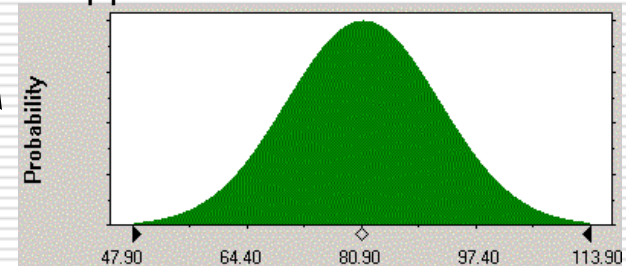
# Ingångsfördelningar

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 <sub>barn</sub> (kg/d)	Normal	Medelv=0.13, stdav=0.04	[156]
Exptid <sub>barn</sub> (år, 0-6)	Triangulär	Min=1, max=6, typvärde=3	
BW <sub>barn</sub> (kg)	Normal	Medelv=15, stdav=3, min=0	
Grönsaker: Intag <sub>vux, kvinna</sub> (g/d)	Lognormal	Medelv=113, stdav=72	[157]
Grönsaker: Intag <sub>vux, man</sub> (g/d)	Lognormal	Medelv=84, stdav=58	[157]
Rotfrukter: Intag <sub>vux, kvinna</sub> (g/d)	Lognormal	Medelv=14, stdav=20	[157]
Rotfrukter: Intag <sub>vux, man</sub> (g/d)	Lognormal	Medelv=12, stdav=44	[157]
Potatis: Intag <sub>vux, kvinna</sub> (g/d)	Normal	Medelv=116, stdav=63, min=0	[157]
Potatis: Intag <sub>vux, man</sub> (g/d)	Normal	Medelv=168, stdav=94, min=0	[157]
Exptid <sub>vux</sub> (år, 7-75)	Lognormal	50-percentil= 9, 90-percentil=33, max=69	[73, 161]
BW <sub>vux, kvinna</sub> (kg)	Normal	Medelv=66.3, stdav=9.4	[158, 162]
BW <sub>vux, man</sub> (kg)	Normal	Medelv=80.9, stdav=11	[158, 162]
$f_{\text{blad}}$ (%)	Beräknat	Grönsaker/(Potatis+rots.)	
$\rho_b$ (kg/dm <sup>3</sup> )	Triangulär	Min=0.25, max=1.6, typvärde=1.2	[159]
$\theta_w$ (dm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> )	Triangulär	Min=0.05, max=0.5, typvärde=0.3	[159]
$\theta_a$ (dm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> )	Triangulär	Min=0.0, max=0.60, typvärde=0.2	Neg. korr. m. $\theta_w$
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

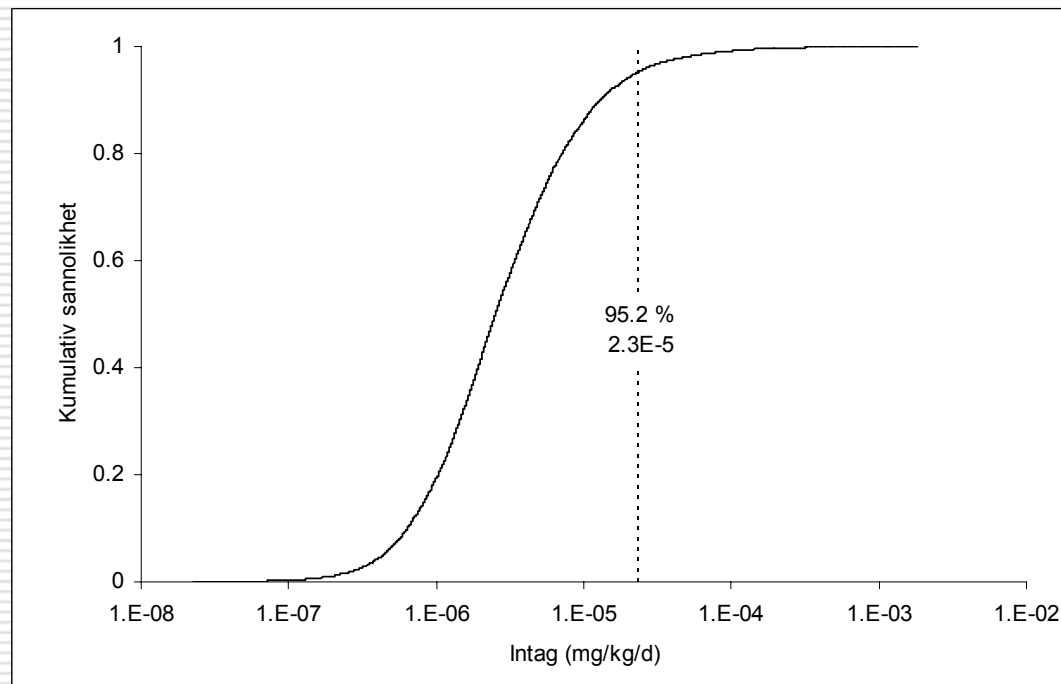


Kroppsvikt vuxen man



# Variabilitet

- Variabilitet i markförhållanden, konsumtionsvanor, levnadsförhållanden och kroppsvikt

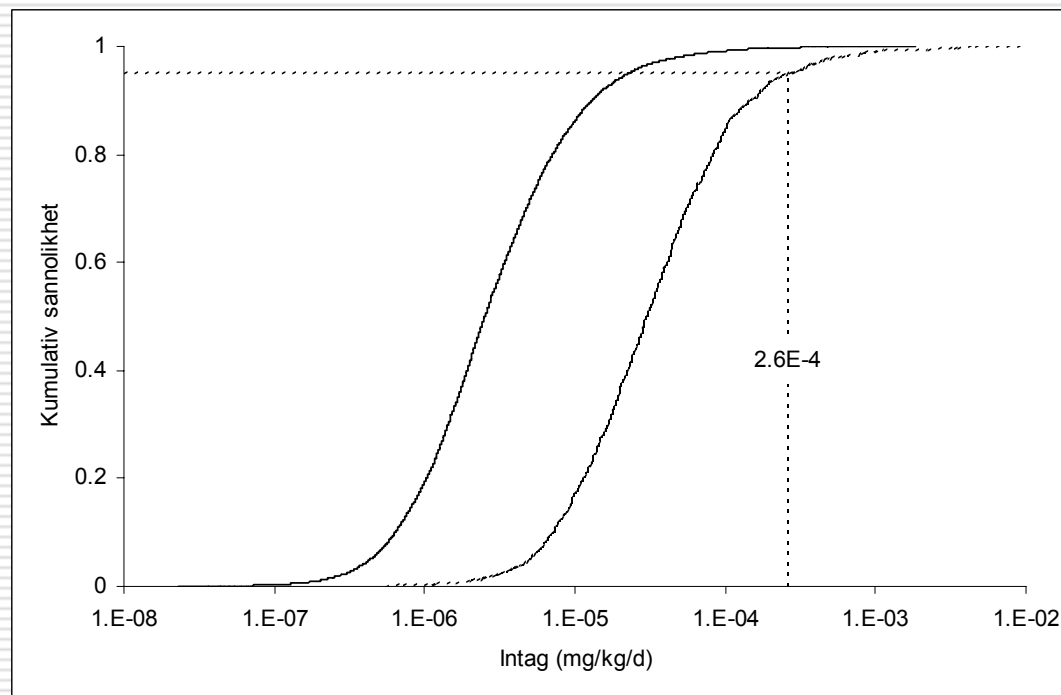


Det toxikologiska referensvärdet motsvarar 95-percentilen.

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

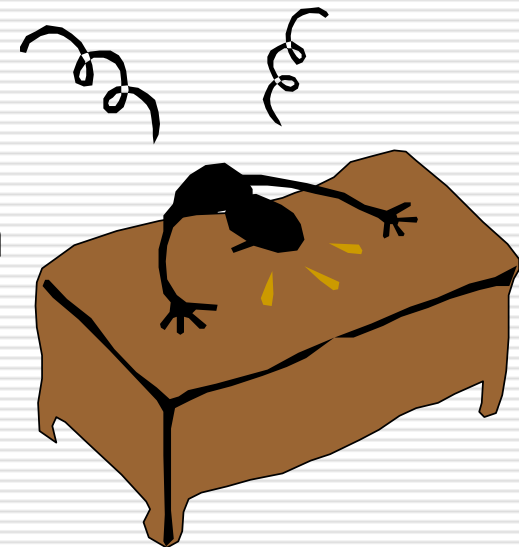
# Borde riktvärdet ändras?

---

- 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

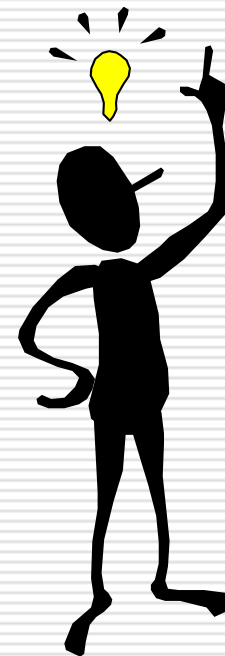
- Probabilistisk riskbedömning kräver en större arbetsinsats (jämfört med traditionell deterministisk metodik)
  - Valet av ingångsfördelningar
  - Hantering av beroende mellan variabler
  - Numerisk stabilitet i simuleringen
  - Presentationen av resultatet
  - Osv.
- Är det då något att satsa på?



# 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

