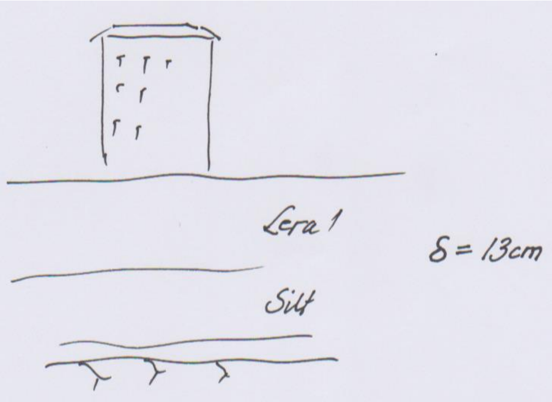
Kort-kurs i Statistik för geotekniker

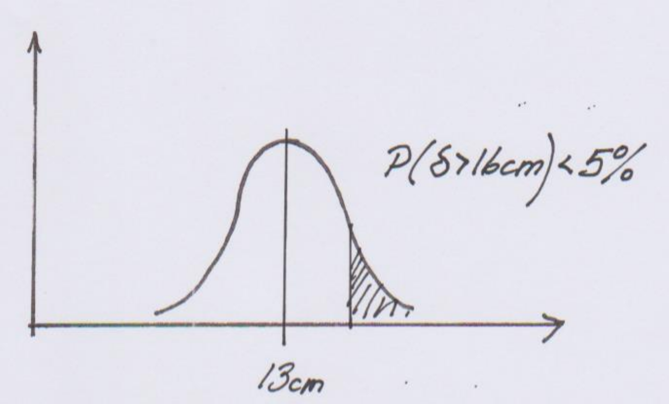
11/3, dagen innan GD

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

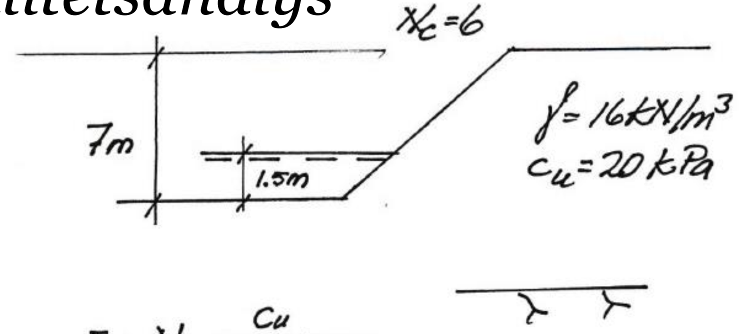
Vad skall vi åstadkomma idag?

Sättningsberäkning



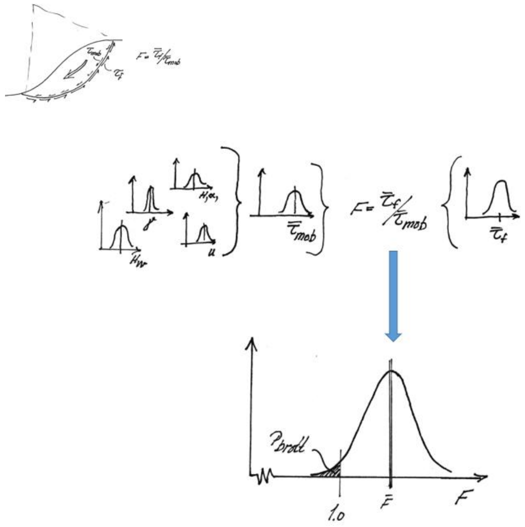


Stabilitetsanalys



$$F = N_c \frac{c_u}{\gamma H - \gamma_w H_w}$$

$$F = 6 \cdot \frac{20}{16 \cdot 7 - 10 \cdot 1{,}5} = 1{,}24 \qquad P(brott)?$$



Förstärkning som ökar F med 10 %,
Minskar P(brott) från $2 \cdot 10^{-3}$ till $1{,}5 \cdot 10^{-5}$

Fördjupade undersökningar som minskar Vip(c_u) från 15 % till 8 % resulterar i att P(brott) minskar från $2 \cdot 10^{-3}$ till $3 \cdot 10^{-6}$

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

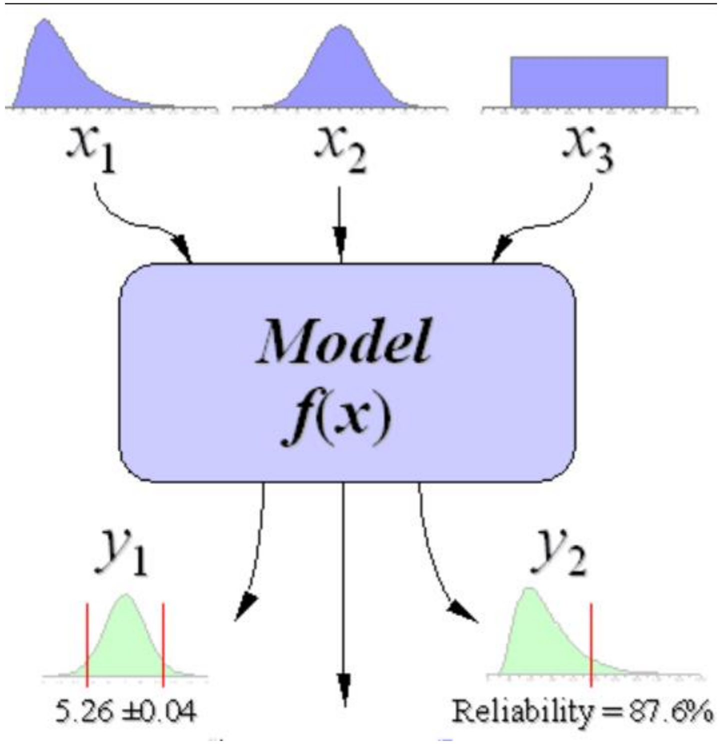
Hur skall det gå till?

Monte Carlo simulering
Punktskattningsmetoden (PEM)

Variationskoefficienter
Variansreduktion

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Monte Carlo simulering *(John von Neuman)*



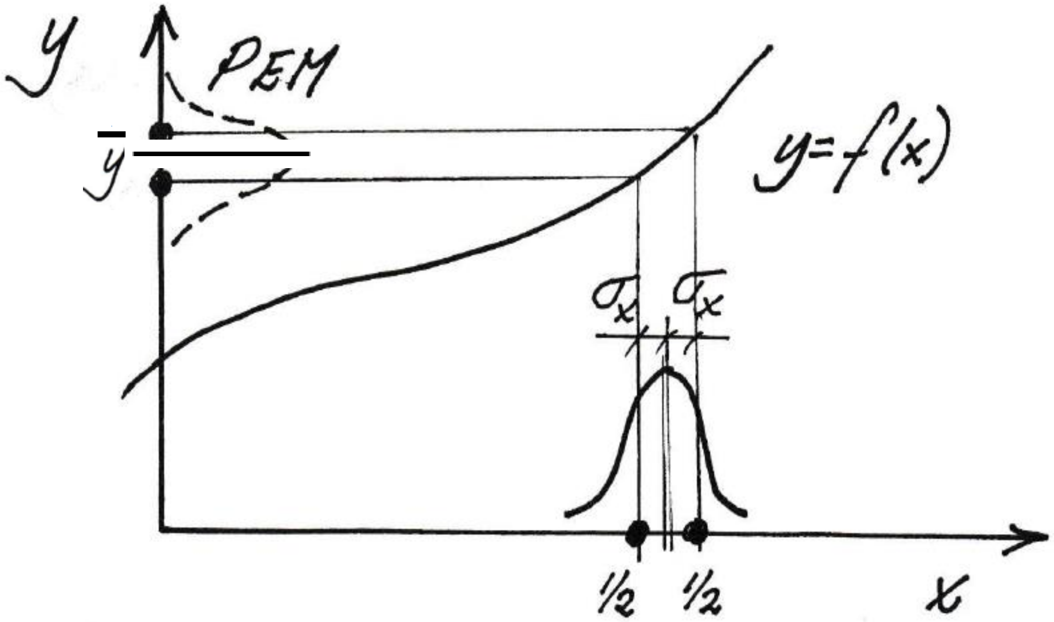
Crystal Ball

@Risk

… .. .

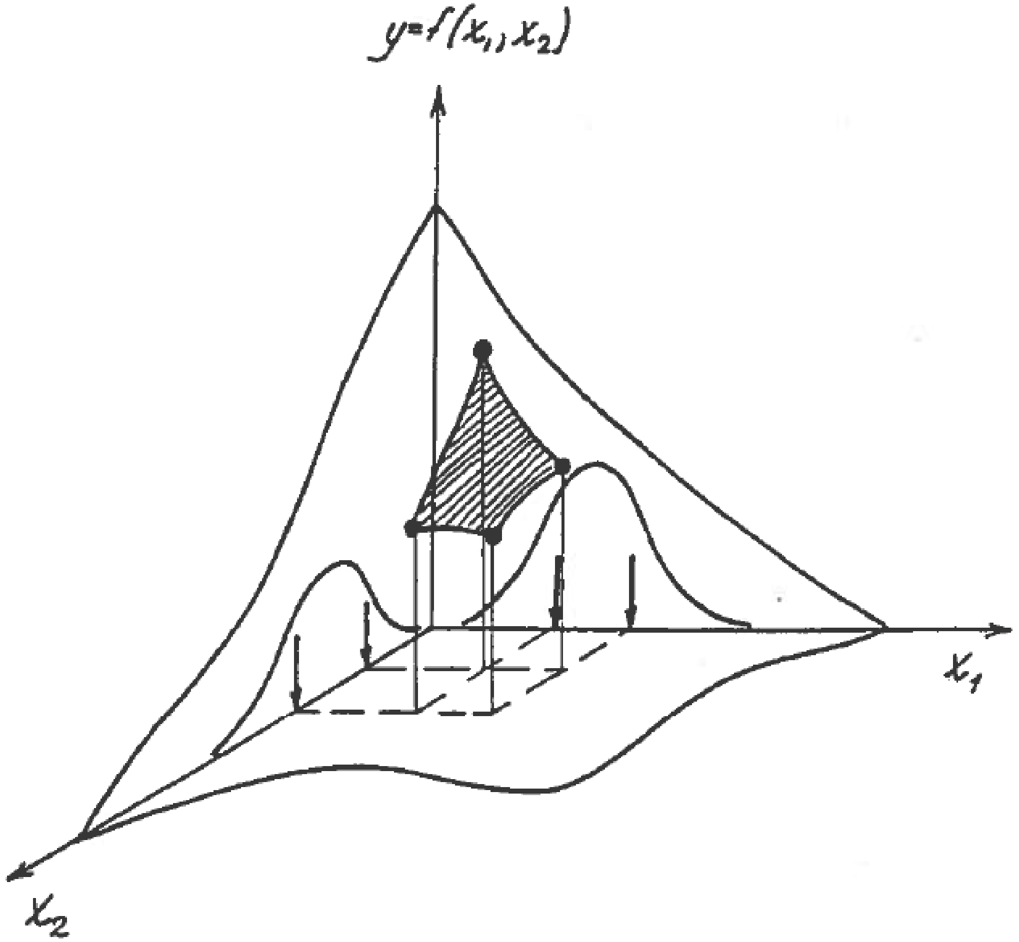
Göran Sällfors Chalmers/ GeoForce AB

PEM (Point Estimate Method)
Punktskattningsmetoden



$$\sigma_x = \left(E[x^2] - (E[x])^2\right)^{0.5}$$

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

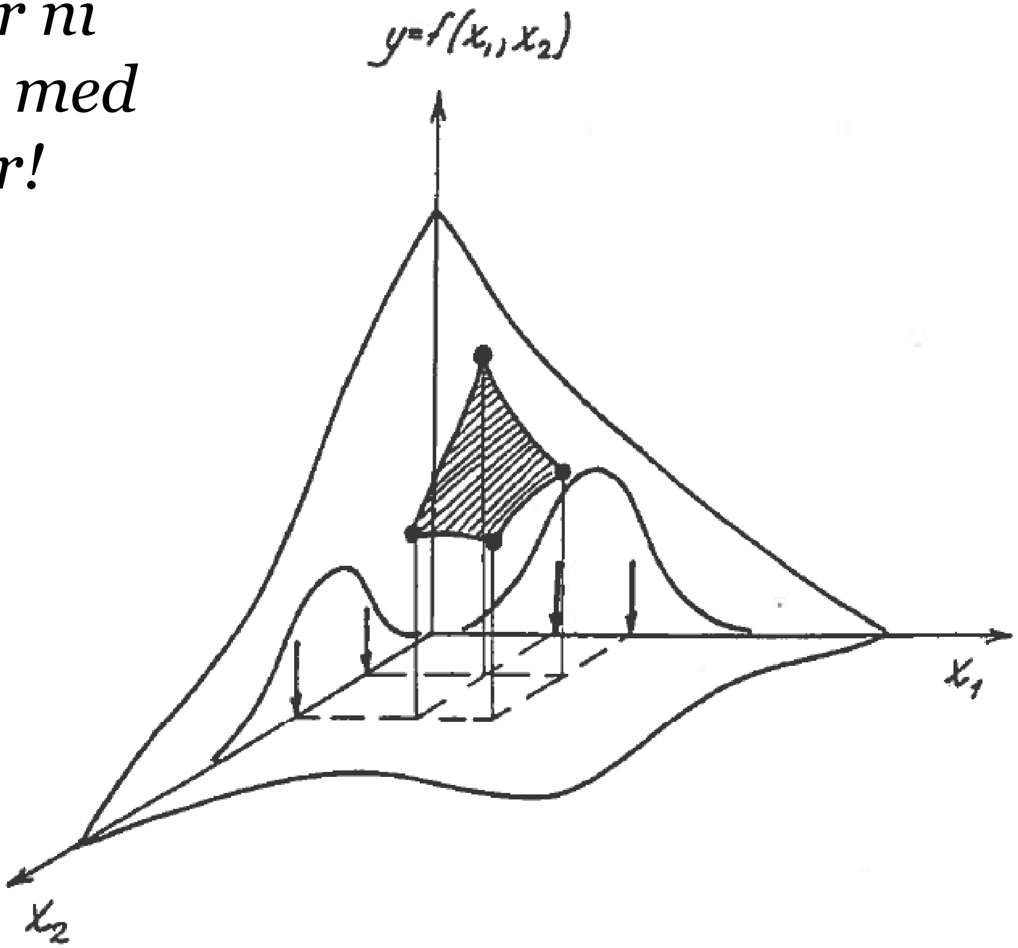


$$\sigma_x = \left(E[x^2] - \left(E[x]\right)^2 \right)^{0.5}$$

Antal variabler =n medför 2^n beräkningar

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Bonus! Ni får en Excel-fil där ni kan göra egna simuleringar med PEM med upp till 4 variabler!



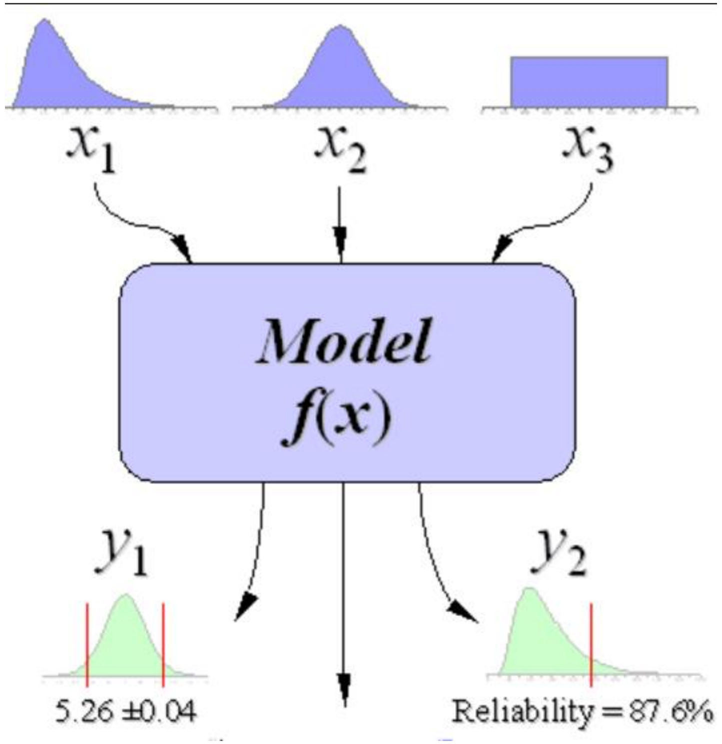
$$\sigma_x = \left(E[x^2] - (E[x])^2\right)^{0.5}$$

Antal variabler =n medför 2^n beräkningar

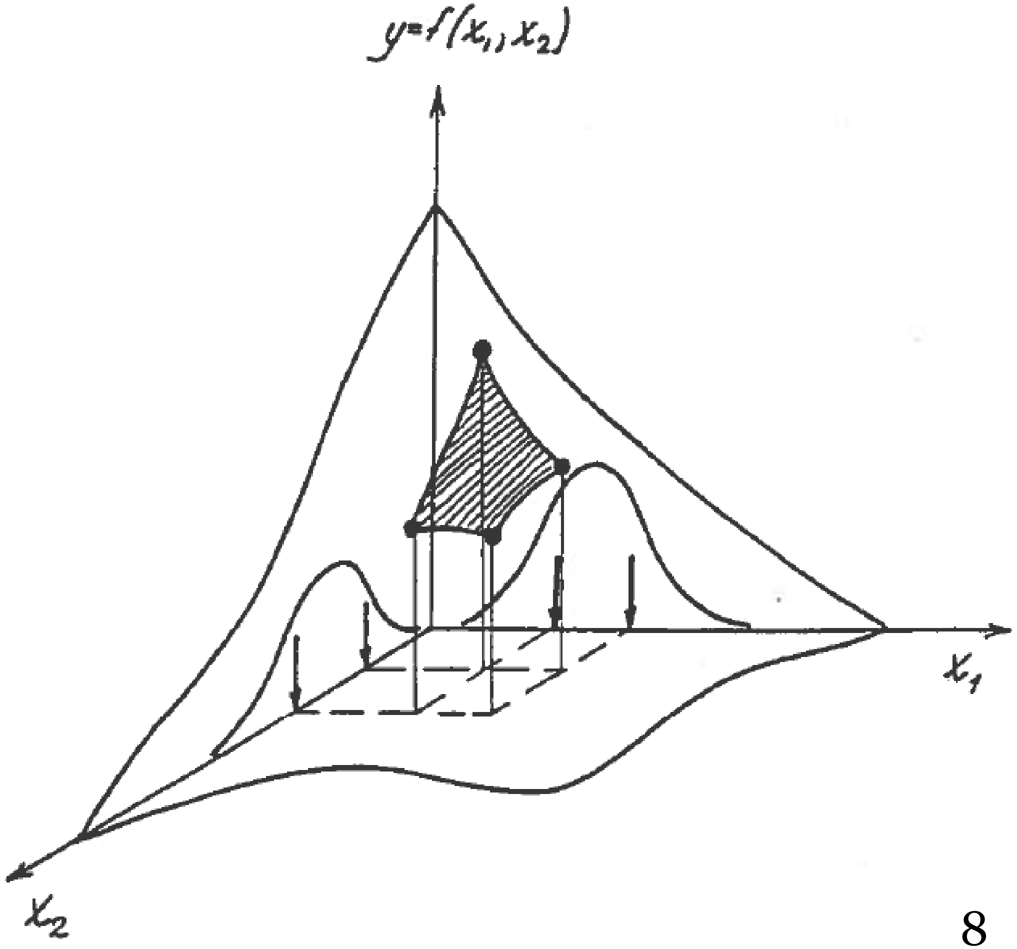
Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Jämförelse

Monte Carlo simulering



Punktskattningsmetoden (PEM)



Men först en liten repetition

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

- *Medelvärde*

- *Standardavvikelse*

- *Skevhet*

- *Kurtosis (Toppighet)*

1:a Centralmomentet

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots x_n)/n$$

2:a Centralmomentet

$$V[x] = E[(x_i-\bar{x})^2] = \sum_{i=1}^{n} (x_i-\bar{x})^2/(n-1)$$

3:e Centralmomentet

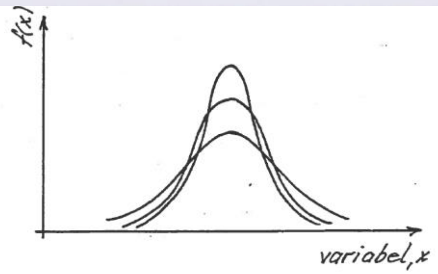
$$E[(x_i-\bar{x})^3] = \sum_{i=1}^{n} (x_i-\bar{x})^3/((n-1)(n-2)/n)$$

$$\beta_1 = \frac{E[(x_i-\bar{x})^3]}{(\sigma[x])^3}$$

4:e Centralmomentet

$$E[(x_i-\bar{x})^4] = \sum_{i=1}^{n} (x_i-\bar{x})^4/((n-1)(n-2)(n-3)/n(n+1))$$

$$\beta_2 = \frac{E[(x_i-\bar{x})^4]}{(\sigma[x])^4}$$



Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

- *Variationskoefficient*

Variationskoefficient

$V_{ip}(x) = \sigma_x / \bar{x}$

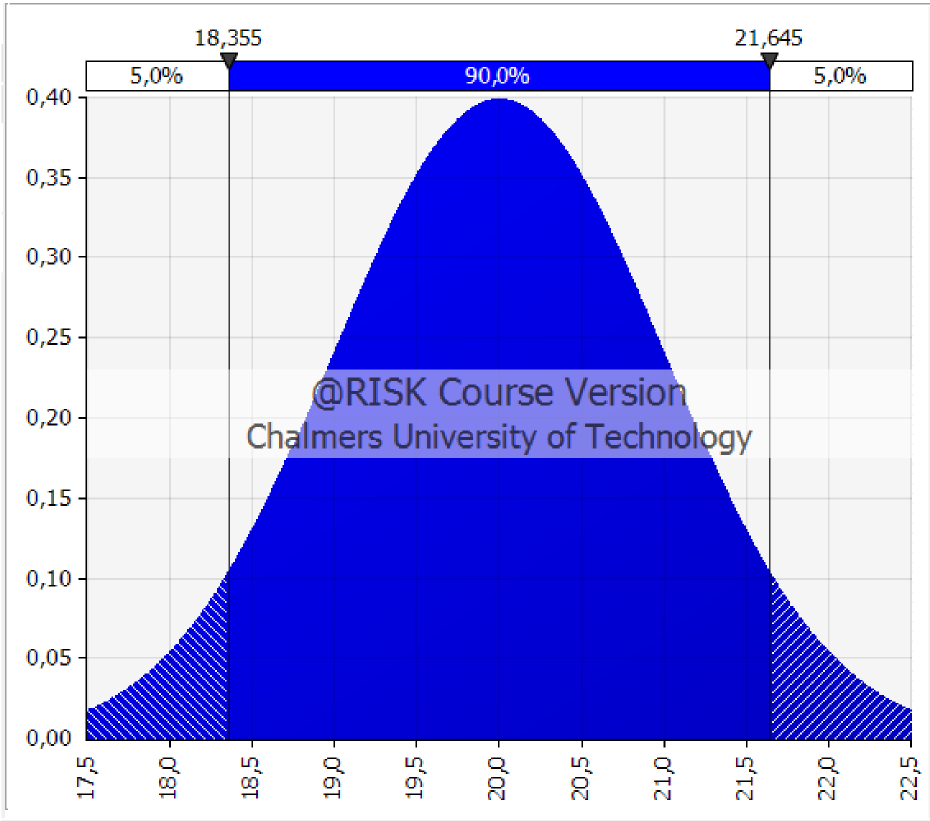
anges i %

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

10

- *Normalfördelning* ($E(x)$, $\sigma(x)$, $\beta_1 = 0$, $\beta_2 = 3$

N(20;1,0)



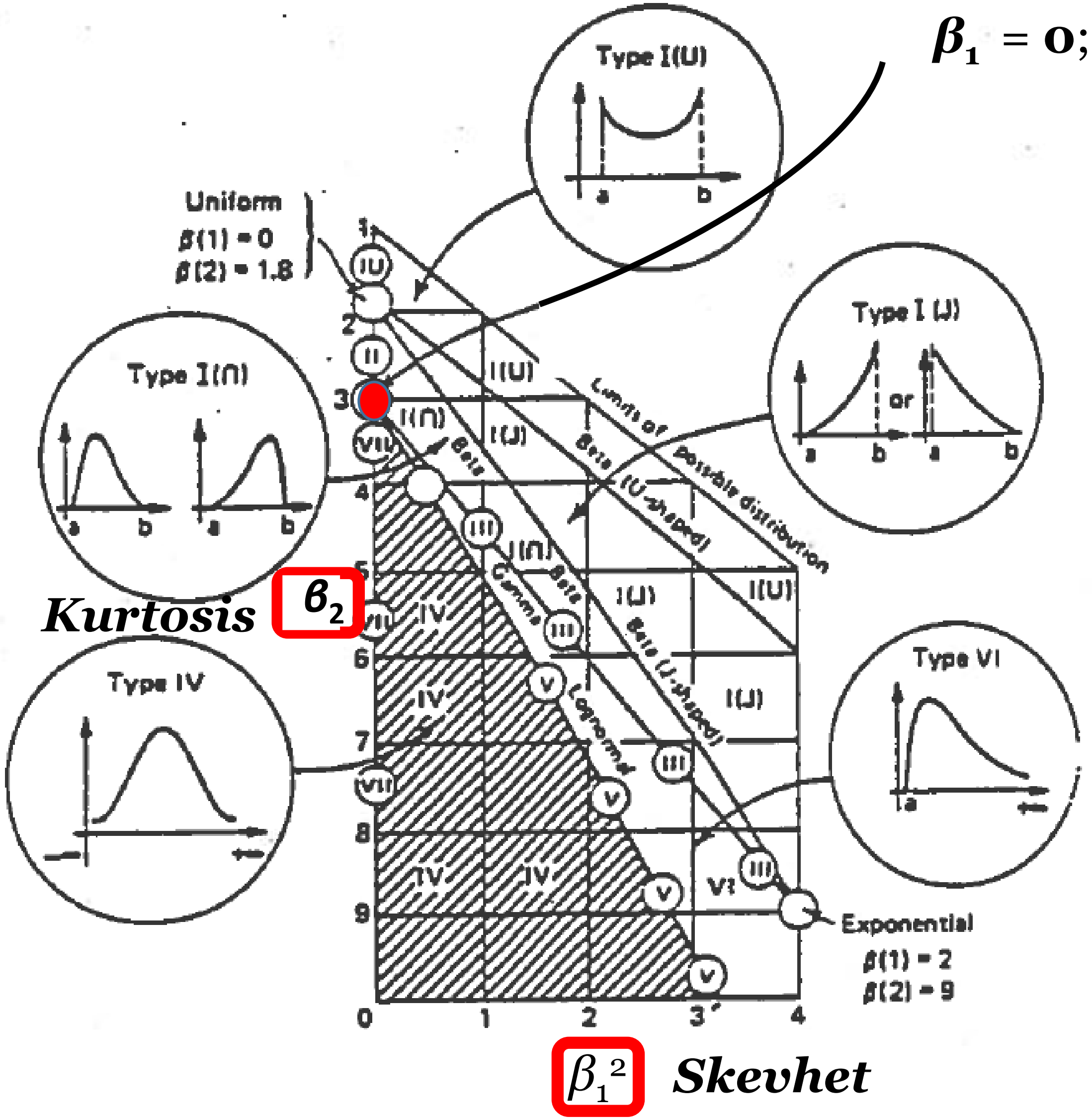
Statistics Grid

	Normal(20;1)
Cell	Sheet1!C5
Minimum	−∞
Maximum	+∞
Mean	20,0000
Mode	20,0000
Median	20,0000
Std Dev	1,0000
Skewness	0,0000
Kurtosis	3,0000
Left X	18,355
Left P	5,0%
Right X	21,645
Right P	95,0%
Dif. X	3,2897
Dif. P	90,0%
1%	17,6737
5%	18,3551
10%	18,7184
15%	18,9636

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Normalfördelning

$\beta_1 = 0; \beta_2 = 3$



Sannolikhetsfördelningar
Enligt Pearson

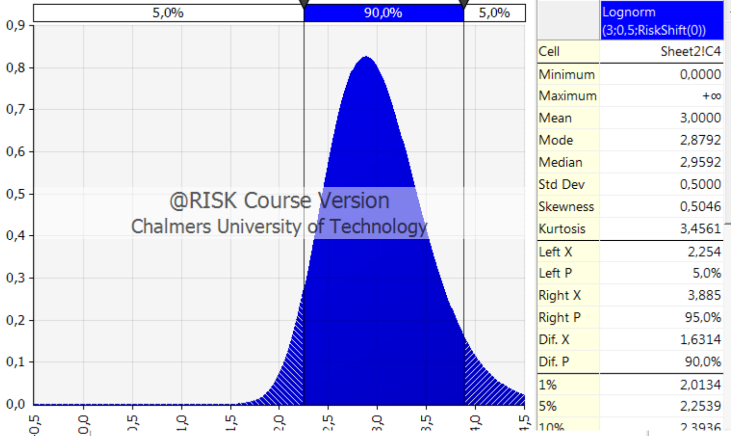
β - fördelning

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Statistik för Geotekniker
Repetition
Fördelningar

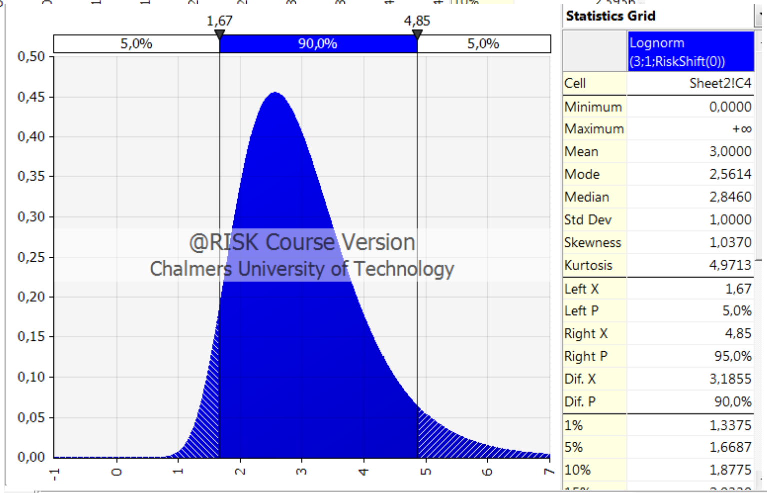
- Normalfördelning ($E(x)$, $\sigma(x)$, $\beta_1 = 0$, β_2

- *Lognormalfördelning*

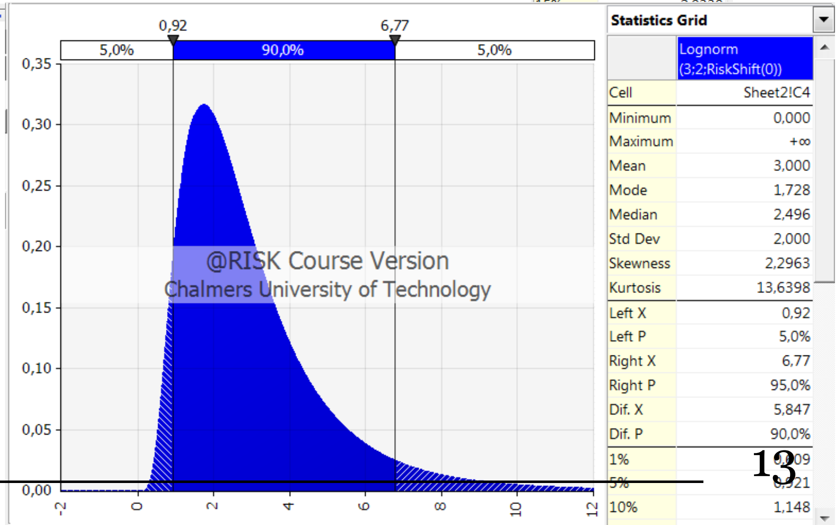


9,5 – 48,4

$e^3 = 20$



5,3 – 127,7



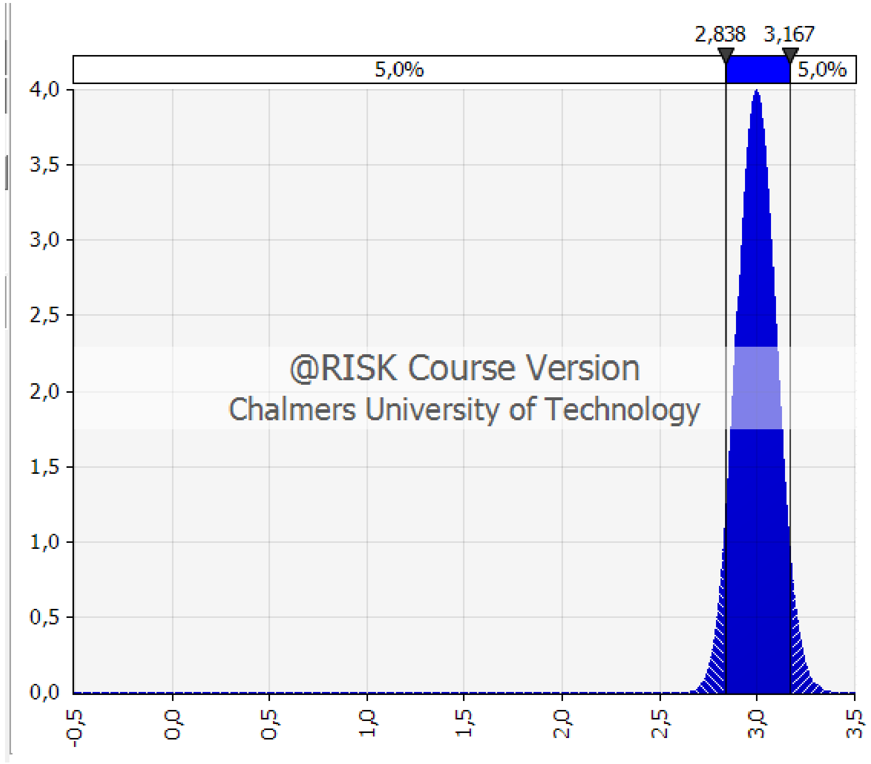
2,5 – 310

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Statistik för Geotekniker
Repetition
Fördelningar

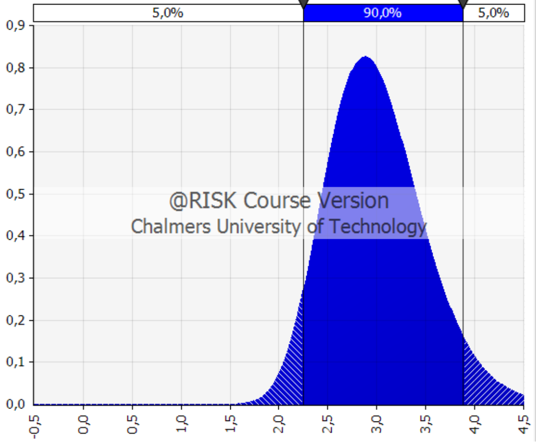
- *Normalfördelning* ($E(x)$, $\sigma(x)$, $\beta_1 = 0$, β_2

- *Lognormalfördelning*



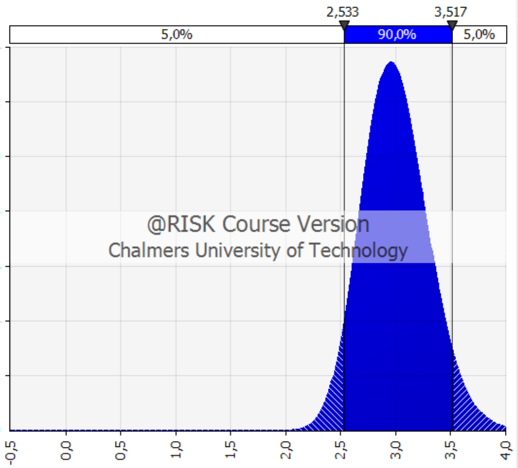
Statistics Grid

	Lognorm (3;0,1;RiskShift(0))
Cell	Sheet2!C4
Minimum	0,0000
Maximum	+∞
Mean	3,0000
Mode	2,9950
Median	2,9983
Std Dev	0,1000
Skewness	0,1000
Kurtosis	3,0178
Left X	2,838
Left P	5,0%
Right X	3,167
Right P	95,0%
Dif. X	0,3289
Dif. P	90,0%
1%	2,7747
5%	2,8384
10%	2,8730



	Lognorm (3;0,5;RiskShift(0))
Cell	Sheet2!C4
Minimum	0,0000
Maximum	+∞
Mean	3,0000
Mode	2,8792
Median	2,9592
Std Dev	0,5000
Skewness	0,5046
Kurtosis	3,4561
Left X	2,254
Left P	5,0%
Right X	3,885
Right P	95,0%
Dif. X	1,6314
Dif. P	90,0%
1%	2,0134
5%	2,2539
10%	2,3936

9,5 – 48,4



Statistics Grid

	Lognorm (3;0,3;RiskShift(0))
Cell	Sheet2!C4
Minimum	0,0000
Maximum	+∞
Mean	3,0000
Mode	2,9556
Median	2,9851
Std Dev	0,3000
Skewness	0,3010
Kurtosis	3,1615
Left X	2,533
Left P	5,0%
Right X	3,517
Right P	95,0%
Dif. X	0,9840
Dif. P	90,0%
1%	2,3669
5%	2,5334
10%	2,6269

12,6 – 33,8

$\beta_1 = 0{,}30$

$\beta_2 = 3{,}16$

17,1 – 23,7

$\beta_1 = 0{,}10$

$\beta_2 = 3{,}02$

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

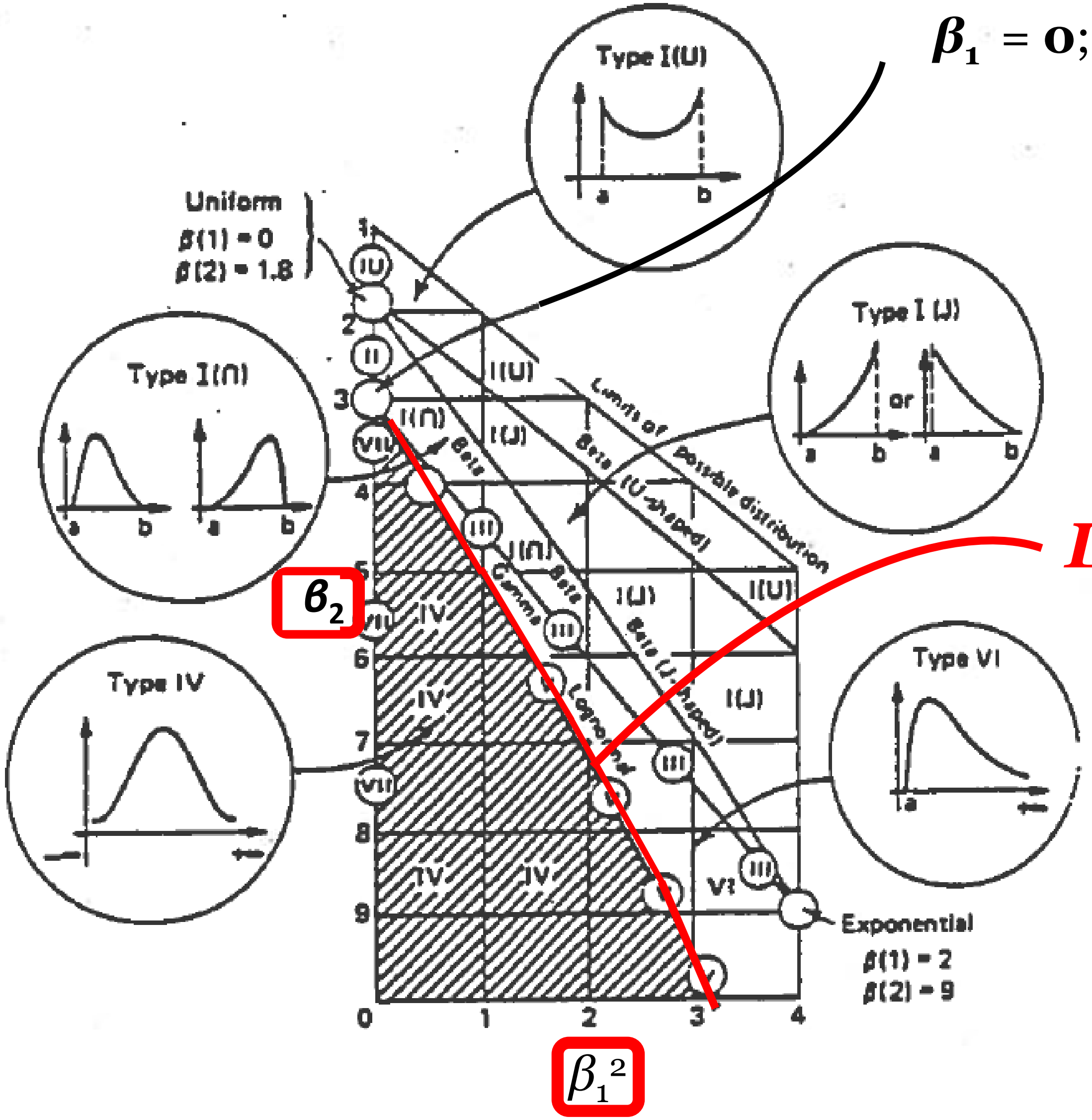
Normalfördelning

$\beta_1 = 0; \beta_2 = 3$

Sannolikhetsfördelningar
Enligt Pearson

β - fördelning

Lognormalfördelning



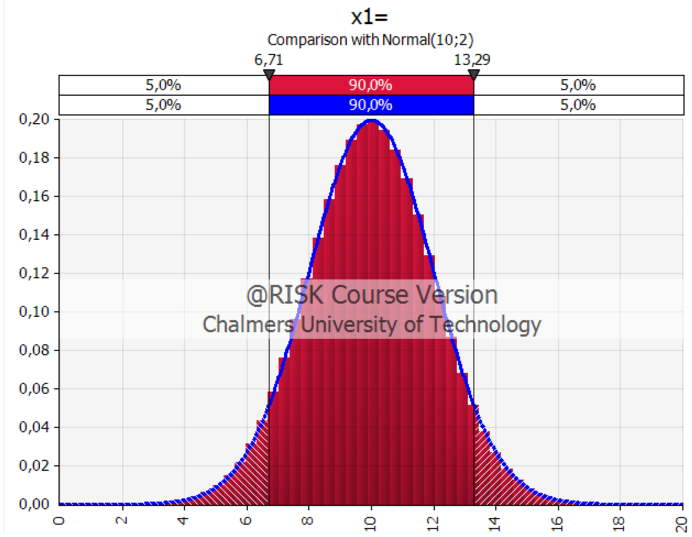
Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Antag x1 och x2 Normalfördelade

Vilken typ av fördelning är då:

$$x1 + x2$$
$$x1 \cdot x2$$
$$x2 / x1$$

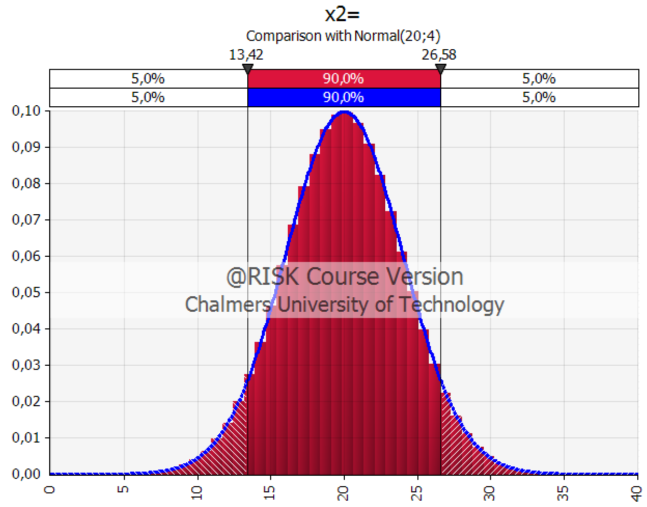
X1 = N(10;2)



Statistics Grid

	x1=	Normal(10;2)
Cell	Sheet1!C4	Sheet1!C4
Minimum	1,322	−∞
Maximum	19,189	+∞
Mean	10,000	10,0000
90% CI	± 0,0104	
Mode	10,025	10,0000
Median	10,000	10,0000
Std Dev	2,000	2,0000
Skewness	0,0002	0,0000
Kurtosis	3,0003	3,0000
Values	100000	
Errors	0	
Filtered	0	
Left X	6,71	6,71
Left P	5,0%	5,0%
Right X	13,29	13,29
Right P	95,0%	95,0%
Dif. X	6,580	6,5795
Dif. P	90,0%	90,0%

X2 = N(20;4)



Statistics Grid

	x2=	Normal(20;4)
Cell	Sheet1!C6	Sheet1!C6
Minimum	0,583	−∞
Maximum	37,674	+∞
Mean	20,000	20,000
90% CI	± 0,0208	
Mode	20,050	20,000
Median	20,000	20,000
Std Dev	4,000	4,000
Skewness	-0,0003	0,0000
Kurtosis	3,0009	3,0000
Values	100000	
Errors	0	
Filtered	0	
Left X	13,42	13,42
Left P	5,0%	5,0%
Right X	26,58	26,58
Right P	95,0%	95,0%
Dif. X	13,159	13,159
Dif. P	90,0%	90,0%
1%	10,695	10,695

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Antag x1 och x2 Normalfördelade

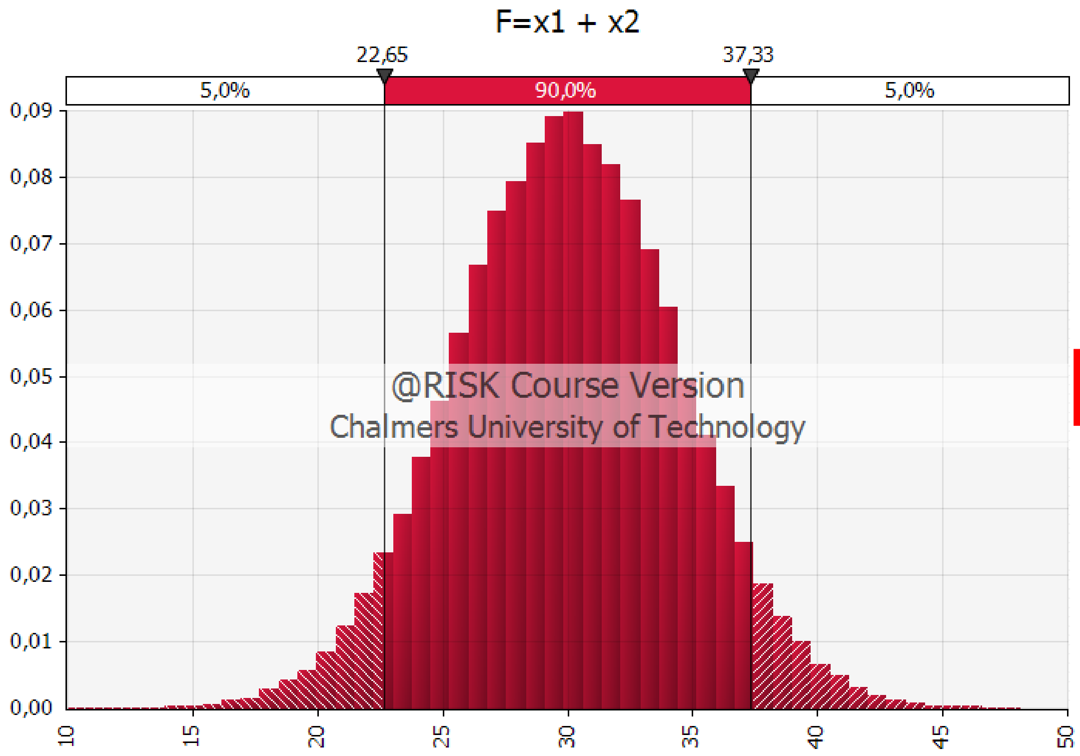
Vilken typ av fördelning är då:

Vip(x1) = Vip(x2) = 20 %

x1 + x2

x1 · x2

x2 / x1



Statistics Grid

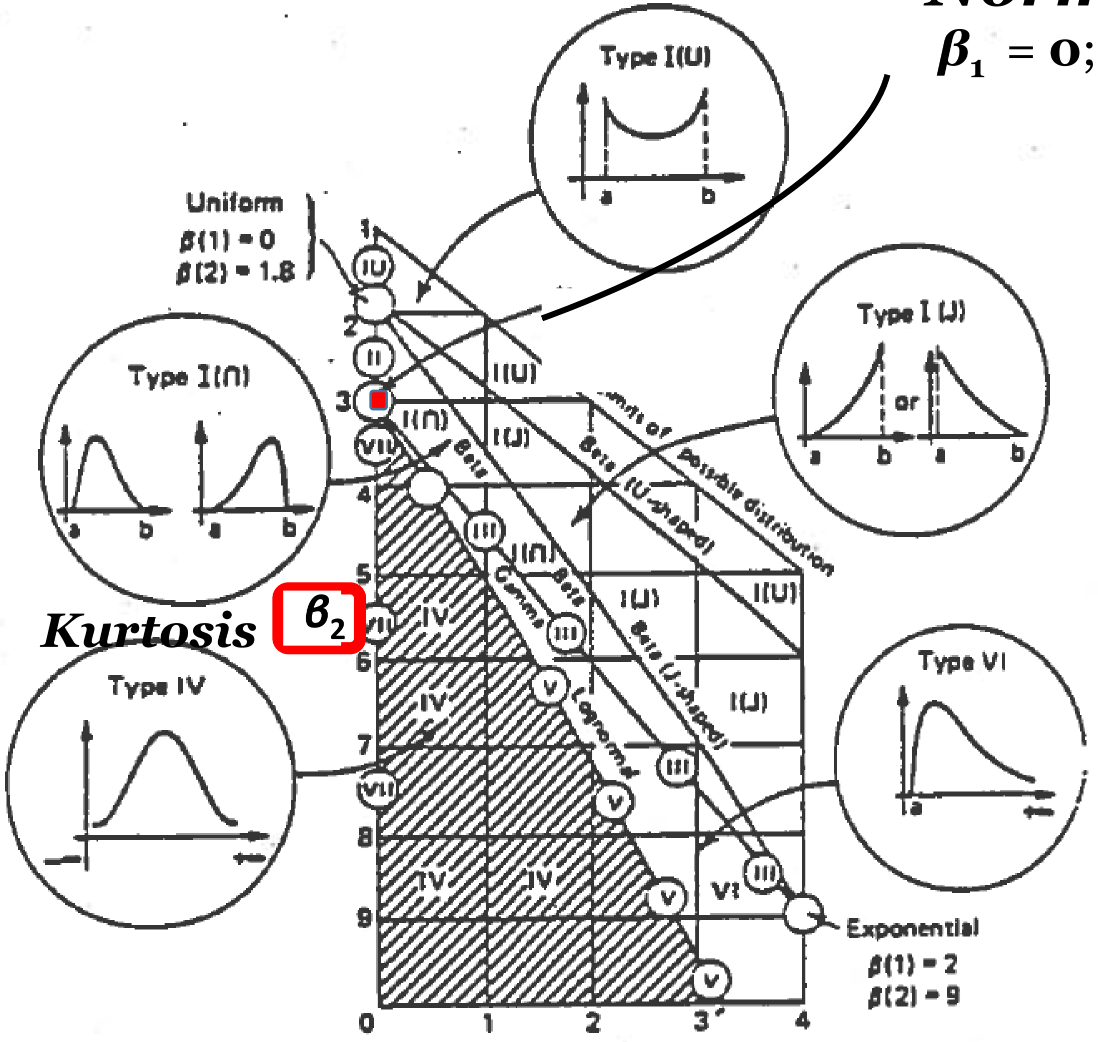
	F=x1 + x2
Cell	Sheet1!G4
Minimum	10,089
Maximum	48,117
Mean	30,000
90% CI	± 0,0232
Mode	30,052
Median	29,998
Std Dev	4,462
Skewness	-0,0006
Kurtosis	2,9983
Values	100000
Errors	0
Filtered	0
Left X	22,65
Left P	5,0%
Right X	37,33
Right P	95,0%
Dif. X	14,675
Dif. P	90,0%
1%	19,587

$\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2)^{0,5}$

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Normalfördelning

$\beta_1 = 0; \beta_2 = 3$



Kurtosis $\boxed{\beta_2}$

$\boxed{\beta_1^2}$ ***Skevhet***

Sannolikhetsfördelningar
Enligt Pearson

β - fördelning

Skewness	-0,0006
Kurtosis	2,9983

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Antag x1 och x2 Normalfördelade

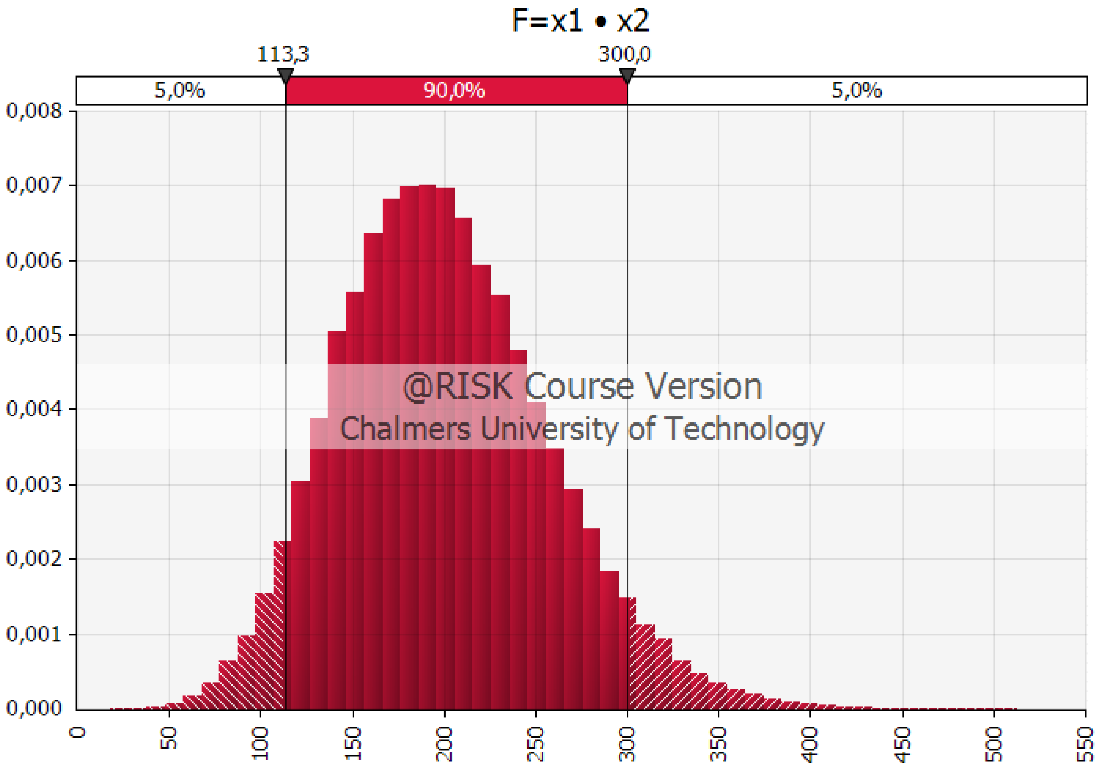
Vilken typ av fördelning är då:

Vip(x1) = Vip(x2) = 20 %

$x1 + x2$

$x1 \cdot x2$

$x2 \,/\, x1$



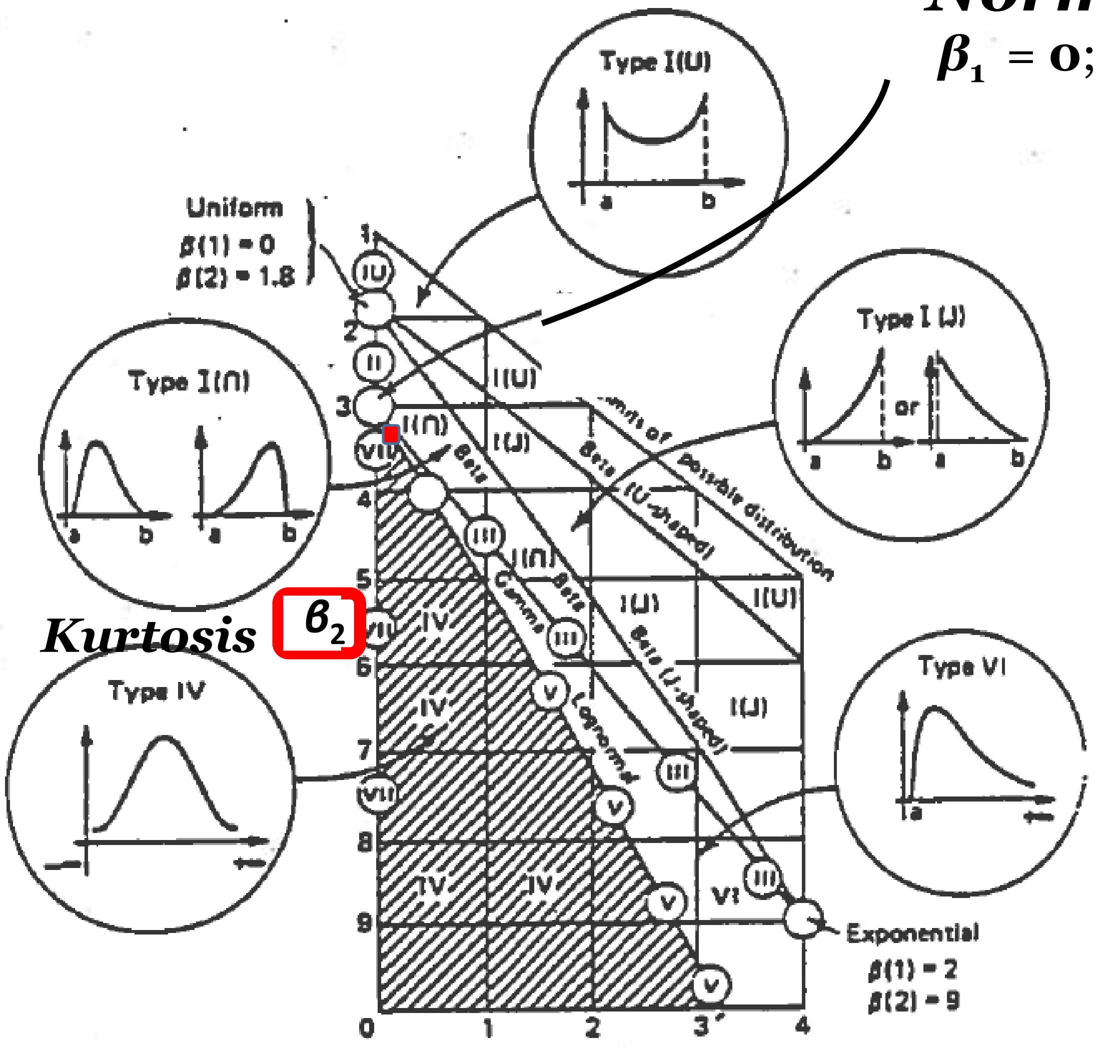
Statistics Grid

	F=x1 • x2
Cell	Sheet1!G4
Minimum	18,21
Maximum	512,97
Mean	199,98
90% CI	± 0,297
Mode	192,54
Median	196,08
Std Dev	57,08
Skewness	0,4127
Kurtosis	3,2346
Values	100000
Errors	0
Filtered	0
Left X	113,3
Left P	5,0%
Right X	300,0
Right P	95,0%
Dif. X	186,68
Dif. P	90,0%

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Normalfördelning

$\beta_1 = 0; \beta_2 = 3$



Kurtosis $\boxed{\beta_2}$

$\boxed{\beta_1^2}$ ***Skevhet***

Sannolikhetsfördelningar
Enligt Pearson

β - fördelning

Skewness	0,4127
Kurtosis	3,2346

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

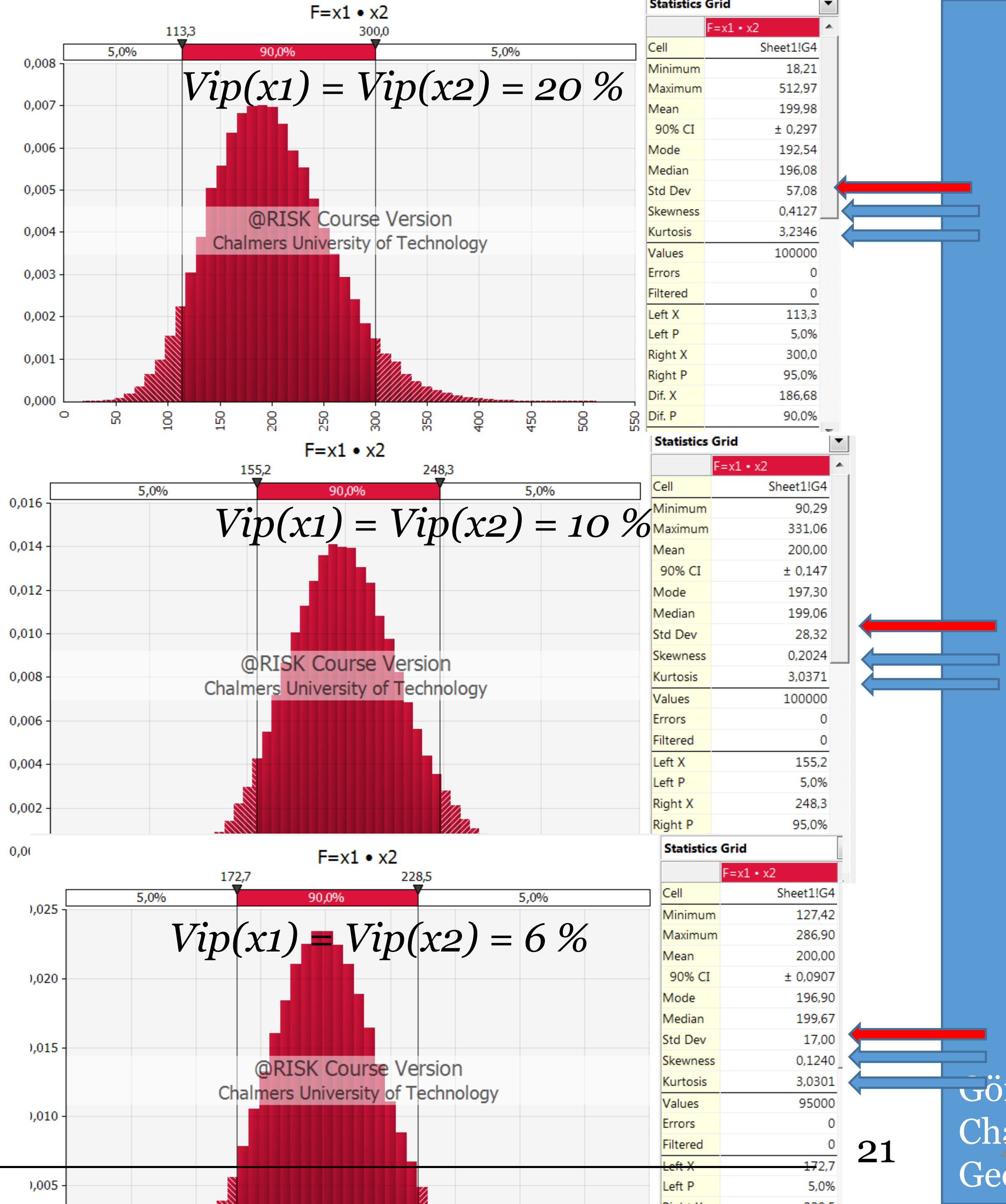
Antag x1 och x2 Normalfördelade

Vilken typ av fördelning är då:

$x1 + x2$

$x1 \cdot x2$

$x2 / x1$



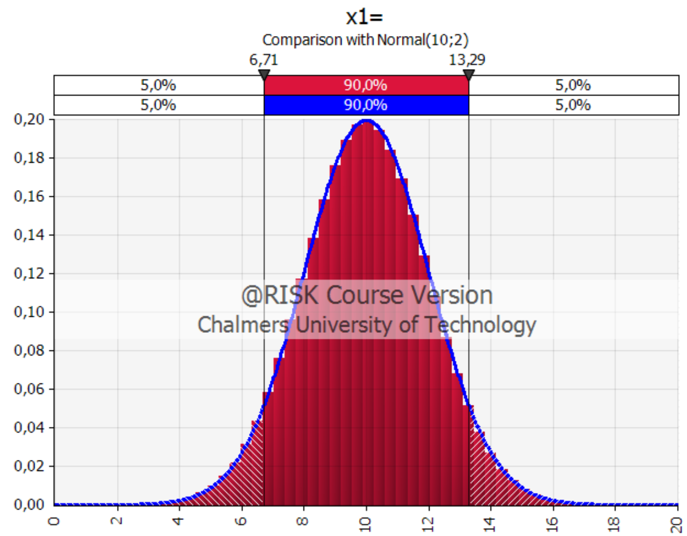
Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Antag x1 och x2 Normalfördelade

Vilken typ av fördelning är då:

x1 + x2
x1 · x2
x2 / x1

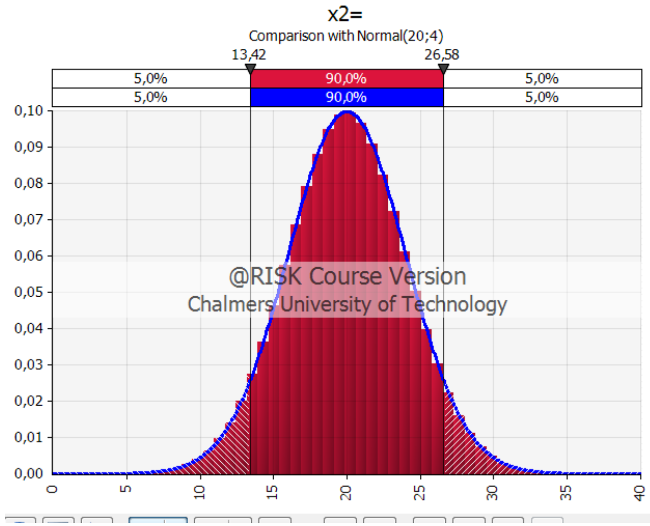
X1 = N(10;2)



Statistics Grid

	x1=	Normal(10;2)
Cell	Sheet1!C4	Sheet1!C4
Minimum	1,322	−∞
Maximum	19,189	+∞
Mean	10,000	10,0000
90% CI	± 0,0104	
Mode	10,025	10,0000
Median	10,000	10,0000
Std Dev	2,000	2,0000
Skewness	0,0002	0,0000
Kurtosis	3,0003	3,0000
Values	100000	
Errors	0	
Filtered	0	
Left X	6,71	6,71
Left P	5,0%	5,0%
Right X	13,29	13,29
Right P	95,0%	95,0%
Dif. X	6,580	6,5795
Dif. P	90,0%	90,0%

X2 = N(20;4)



Statistics Grid

	x2=	Normal(20;4)
Cell	Sheet1!C6	Sheet1!C6
Minimum	0,583	−∞
Maximum	37,674	+∞
Mean	20,000	20,000
90% CI	± 0,0208	
Mode	20,050	20,000
Median	20,000	20,000
Std Dev	4,000	4,000
Skewness	-0,0003	0,0000
Kurtosis	3,0009	3,0000
Values	100000	
Errors	0	
Filtered	0	
Left X	13,42	13,42
Left P	5,0%	5,0%
Right X	26,58	26,58
Right P	95,0%	95,0%
Dif. X	13,159	13,159
Dif. P	90,0%	90,0%
1%	10,695	10,695

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Antag x1 och x2 Normalfördelade

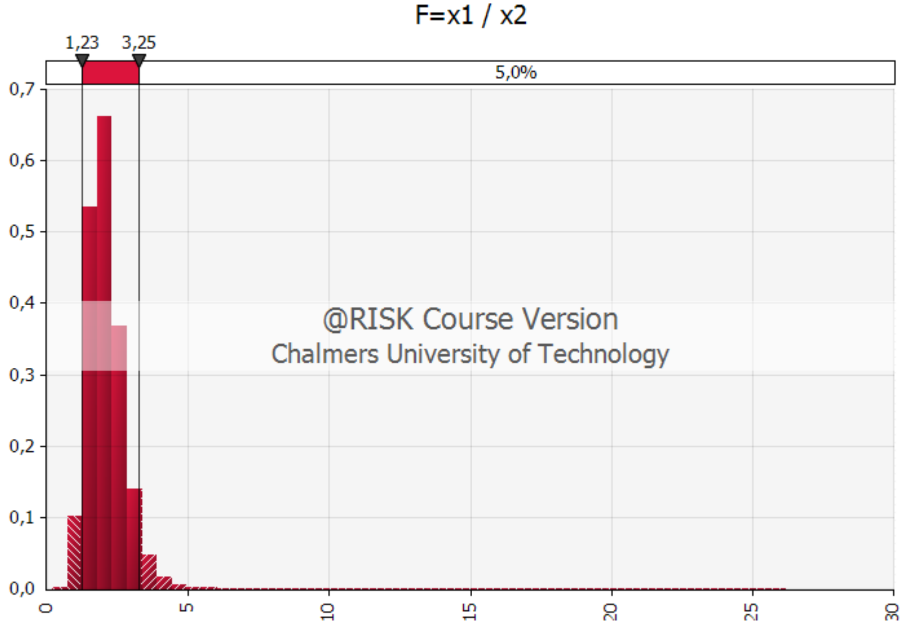
Vilken typ av fördelning är då:

Vip(x1) = Vip(x2) = 20 %

$x1 + x2$

$x1 \cdot x2$

$x2 / x1$



Statistics Grid	
	F=x1 / x2
Cell	Sheet1!G4
Minimum	0,183
Maximum	26,216
Mean	2,093
90% CI	± 0,00346
Mode	1,966
Median	2,001
Std Dev	0,659
Skewness	1,8715
Kurtosis	26,9549
Values	98102
Errors	0
Filtered	0
Left X	1,23
Left P	5,0%
Right X	3,25
Right P	95,0%
Dif. X	2,026
Dif. P	90,0%

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

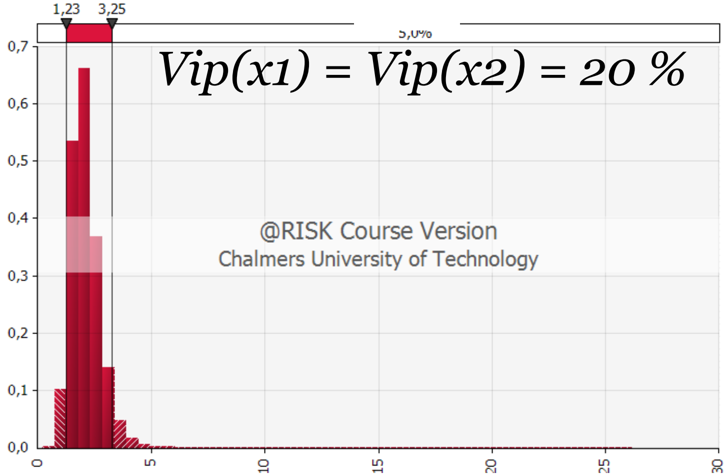
Antag x1 och x2 Normalfördelade

Vilken typ av fördelning är då:

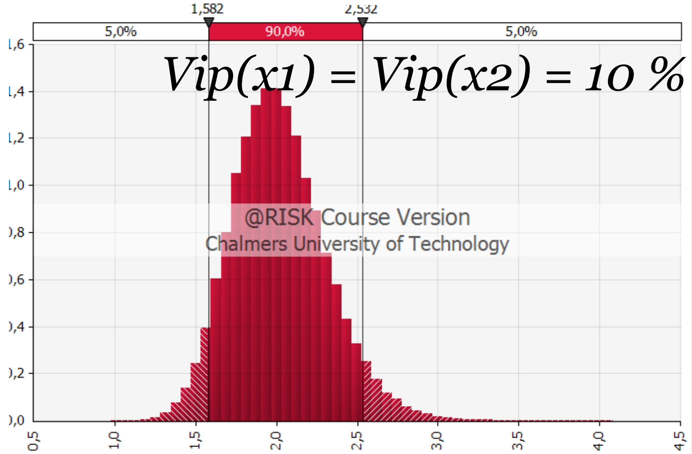
$x1 + x2$

$x1 \cdot x2$

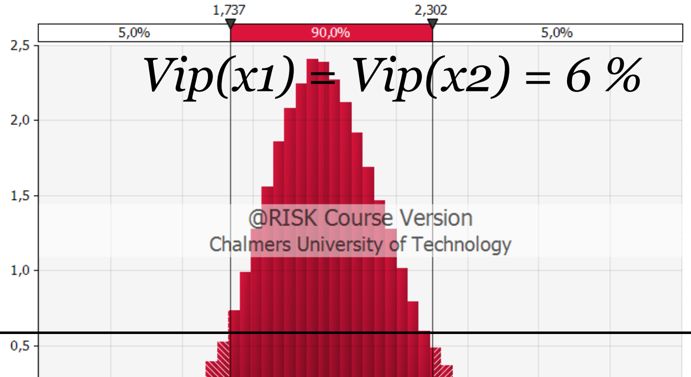
$x2 / x1$



Statistics Grid	F=x1 / x2
Cell	Sheet1!G4
Minimum	0,183
Maximum	26,216
Mean	2,093
90% CI	± 0,00346
Mode	1,966
Median	2,001
Std Dev	0,659
Skewness	1,8715
Kurtosis	26,9549
Values	98102
Errors	0
Filtered	0
Left X	1,23
Left P	5,0%
Right X	3,25
Right P	95,0%
Dif. X	2,026
Dif. P	90,0%



Statistics Grid	F=x1 / x2
Cell	Sheet1!G4
Minimum	0,9728
Maximum	4,0851
Mean	2,0207
90% CI	± 0,00152
Mode	1,9683
Median	1,9995
Std Dev	0,2913
Skewness	0,4550
Kurtosis	3,4640
Values	100000
Errors	0
Filtered	0
Left X	1,582
Left P	5,0%
Right X	2,532
Right P	95,0%
Dif. X	0,9502
Dif. P	90,0%
1%	1,4253



Statistics Grid	F=x1 / x2
Cell	Sheet1!G4
Minimum	1,3541
Maximum	2,9243
Mean	2,0073
90% CI	± 0,000892
Mode	1,9558
Median	1,9994
Std Dev	0,1714
Skewness	0,2627
Kurtosis	3,1698
Values	100000
Errors	0
Filtered	0
Left X	1,737
Left P	5,0%
Right X	2,302

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Antag x1 och x2 Normalfördelade

Vilken typ av fördelning är då:

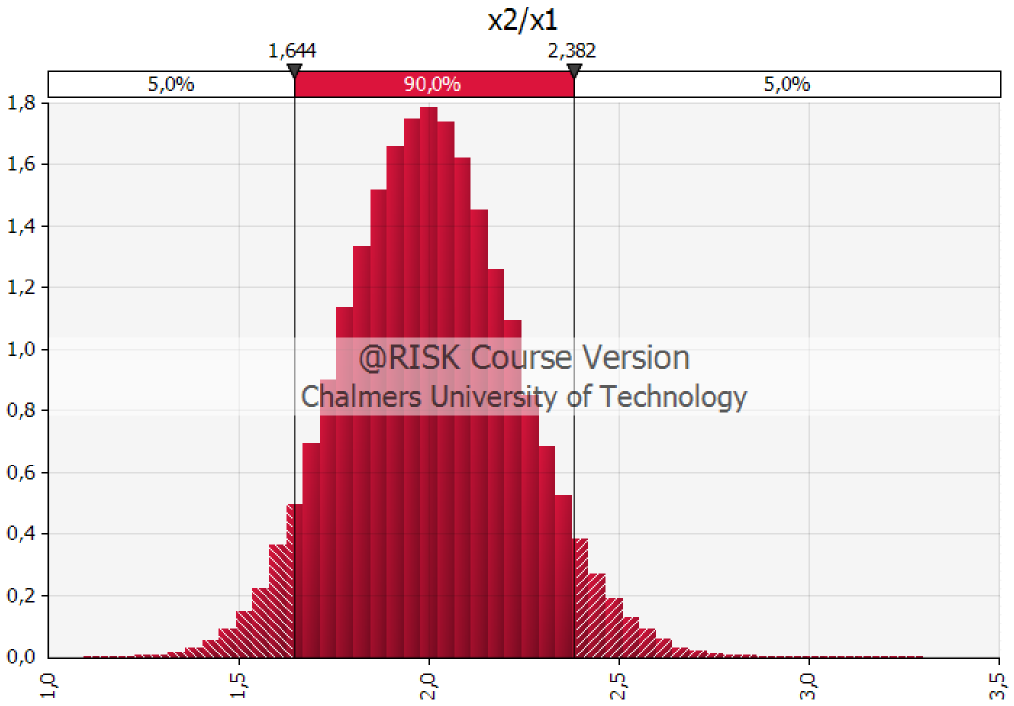
Vip(x2) = 10 %

Vip(x1) = 5 %

x1 + x2

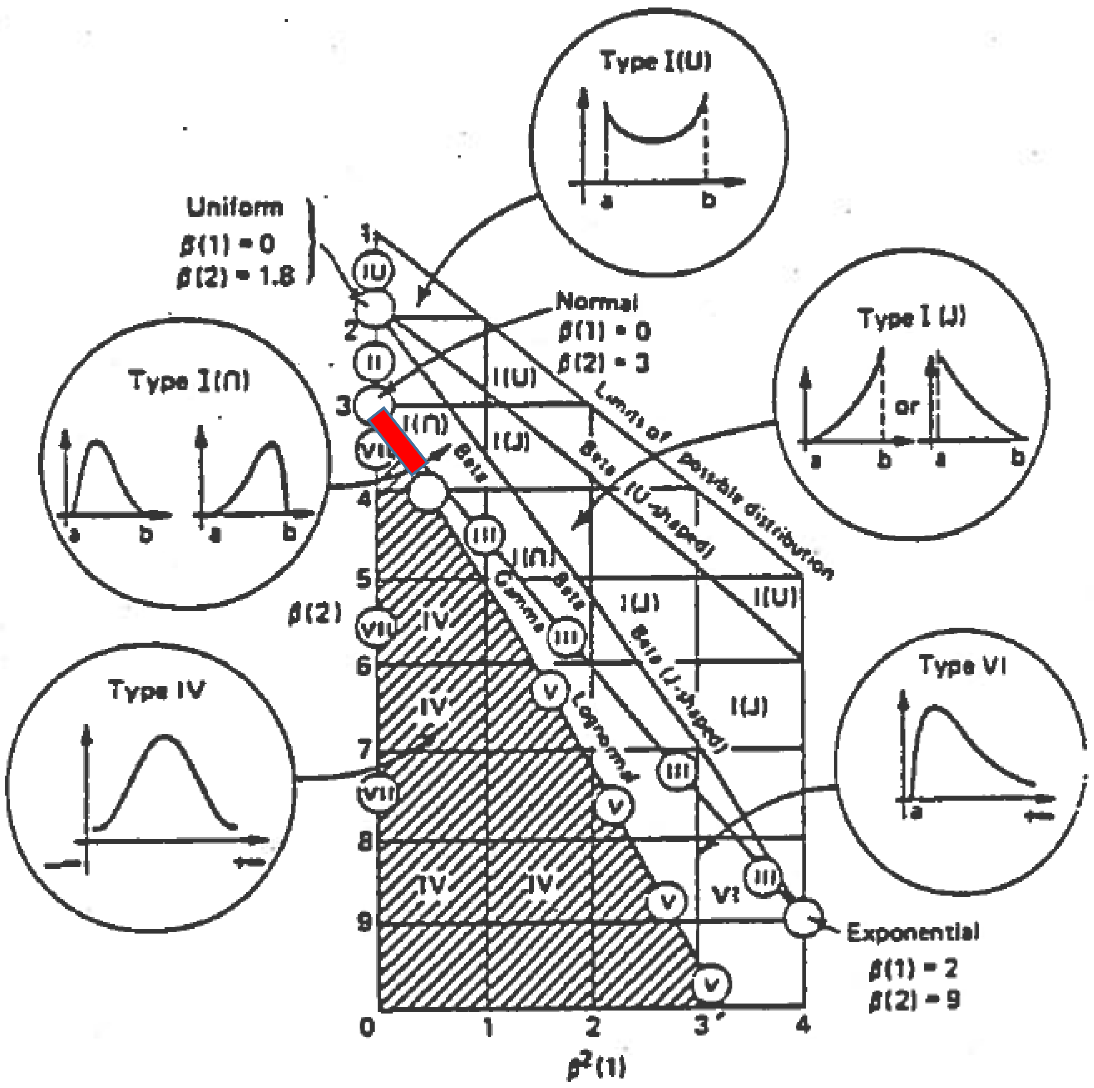
x1 · x2

x2 / x1



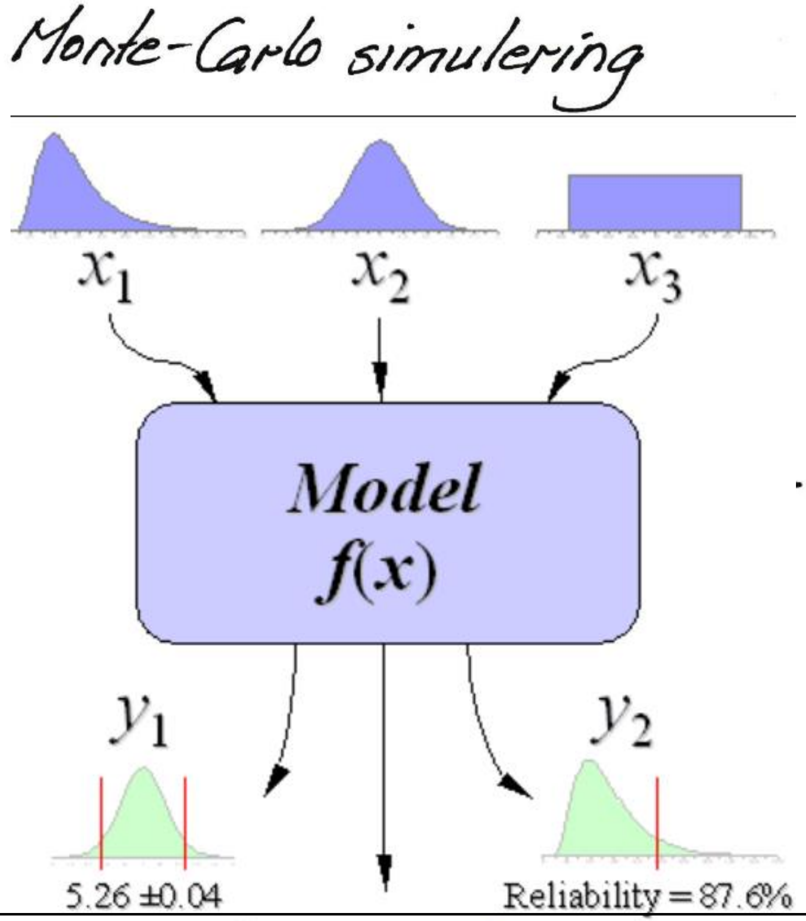
Statistics Grid	x2/x1
Cell	Sheet1!G4
Minimum	1,0932
Maximum	3,3063
Mean	2,0050
90% CI	± 0,00117
Mode	1,9807
Median	2,0004
Std Dev	0,2248
Skewness	0,1295
Kurtosis	3,0425
Values	100000
Errors	0
Filtered	0
Left X	1,644
Left P	5,0%
Right X	2,382
Right P	95,0%
Dif. X	0,7385
Dif. P	90,0%

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

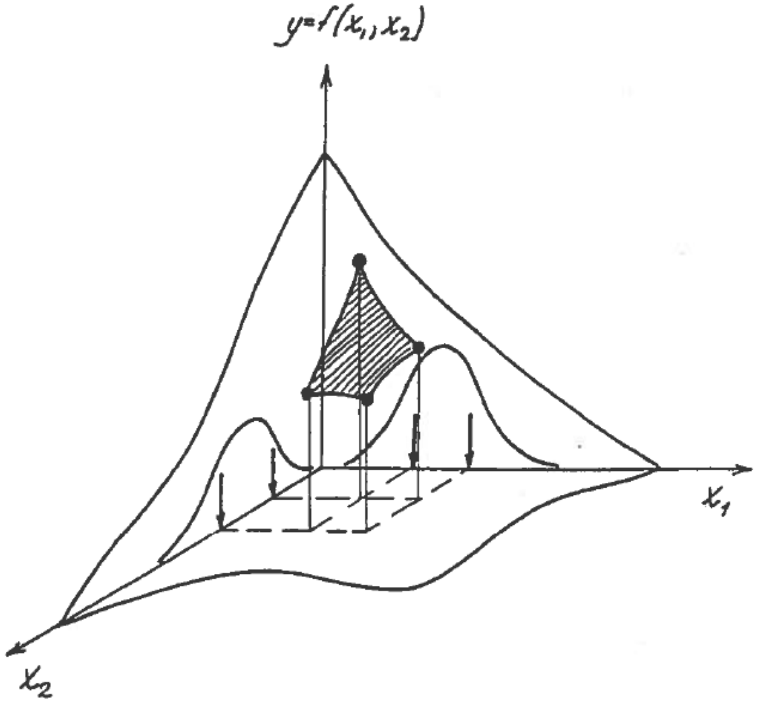


Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

@Risk



- Punktskattningsmetoden, PEM



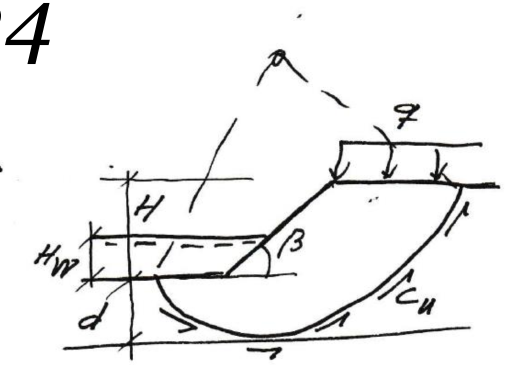
Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Jämförelse mellan

Monte Carlo Simulering - PEM

$$F = 1{,}24$$

$$F_c = N_c \frac{c_u}{\frac{\gamma H - \gamma_w H_w + q}{\mu_q \mu_w}}$$



Bägge ger

$$\bar{F} = 1{,}23 \text{ à } 1{,}25$$

	Vip
$N_o = 6$	2
$c_u = 20$ kPa	4 – 10
$H = 7$ m	3
$H_w = 1{,}5$ m	-
$\gamma = 16$ kN/m³	1

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

28

Jämförelse mellan

Monte Carlo Simulering - PEM

	P(brott i %)						
	Vip(c_{u}, %)	4	5	6	7	8	10
Monte Carlo	@Risk	0,04	0,10	0,3	0,7	1,3	3,5
PEM	Normal	0,04	0,15	0,42	0,90	1,6	3,8
PEM	Lognormal	0,012	0,06	0,19	0,49	1,0	2,8

OBS! P(brott) i %

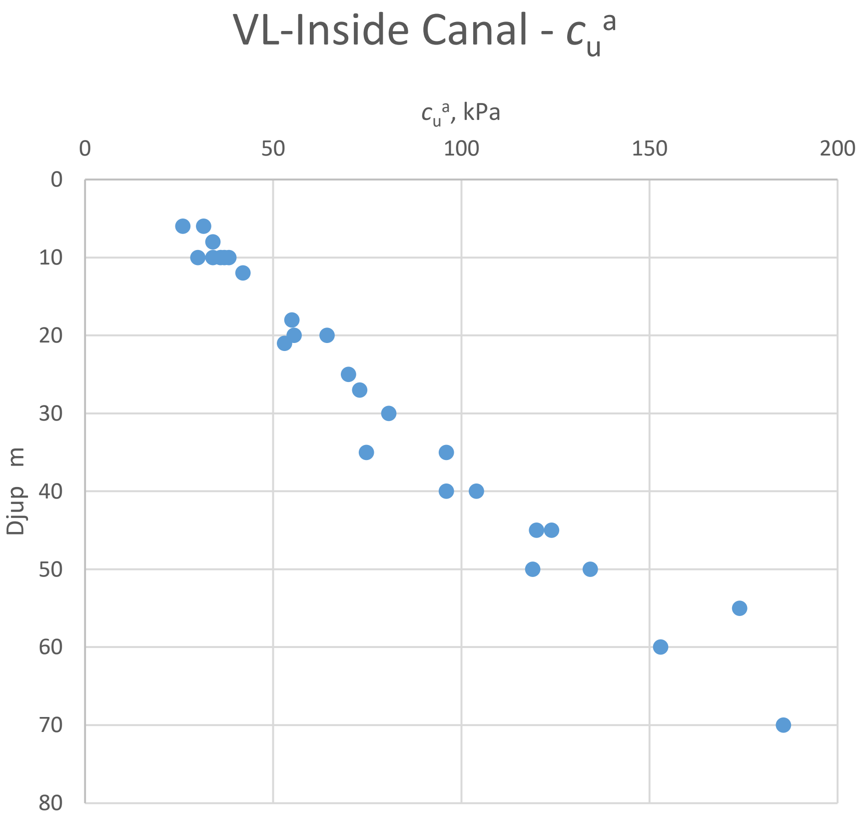
Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

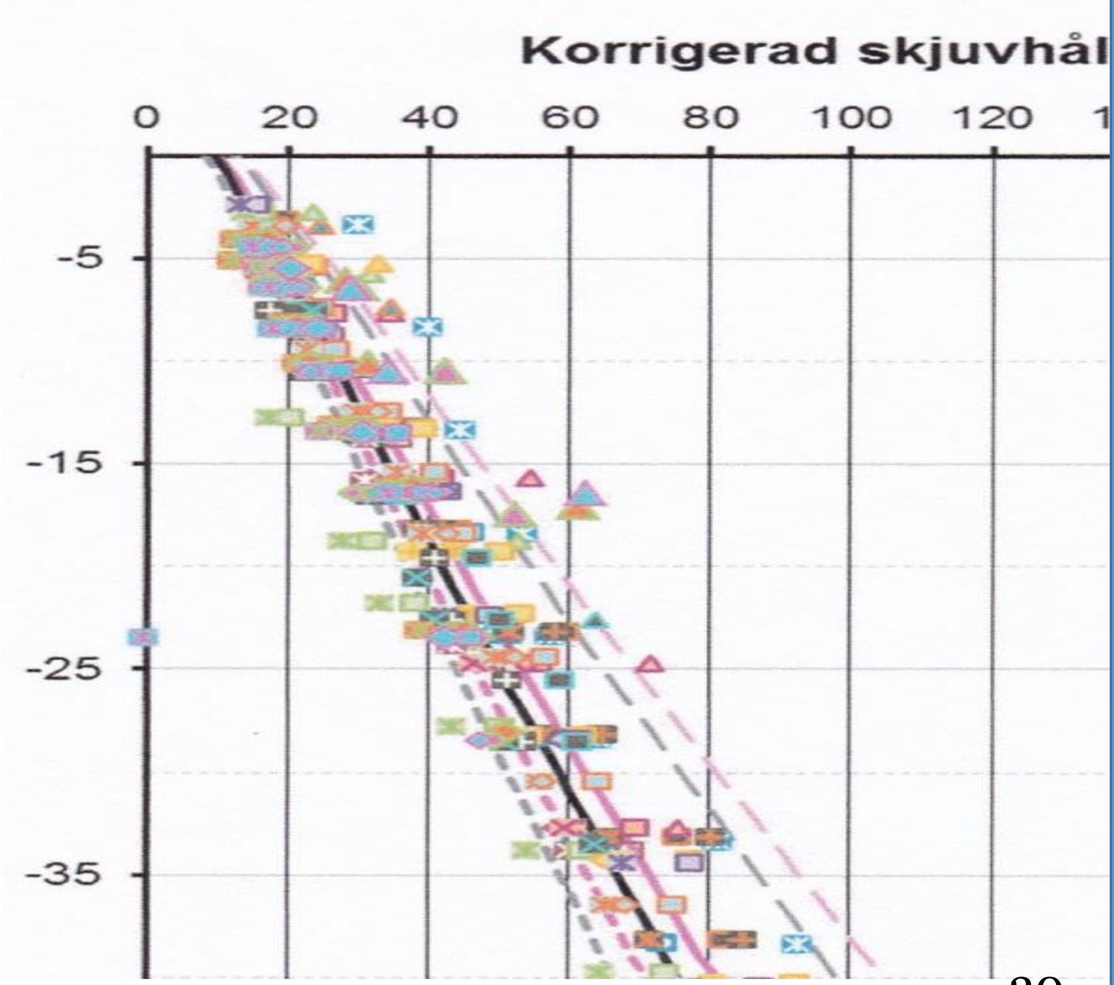
Vad är då

Variationskoefficienten ?

Hur ser det ut i våra undersökningar?

$Vip(c_u^{vinge}) = 15 \text{ à } 20\ \%$





30

- *Exempel på uppmätta Vip (c_u^a c_u^{DS} c_u^p)*

Karlatornet:

$cua = 8 + 2{,}65\,z$

Std.dev 2,9 kPa
Vip(cu) 3,3 %

$cuDS = 7 + 1{,}7\,z$

Std.dev 2,2 kPa
Vip(cu) 3,7 %

s'c = 36 + 7,9 z

Std.dev 19,4 kPa
Vip(cu) 10,1 %

Lilla Bommen:

$cua = 18 + 2{,}7\,z$

Std.dev 4,6 kPa
Vip(cu) 5,3 %

s'c = 36 + 7,6 z

Std.dev 7,81 kPa
Vip(s'c) 4,40%

Storvreta
(Uppsala)

$cuDS = 9 + 1{,}9\,z$

Std.dev 2,4 kPa
Vip(cu) 8,9 %

Inside Canal(Gbg)

$cuA = 11{,}5 + 2{,}37\,z$

Std.dev 4,9 kPa
Vip(cu) 7,8 %

$cuDS = 6{,}3 + 1{,}76\,z$

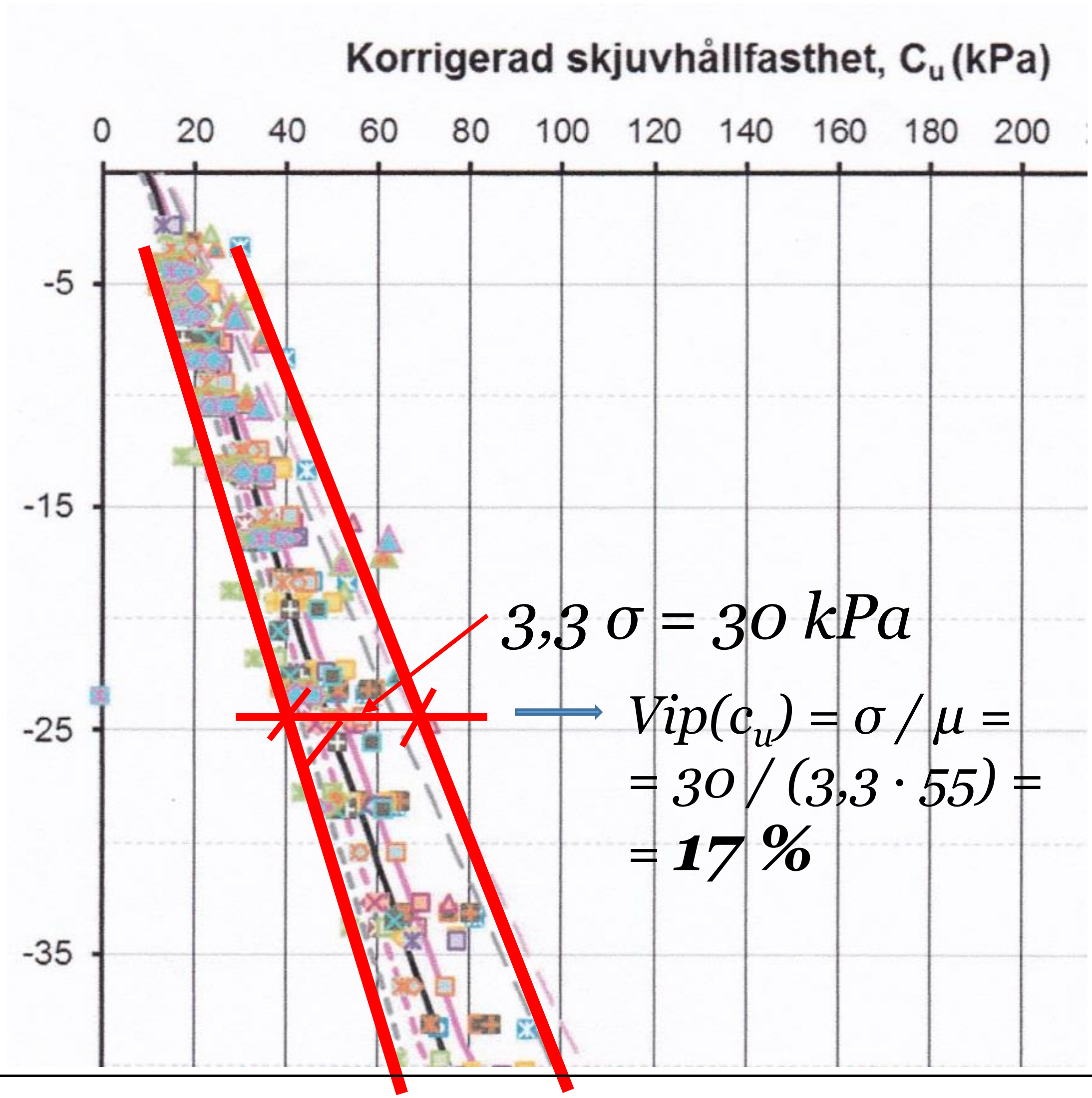
Std.dev 6,2 kPa
Vip(cu) 8,4 %

$s'\,CRS = 31 + 8{,}7\,z$

Std.dev 24,8 kPa
Vip(cu) 8,6 %

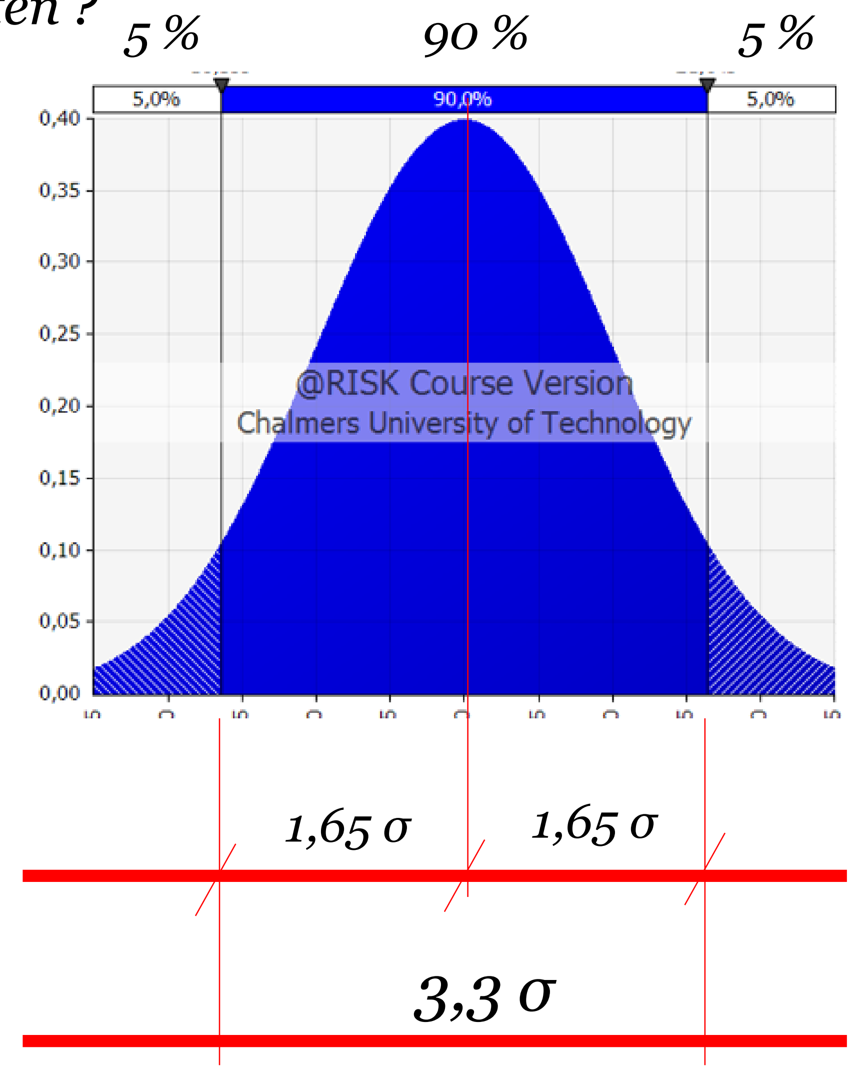
Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Hur kan jag bestämma
Variationskoefficienten ?



3,3 σ = 30 kPa

$Vip(c_u) = \sigma / \mu =$
$= 30 / (3{,}3 \cdot 55) =$
$=$ ***17 %***



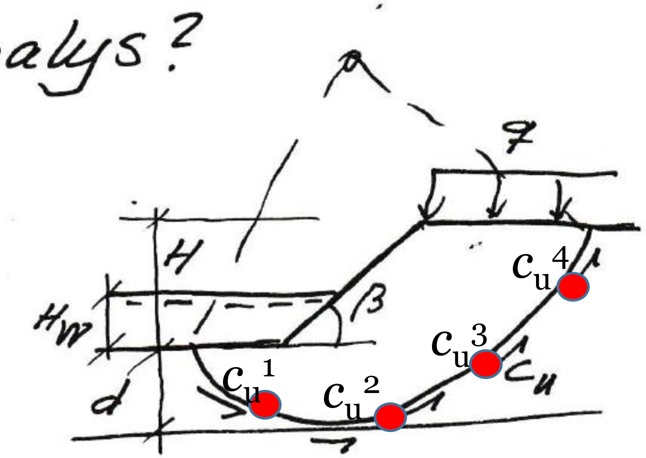
Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Inverkan av

Variansreduktion

Vilka parametrar dominerar
F i en stabilitetsanalys?

$$F_c = N_c \frac{c_u}{\frac{\gamma H - \gamma_w H_w + q}{\mu_q \mu_w}}$$



Korrelationsmatris

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} \qquad \begin{matrix} 1 & 0{,}75 & 0{,}5 & 0{,}25 \\ 0{,}75 & 1 & 0{,}75 & 0{,}5 \\ 0{,}5 & 0{,}75 & 1 & 0{,}75 \\ 0{,}25 & 0{,}5 & 0{,}75 & 1 \end{matrix} \quad \bullet\bullet\bullet \quad \bullet\bullet\bullet \quad \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

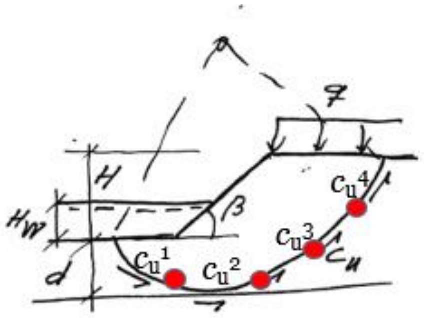
- *Variansreduktion, F = 1,24*

	1	2	3	4	5	6	7	Vip(cu), %
P(brott)	1,20E-04	2,90E-03	8,70E-03	1,45E-02	2,13E-02	2,88E-02	3,70E-02	12
β =	3,68	2,76	2,38	2,18	2,03	1,9	1,79	
Vip(F)	6	8	9,2	10	10,7	11,4	12,10	
P(brott)	4,80E-06	4,30E-04	2,00E-03	4,10E-03	7,00E-03	1,06E-02	1,48E-02	10
β =	4,43	3,33	2,87	2,64	2,46	2,3	2,17	
Vip(F)	5	6,6	7,7	8,3	8,9	9,5	10,00	
P(brott)	1,40E-08	1,40E-05	1,50E-04	4,40E-04	1,00E-03	1,90E-03	3,00E-03	8
β =	5,55	4,18	3,61	3,32	3,09	2,9	2,74	
Vip(F)	4	5,3	6,1	6,6	7,1	7,6	8,00	
P(brott)	1,10E-10	8,40E-07	1,70E-05	7,00E-05	1,95E-04	4,34E-04	8,20E-04	7
β =	6,35	4,79	4,14	3,81	3,55	3,34	3,15	
Vip(F)	3,5	4,6	5,4	5.8	6,2	6,6	7,00	
P(brott)	6,00E-14	1,10E-08	6,00E-07	4,20E-06	2,00E-05	5,00E-05	1,10E-04	6
β =	7,42	5,6	4,84	4,46	4,15	3,9	3,69	
Vip(F)	3	4	4,6	5	5,3	5,7	6,00	

$$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \quad \cdots \quad \cdots \quad \begin{matrix} 1 & 0,75 & 0,5 & 0,25 \\ 0,75 & 1 & 0,75 & 0,5 \\ 0,5 & 0,75 & 1 & 0,75 \\ 0,25 & 0,5 & 0,75 & 1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix}$$

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

34



Krav: P(brott) < $1 \cdot 10^{-6}$

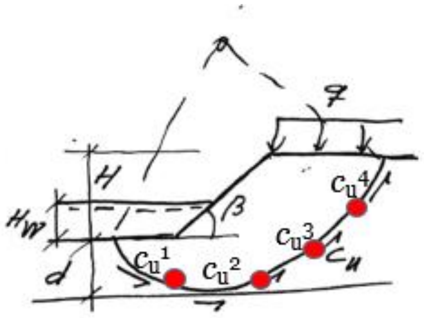
Krav $F_c > 1{,}5$

$F_{komb} > 1{,}35$

?

	$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix}$
Vip(c_u) = 12 %		
1,24	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	$3{,}7 \cdot 10^{-2}$
1,37	$8{,}3 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-3}$
1,5	$1{,}3 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Vip(c_u) = 10 %		
1,24	$4{,}8 \cdot 10^{-6}$	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$
1,37	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	$9{,}3 \cdot 10^{-4}$
1,5	$5{,}6 \cdot 10^{-16}$	$3{,}6 \cdot 10^{-5}$
Vip(c_u) = 8 %		
1,24	$1{,}4 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-3}$
1,37	$1{,}5 \cdot 10^{-15}$	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$
1,5	$5{,}2 \cdot 10^{-24}$	$3 \cdot 10^{-7}$
Vip(c_u) = 6 %		
1,24	$1{,}2 \cdot 10^{-14}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
1,37	$3 \cdot 10^{-26}$	$7{,}7 \cdot 10^{-8}$
1,5	$3 \cdot 10^{-41}$	$1{,}2 \cdot 10^{-11}$

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB



	$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix}$
Vip(c_u) = 12 %		
1,24	$1{,}2\cdot10^{-4}$	$3{,}7\cdot10^{-2}$
1,37	$8{,}3\cdot10^{-8}$	$5\cdot10^{-3}$
1,5	$1{,}3\cdot10^{-11}$	$5\cdot10^{-4}$
Vip(c_u) = 10 %		
1,24	$4{,}8\cdot10^{-6}$	$1{,}6\cdot10^{-2}$
1,37	$1{,}5\cdot10^{-10}$	$9{,}3\cdot10^{-4}$
1,5	$5{,}6\cdot10^{-16}$	$3{,}6\cdot10^{-5}$
Vip(c_u) = 8 %		
1,24	$1{,}4\cdot10^{-8}$	$3\cdot10^{-3}$
1,37	$1{,}5\cdot10^{-15}$	$4{,}5\cdot10^{-5}$
1,5	$5{,}2\cdot10^{-24}$	$3\cdot10^{-7}$
Vip(c_u) = 6 %		
1,24	$1{,}2\cdot10^{-14}$	$1{,}1\cdot10^{-4}$
1,37	$3\cdot10^{-26}$	$7{,}7\cdot10^{-8}$
1,5	$3\cdot10^{-41}$	$1{,}2\cdot10^{-11}$

Krav: P(brott) < $1 \cdot 10^{-6}$

Krav $F_c > 1{,}5$

$F_{komb} > 1{,}35$

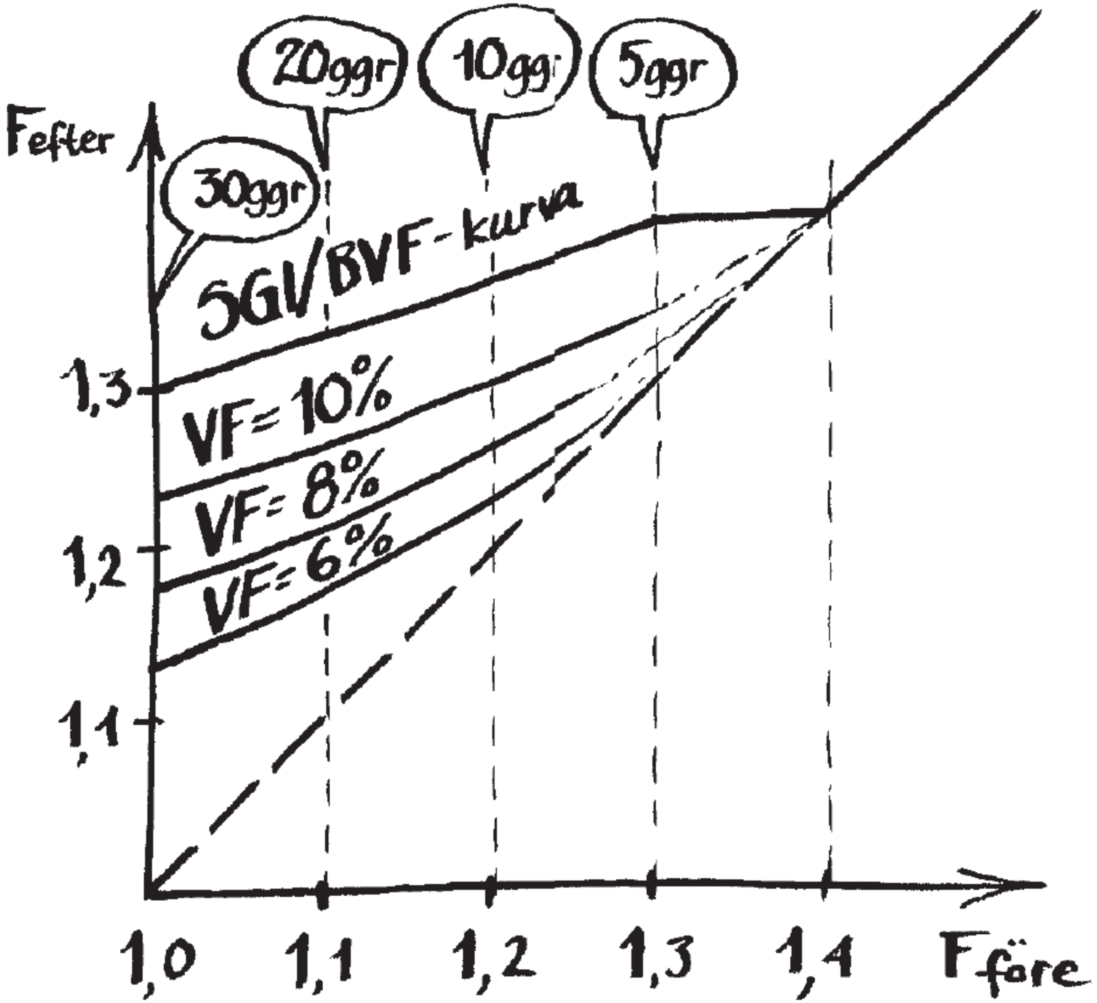
?

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

Statistik för Geotekniker

IVA Skredkommission

Rapport 2:96



Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

- *Simulera*
    - *Monte Carlo*
    - *PEM*
- *Variationskoefficient*

- *Variansreduktion*

- F_c *och* F_{komb} *eller P(brott)*

Göran Sällfors
Chalmers/
GeoForce AB

38