



Brand & Riskingenjörerna AB

**STRANDÄNGEN**

**JÖNKÖPING**

**FÖRDJUPAD RISKANALYS**

**BILAGA 3**

**KONSEKVENSBERÄKNINGAR**

**2011-11-22**

Version 2

**Fredrik Carlsson**  
fredrik.carlsson@briab.se  
08-410 102 64

**Peter Nilsson**  
peter.nilsson@briab.se  
08-410 102 59

---

**Briab - Brand & Riskingenjörerna AB**

Rosenlundsgatan 60  
118 63 Stockholm  
www.briab.se

Telefon: 08-410 102 50  
Fax: 08-30 87 60

Org.nr: 556630-7657  
Innehar F-skattebevis

## KONSEKVENSBERÄKNINGAR

I denna bilaga presenteras de konsekvensberäkningar som har genomförts för de olycksscenarioer som bedömts vara kritiska och underkastats en fördjupad analys. Resultatet från beräkningarna återfinns i den fördjupade riskanalysen.

### Förutsättningar

Vid beräkningar har följande antaganden gjorts:

- Resultaten gäller endast personer i vinstandes inom det aktuella området.
- För att få ett robust resultat har riskavståndet beräknats för 50 % respektive 95 % av alla samtliga fall (utifrån 10 000 iterationer).

Nedan presenteras mer ingående hur beräkningsförfarandet har genomförts för de aktuella olycksscenarioerna.

### Explosiva ämnen

Beräkning av tryck och impulstäthet utförs enligt metodik från FOA, (FOA, 1998).

#### Beräkning av laddningsvikten

$$m_{laddning} = k * m$$

där

$m_{laddning}$  laddningsvikt, [kg]

$k$  konstant beroende på spegling av trycket, [-] (värdet 1,8 nyttjas vid explosion i marknivå)

$m$  vikt, [kg]

#### Skalat avstånd

$$r_{skalat} = \frac{r}{m_{laddning}^{1/3}}$$

där

$r_{skalat}$  skalat avstånd, [-]

$r$  avstånd mellan laddning och byggnad, [m]

$m_{laddning}$  laddningsvikt, [kg]

Med hjälp av Figur 1 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.

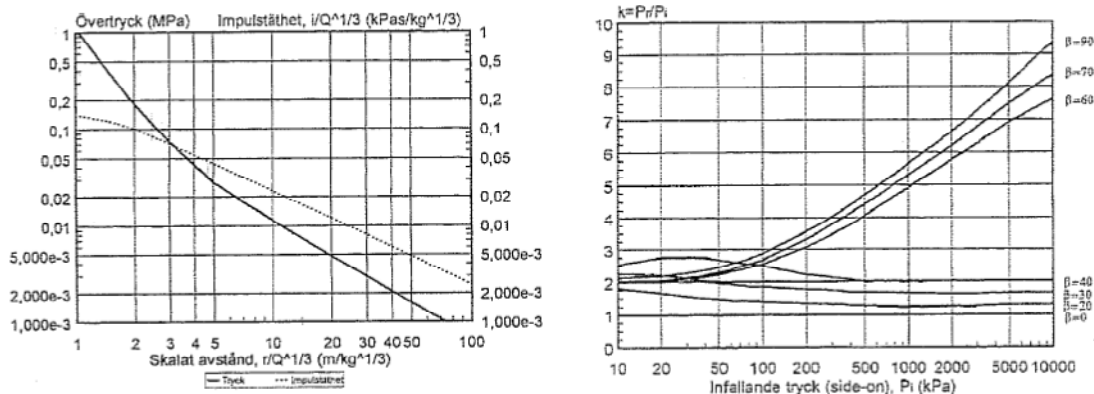
Med hjälp av infallande tryck kan det reflekterande trycket beräknas enligt:

$$\frac{I_c}{I_+} + \frac{P_c}{P_+} < 1$$

där:

$I_c$  &  $P_c$  karakteristiska värden för en viss byggnadstyp.

$I_+$  &  $P_+$  konstanter, [-] hämtas från Figur 1.



Figur 1 – maximalt övertryck och impulstäthet respektive kvot mellan reflekterat och infallande tryck, (FOA, 1998).

Som dimensionerande acceptanskriterium nyttjas 180 kPa för direkt dödliga skador (utomhus) och för kollaps nyttjas 40 kPa som grundar sig på att den planerade bebyggelsen antas motsvara nyare betongbyggnader.

### Tryck och impuls enligt deterministisk modell

Som nyansering till beräknade värden utifrån ett probabilistiskt angreppssätt presenteras nedan tryck och impulsnivåer utifrån deterministiska scenarion. I Tabell 1 och Tabell 2 presenteras tryck och impulser som uppstår vid explosion av 500 kg respektive 1 ton trotyl (dynamit).

Tabell 1 - tryck och impulstäthet på olika avstånd från spårmittpunkt vid 500 kg trotyl.

Avstånd från spårmittpunkt, [m]	Tryck, [kPa]	Impulstäthet, [kPa*s]
5	10 000	100
10	5 000	95
15	3 000	80
20	1 000	70
25	600	60
30	300	40
40	150	20
50	85	10
60	70	<10
100	50	-

Tabell 2 - tryck och impulstäthet på olika avstånd från spårmittpunkt vid 1 ton trotyl.

Avstånd från spårmittpunkt, [m]	Tryck, [kPa]	Impulstäthet, [kPa*s]
5	10 000	100
10	5 000	95
15	4 000	85
20	2 000	75
25	1 000	70
30	500	50
40	250	30
50	100	15
60	80	10
100	60	<10

## Tryckkondenserade brandfarliga gaser

Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna konsekvensområde för en jetflamma, fördröjd antändning och BLEVE presenteras nedan. Referensämne är gasol.

<b>Konsekvensberäkning - Tryckkondenserade brandfarliga gaser</b>			
Nedans redovisas indata, vald beräkningsmodell och gjorda antaganden för konsekvenserna Jetflamma, Fördröjd antändning och BLEVE.			
<b>1.1 Indata - Källstyrka</b>			
$Q_c = C_d \cdot A \cdot (2 \cdot \frac{P_0 - P_a}{\rho_f})^{0,5}$			
Qt	massflöde [kg]	23,9	
Cd	Flödeskoefficient [-]	0,725	RiskUniform(0,6;0,85)
			RiskCumul(0,00008;0,008;{0,00008}0,002\0,008;{0,625\0,833\1})
A	Hålarea [m <sup>2</sup> ]	0,0011	
P0	Tryck i tanken [Pa]	840997,5	
Pa	Atmosfärstryck [Pa]	101325	
v	Specifik volym i vätskefas [m <sup>3</sup> /kg]	0,0016529	
Referens: 1. Fischer S., et al (FOA) (1998) 2. Nystedt, Ösa, riktlinjer för riktsam, Riktlinjer i samhällsplaneringen			
<b>1.2 Indata - Kritisk strålningsnivå (probit)</b>			
$Pr = a + b \cdot \ln(t \cdot q^2)$			
q	Kritisk strålningsintensitet [W/m <sup>2</sup> ]	21513	
Pr	probitvärde (50 % död) [-]	5,00	
a	konstant [-]	-36,38	
b	konstant [-]	2,56	
t	exponeringstid [s]	17,50	RiskUniform(5;30)
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)			
<b>2.1 Jetflamma - Riskavstånd</b>			
nedan.			
$R_{s,50} = 1,9 \cdot t^{0,4} \cdot Q_c^{0,47}$			
Rs,50	Riskavstånd [m]	26,53	
Qt	Utsläppshastighet [kg/s]	23,9	
t	Exponeringstid [t]	17,5	RiskUniform(5;30)
Referens: 1. Nystedt, Ösa, riktlinjer för riktsam, Riktlinjer i samhällsplaneringen 2. Brandteknik LTH, Formelsamling i kursen Konsekvensberäkningar			
<b>2.2 Jetflamma - Resultat</b>			
Avstånd mellan väg och undersökt punkt (m)	50,0		
Riskavstånd (död 50%) [m]	26,5		
Väntevärde (Skyddsavstånd-kritisk nivå)	23,5		
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)	8,8%		

### 3.1 Fördröjd antändning - Rörelsemängd

Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna konsekvensområde för fördröjd antändning presenteras nedan. Referensämne vid beräkningarna är gasol.

$$F = \frac{Q^2 \cdot v_f \cdot L}{C_d \cdot A}$$

<b>F</b>	rörelsemängd [N]	1181,2
<b>Q</b>	källstyrka [kg/s]	23,9
<b>Cd</b>	Flödeskoefficient [-]	0,725
<b>A</b>	Hålarea [m <sup>2</sup> ]	0,0011013
<b>v<sub>f</sub></b>	Specifik volym i vätskefas [m <sup>3</sup> /kg]	0,0016529

Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)

### 3.2 Fördröjd antändning - Avstånd till brännbar koncentration

$$x = \frac{0,79 \cdot Q}{\sqrt{\rho_a \cdot F \cdot Y}}$$

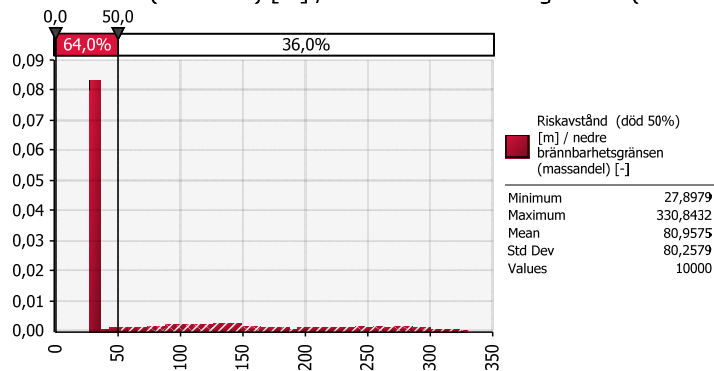
<b>x</b>	avstånd till brännb. konc [m]	113,78231
<b>Q</b>	källstyrka [kg/s]	23,89
<b>ρ<sub>a</sub></b>	densitet, luft [kg/m <sup>3</sup> ]	1,29
<b>F</b>	rörelsemängd [N]	1181
<b>Y</b>	nedre brännbarhetsgränsen (massandel) [-]	3,2%

Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)

### 3.3 Fördröjd antändning - Resultat

Avstånd mellan väg och undersökt punkt (m)	50,0
Riskavstånd (död 50%) [m]	113,8
Väntevärde (Skyddsavstånd-kritisk nivå)	-63,8
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)	36%

Riskavstånd (död 50%) [m] / nedre brännbarhetsgränsen (mass...)



## Giftig gas

### Konsekvensberäkning - Utsläpp av giftig tryckkondenserad giftig gas

I denna riskanalys representerar klor och ammoniak samtliga scenarier med giftig gas. Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna spridningen. Beräkningarna är grundade på Gaussisk spridningsmodell. Antagen stabilitet i atmosfären är neutral.

Antagen stabilitet i atmosfären är svagt instabil.

#### 1. Giftig gas - Källstyrka

$$Q_c = C_d * A * \sqrt{\frac{2 * (P_0 - P_a)}{\rho_f}}$$

Qt	massflöde [kg]	34,6	
Cd	Flödeskoefficient [-]	0,725	RiskUniform(0,6;0,85)
A	Hålarea [m2]	0,0011	RiskCumul(0,00008;0,008;{0,00008\0,002\0,008};{0,625\0,833\1})
P0	Tryck i tanken [Pa]	689010	
Pa	Atmosfärstryck [Pa]	101325	
ρf	Specifik volym i vätskefas [m3/kg]	0,000625	

#### 2. Giftig gas - Dragkraft

$$F = \frac{Q^2 * \rho_f}{C_d^2 * A}$$

F	Dragkraft [N]	938,5	X (x,0,0)
Q	massflöde [kg]	34,6	Q
ρf	Specifik volym i vätskefas [m3/kg]	0,001	σy
Cd	Flödeskoefficient [-]	0,725	σx
A	Hålarea [m2]	0,001	u

#### 3. Giftig gas - Övergångsradie

$$R(x_{tr}) = 1,497 * \frac{\sqrt{F - Q * u_w}}{u_w * \sqrt{\rho_a}}$$

R (xtr)	övergångsradie [-]	11,1	
Q	massflöde [kg]	34,6	
F	dragkraft [N]	938	
Uw	vindhastighet [m/s]	3,4	RiskNormal(3,4;0,2)
ρa	luftens densitet [kg/m3]	1,29	

#### 4. Giftig gas - Initiala standardavvikelser

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44 * R(x_{tr})$$

σy0, σz0	initiala standardavvikelser [-]	4,887	
R (xtr)	övergångsradie [-]	11,106	

5.1 Giftig gas - Dispersionskoefficienter		
$\sigma_y = \frac{a_y + (x+x_{y0})}{(1+b_y(x+x_{y0}))^{1/2}} * K_{rp} * K_{yt} \text{ respektive } \sigma_y = \frac{a_z + (x+x_{z0})}{(1+b_z(x+x_{z0}))^{1/2}} * K_{rp}$		
$\sigma_y$	Dispersionskoefficient	15,64
$a_y$	stabilitetskoefficienter [-]	0,22
$b_y$	stabilitetskoefficienter [-]	0,0004
$Y_y$	stabilitetskoefficienter [-]	0,5
$K_{rp}$	korrektionsfaktor [-]	1
$K_{yt}$	korrektionsfaktor [-]	1
$x$	avstånd från källan [m]	50
$x_{y0}$	avstånd till virtuell källa [-]	22,13
5.2 Giftig gas - Dispersionskoefficienter		
$\sigma_z = \frac{a_z + (x+x_{z0})}{(1+b_z(x+x_{z0}))^{1/2}} * K_{rp} * K_{yt} \text{ respektive } \sigma_y = \frac{a_y + (x+x_{y0})}{(1+b_y(x+x_{y0}))^{1/2}} * K_{rp}$		
$\sigma_z$	Dispersionskoefficient	14,88659811
$a_z$	stabilitetskoefficienter [-]	0,20
$b_z$	stabilitetskoefficienter [-]	0,00
$Y_z$	stabilitetskoefficienter [-]	0,00
$K_{rp}$	korrektionsfaktor [-]	1,00
$x$	avstånd från källan [m]	50
$x_{z0}$	avstånd till virtuell källa [-]	24
6. Giftig gas - Koncentration på givet avstånd		
$X(x,0,0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u_x}$		
Konc på avståndet x [kg/m <sup>3</sup> ]		0,006960
LC50 klor		0,00043
Värde överstigandes LC 50		0,006530
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)		100,0%
<b>Percentil</b>	<b>Avstånd</b>	
<b>50</b>		<b>270</b>
<b>95</b>		<b>960</b>

## Brandfarlig vätska

Ett utsläpp av brandfarlig vätska har i beräkningarna förutsatts ske 20 meter från spårmit i riktning mot planområdet. Detta för att på ett konservativt sätt ta hänsyn till att ett utsläpp kan rinna mot planområdet.

Konsekvensberäkning - Brandfarlig vätska												
I denna riskanalys representerar <b>bensin</b> samtliga scenarier med brandfarlig vätska. Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna konsekvensområde för en pölbrand presenteras nedan.												
<b>1. Pölbrand - Brandeffekt</b>												
$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta h_c \cdot A_p$												
Q	Brandeffekt [kW]	330481										
m'	Förbämningshatsighet per ytenhet [kg/(sm2)]	0,055										
ΔHc	Effektiv förbränningsvärme [kJ/kg]	43700										
Ap	Pölens area [m2]	138 RiskUniform(25;250)										
Referens: Karlsson, B. & Quintiere, J.G (2000) & Fischer S., et al (FOA) (1998)												
<b>2. Pölbrand - Kritisk strålningsnivå (probit)</b>												
$Pr = a + b \cdot \ln(t \cdot q^2)$												
q	Kritisk strålningsintensitet [W/m2]	21513										
Pr	probitvärde (50 % död) [-]	5,00										
a	konstant [-]	-36,38										
b	konstant [-]	2,56										
t	exponeringstid [s]	17,5 RiskUniform(5;30)										
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)												
<b>3. Pölbrand - Riskavstånd</b>												
$R_{s,50} = \sqrt{\frac{x_r \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot q_c^2}}$												
Rs,50	Riskavstånd (död 50%) [m]	32										
Xr	strålningsandel [-]	0,850 RiskUniform(0,7;1)										
Q	Brandeffekt [KW]	330481										
q	Kritisk strålningsintensitet [KW/m2]	21,5										
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)												
<b>4. Pölbrand - Resultat (kritisk strålningsnivå)</b>												
Avstånd mellan väg och undersökt punkt (m)	50											
Riskavstånd (död 50%) [m]	32,2											
Väntevärde (Skyddsavstånd-kritisk nivå)	17,8											
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)	2,1%											
<p>Riskavstånd (död 50%) vid pölbrand</p> <table border="1"> <tr><td>Minimum</td><td>8,2275</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>56,6931</td></tr> <tr><td>Mean</td><td>30,4530</td></tr> <tr><td>Std Dev</td><td>9,8399</td></tr> <tr><td>Values</td><td>5000</td></tr> </table>			Minimum	8,2275	Maximum	56,6931	Mean	30,4530	Std Dev	9,8399	Values	5000
Minimum	8,2275											
Maximum	56,6931											
Mean	30,4530											
Std Dev	9,8399											
Values	5000											