

**B04-103**

## **Beräkningsexempel för last** **Last från gasexplosion i det fria**

Författare: Morgan Johansson. Ansvarig utgivare: Björn Ekengren.

<b>1 Orientering</b>	<b>1</b>
1.1 Samlingsdokument	1
1.2 Om detta dokument	1
<b>2 Förutsättningar</b>	<b>2</b>
<b>3 Lastbestämning</b>	<b>2</b>
3.1 Ingångsdata	2
3.2 Resultande stötvågsp parametrar	3
3.3 Bestämning av last	5

---

## **1 Orientering**

### **1.1 Samlingsdokument**

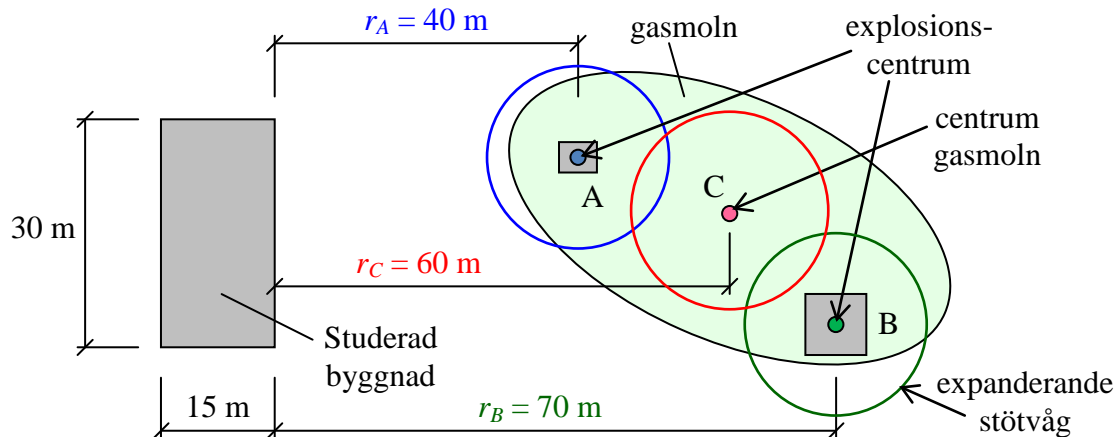
För allmän information om MSB:s kunskapsdokument i serien Beräkning av impulsbelastade konstruktioner, se dokument B01-101. Där ges bland annat övergripande bakgrund, en sammanfattande beteckningslista samt referenser. För en förteckning av utgivna och kommande dokument i serien hänvisas till dokument B01-102.

### **1.2 Om detta dokument**

I detta dokument behandlas ett enklare beräkningsexempel för att belysa hur resulterande last (positiv fas) tas fram för en gasexplosion i det fria. Teoretisk bakgrund för här utförda beräkningar behandlas i Johansson (2013) och en sammanställning av beräkningsanvisningar ges i dokument B02-121.

## 2 Förutsättningar

En gas av mellan hög reaktivitet har läckt ut och täcker in ett område enligt Figur 2.1. Gasmolnet täcker in två områden, område A och B, där en initiering av en kraftig explosion bedöms kunna ske. Laster som verkar mot en närliggande byggnad bestäms.



Figur 2.1 Geometri hos utsläppt gasmoln samt omgivande byggnader. En kraftfull gas-explosion kan initieras i område A och B medan C representerar en svag explosion av resterande gas i molnet. Last mot närliggande byggnad bestäms.

## 3 Lastbestämning

### 3.1 Ingångsdata

För att bestämma den resulterande stötvågens styrka behöver följande indata uppskattas:

- Explosionens energimängd  $E_{gas}$
- Explosionens styrkefaktor  $s$
- Avstånd  $r$  från explosionscentrum till studerad byggnad

Utgående från situationen i Figur 2.1 finns tre potentiella explosionsfall:

- Kraftfull explosion i område A
- Kraftfull explosion i område B
- Ej kraftfull explosion i område C, ej innesluten eller blockerad gasvolym

Nedan behandlas samtliga dessa fall men för explosion i område A visas även värden insatta i använda ekvationer. Presenterade värden baseras på beräkningar med fler värdesiffror än vad som anges i exemplet, varför det kan uppstå en viss skillnad mellan delresultat som visas och de som fås om beräkning utförs med i exemplet angivna siffror.

Avståndet mellan område A och B är sådant att explosionerna i dessa inte bedöms samverka och explosioner från dessa samt område C betraktas därför var och en som en enskild explosion.

### 3.2 Resultande stötvågsp parametrar

Här bestäms de stötvågsp parametrar som verkar vid byggnadens framsida på det kortaste avståndet  $r$  enligt Figur 2.1. Någon inverkan av varierande avstånd till olika delar av byggnaden beaktas inte.

Det utsläppta gasmolnets totala volym uppgår till  $V_{moln} = 2\,000\text{ m}^3$ , varav  $V_A = 60\text{ m}^3$  och  $V_B = 200\text{ m}^3$  inryms i område A respektive B. Gasmolnets förbränningsenergi uppgår till  $E'_{gas} = 3,5\text{ MJ/m}^3$  och av detta kan den resulterande energimängden för respektive explosionsfall bestämmas som

$$E_{gas} = E'_{gas} \cdot V \quad \rightarrow \quad E_{gas,A} = 3,5 \cdot 60 = 210\text{ MJ} \quad (3.1)$$

varvid det energiskalade avståndet  $r'$ , via avståndet  $r$  enligt Figur 2.1, kan bestämmas som

$$r' = r \cdot \left( \frac{P_0}{E_{gas}} \right)^{1/3} \quad \rightarrow \quad r'_A = 40 \cdot \left( \frac{101,3 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^6} \right)^{1/3} = 3,14 \quad (3.2)$$

Vid bestämning av explosionens styrkefaktor är det nödvändigt att bedöma effekt av inneslutning och blockering för respektive område. För studerat fall sammanfattas de aktuella förutsättningarna och val av styrkefaktor  $s$  i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Val av styrkefaktor för studerat fall. Val baseras på riktlinjer enligt dokument B02-121.

Område	Antändningsenergi	Grad av blockering	Inneslutning	Styrkefaktor
A	Låg	Låg	Nej	5
B	Låg	Låg	Nej	5
C	Låg	Ingen	Nej	2 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> I dokument B02-121 ges varierande riktlinjer baserat på gasens reaktivitet. Eftersom denna inte är hög används här en styrkefaktor  $s = 2$ .

Utgående från detta kan ett dimensionslöst övertryck

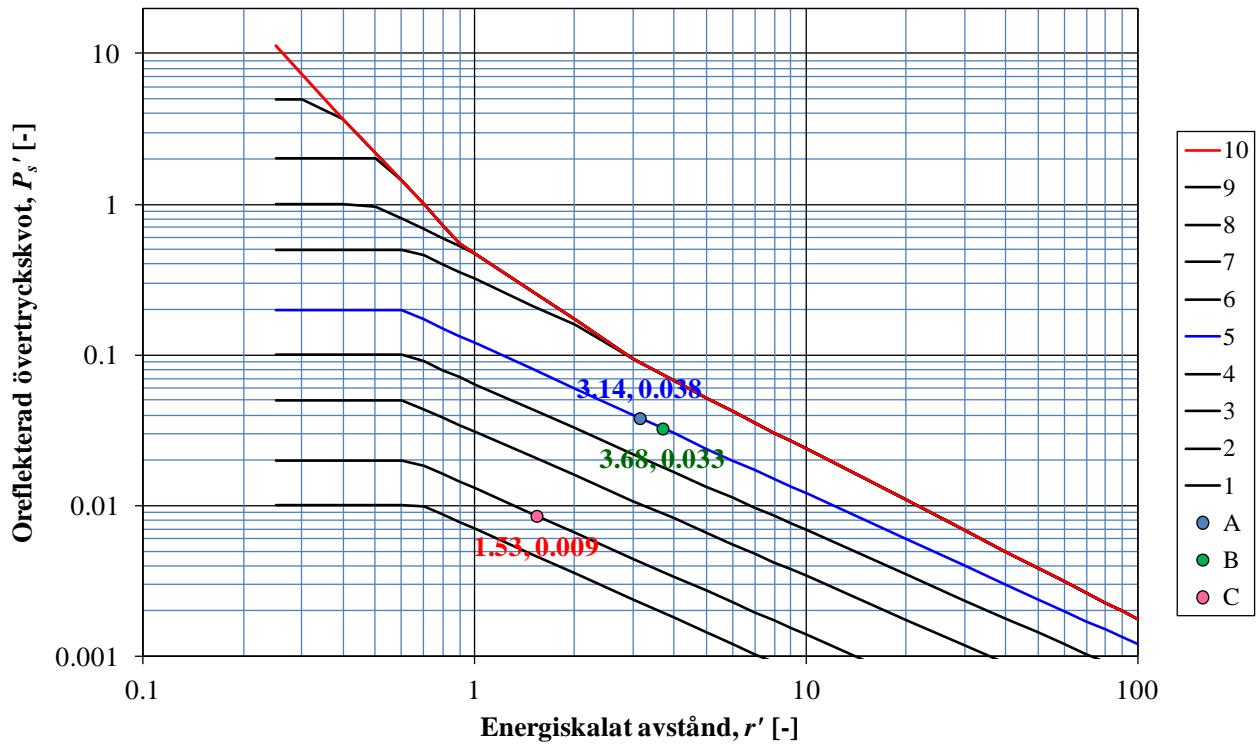
$$P_s' = a \cdot (r_A')^b \quad \rightarrow \quad P_{s,A}' = 0,12 \cdot (r_A')^{-1,00} = 0,12 \cdot 3,14^{-1,00} = 0,038 \quad \text{för } r_A' > 0,60 \quad (3.3)$$

samt dimensionslös energiskalad varaktighet

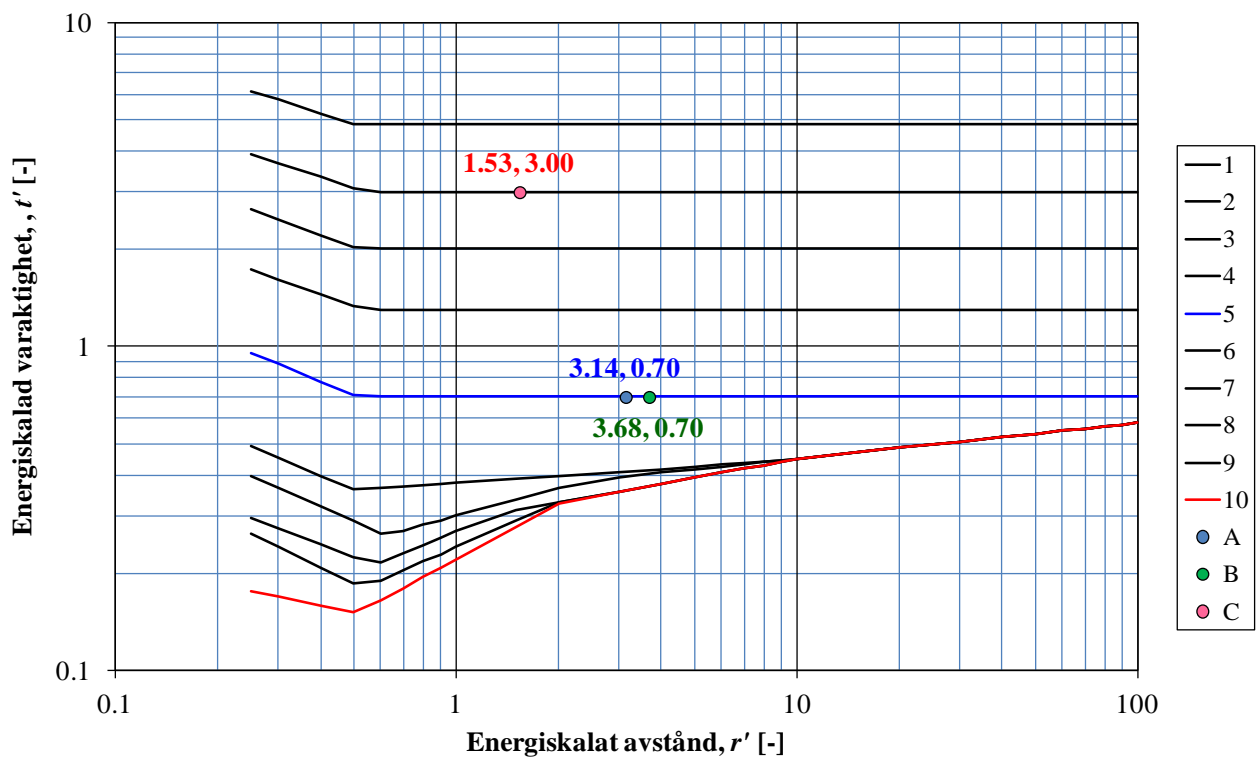
$$t' = c \cdot (r_A')^d \quad \rightarrow \quad t_A' = 0,7 \quad \text{för } r_A' > 0,51 \quad (3.4)$$

bestämmas. Storlek på dimensionslöst övertryck och energiskalad varaktighet för explosionsfall A till C illustreras i Figur 3.1 respektive Figur 3.2 och sammanfattas i Tabell 3.2.

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion



Figur 3.1 Resultande oreflekterad övertryckskvot  $P_s'$  för explosionsfall A-C.



Figur 3.2 Resultande energiskalad varaktighet  $t'$  för explosionsfall A-C.

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Tabell 3.2 Sammanställning av parametrar för gasexplosion enligt Figur 2.1.

Område	V [m <sup>3</sup> ]	E <sub>gas</sub> [MJ]	r [m]	r' [-]	s [-]	P <sub>s</sub> ' [-]	t' [-]
A	60	210	40	3,14	5	0,038	0,70
B	200	700	70	3,68	5	0,033	0,70
C	1 740 <sup>1)</sup>	6 090	60	1,53	2	0,0086	3,00

<sup>1)</sup> Volym för område C utgörs av återstående gasvolym och bestäms som:  $V_C = V_{moln} - V_A - V_B$ .

### 3.3 Bestämning av last

Från de dimensionslösa parametrarna  $P_s'$  och  $t'$  i Tabell 3.2 kan nu aktuella övertryck och varaktigheter bestämmas. Det oreflekterade övertrycket fås av

$$P_s^+ = P_s' \cdot P_0 \quad \rightarrow \quad P_{s,A}^+ = 0,038 \cdot 101,3 = 3,9 \text{ kPa} \quad (3.5)$$

och den oreflekterade varaktigheten till

$$t^+ = \frac{t'}{c_0 \cdot \left( \frac{P_0}{E_{gas}} \right)^{1/3}} \quad \rightarrow \quad t_{A}^+ = \frac{0,70}{340,2 \cdot \left( \frac{101,3 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^6} \right)^{1/3}} = 26,2 \text{ ms} \quad (3.6)$$

varvid den oreflekterade impulstätheten kan beräknas som

$$i_s^+ = \frac{P_s^+ \cdot t^+}{2} \quad \rightarrow \quad i_{s,A}^+ = \frac{3,9 \cdot 26,2}{2} = 51 \text{ Pas} \quad (3.7)$$

Det reflekterade övertrycket  $P_r^+$  kan, via reflexionsfaktorn

$$A_p = \frac{8P_s^+ + 14P_0}{P_s^+ + 7P_0} \quad \rightarrow \quad A_{p,A} = \frac{8 \cdot 3,9 + 14 \cdot 101,3}{3,9 + 7 \cdot 101,3} = 2,03 \quad (3.8)$$

beräknas som

$$P_r^+ = A_p \cdot P_s^+ \quad P_{r,A}^+ = 2,03 \cdot 3,9 = 7,9 \text{ kPa} \quad (3.9)$$

För låga övertryck kan reflexionsfaktorn  $A_p$  även användas för att bestämma den reflekterade impulstätheten som

$$i_r^+ = A_p \cdot i_s^+ \quad (3.10)$$

Konservatismen i en sådan approximation är i sammanhanget försumbar för de övertryck som råder här men för fullständighetens skull beräknas här den reflekterade impulstätheten mer exakt som

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

$$i_r^+ = A_i \cdot i_s^+ = \frac{A_p}{\gamma_A} \cdot i_s^+ \quad (3.11)$$

där  $\gamma_A$  är en reflexionskvot som för övertryck lägre än 100 kPa kan uttryckas som

$$\gamma_A = 1,0004 + 0,0013 \cdot (P_s^+) - 4 \cdot 10^{-6} \cdot (P_s^+)^2 \quad 1 \leq P_s^+ \leq 100 \text{ kPa} \quad (3.12)$$

För område A, med  $P_s^+ = 3,9$  kPa, innebär detta att

$$\gamma_{A,A} = 1,0004 + 0,0013 \cdot 3,9 - 4 \cdot 10^{-6} \cdot 3,9^2 = 1,01 \quad 1 \leq P_s^+ \leq 100 \text{ kPa} \quad (3.13)$$

varmed

$$i_{r,A}^+ = \frac{2,03}{1,01} \cdot 51 = 103 \text{ Pas} \quad (3.14)$$

I här utförda beräkningar används ett förenklat triangulärt tryck-tidssamband. För oreflekterad stötvåg gäller att den ekvivalenta varaktigheten  $t_{\Delta,s}^+$  inte ändras eftersom det förenklade sambandet redan är antaget i de empiriska sambanden, dvs.

$$t_{\Delta,s}^+ = \frac{2i_s^+}{P_s^+} = t^+ \quad \rightarrow \quad t_{\Delta,s,A}^+ = 26,2 \text{ ms} \quad (3.15)$$

För den reflekterade stötvågen fås dock en förändring eftersom reflexionskvoten  $\gamma_A \neq 1,0$  och beräknas som

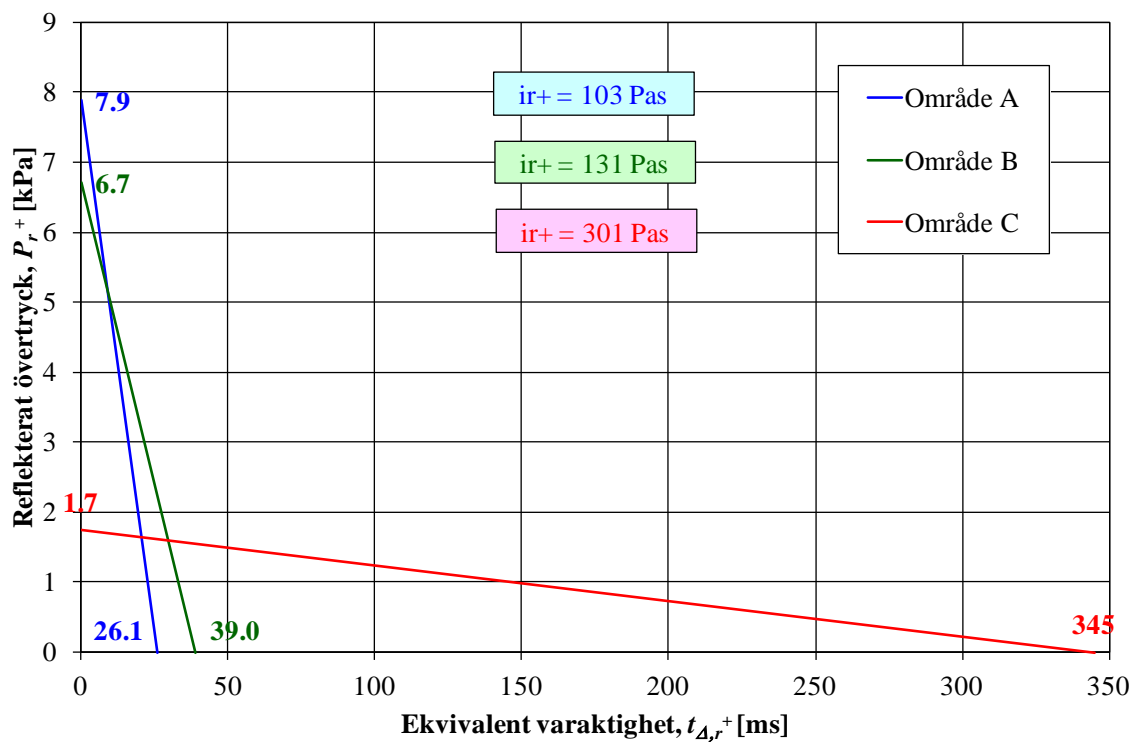
$$t_{\Delta,r}^+ = \frac{2i_r^+}{P_r^+} \quad \rightarrow \quad t_{\Delta,r}^+ = \frac{2 \cdot 103}{7,9} = 26,1 \text{ ms} \quad (3.16)$$

Resulterande parametrar för bestämning av tryck-tidssamband för studerade fall sammanfattas i Tabell 3.3 och illustreras i Figur 3.3.

*Tabell 3.3 Övertryck, varaktighet och impulstäthet för oreflekterad och reflekterad stötvåg för explosionsfall illustrerade i Figur 2.1.*

Explosions- område	$P_s^+$ [kPa]	$t_{\Delta,s}^+$ [ms]	$i_s^+$ [Pas]	$A_p$ [-]	$\gamma_A$ [-]	$P_r^+$ [kPa]	$t_{\Delta,r}^+$ [ms]	$i_r^+$ [Pas]
A	3,9	26,2	51	2,03	1,01	7,9	26,1	103
B	3,3	39,2	65	2,03	1,00	6,7	39,0	131
C	0,86	345	150	2,01	1,00	1,7	345	301

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion



Figur 3.3 Resultande tryck-tidssamband, genererad av explosion i område A, B och C, för reflekterad stötvåg som verkar mot studerad byggnad i Figur 2.1.