

**B02-121**

## **Beräkningsanvisning för last Gasexplosion i det fria**

Författare: Morgan Johansson. Ansvarig utgivare: Björn Ekengren.

1	Orientering	1
1.1	Samlingsdokument	1
1.2	Om detta dokument	1
2	Förutsättningar	2
2.1	Brandfarliga gaser	2
2.2	TNO multienergimetod	2
3	Stötvågsparametrar	4
4	Energiskalat avstånd	5
5	Positiv fas	6
5.1	Oreflekterad stötvåg	6
5.2	Reflekterad stötvåg	9
6	Negativ fas	12
7	Bestämning av styrkefaktor	13
8	Flera explosioner samtidigt	15

---

## **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 sammanställs samband för stötvågsparametrar i den positiva och negativa fasen från en gasexplosion. Bakgrund för här givna samband behandlas i Johansson (2013).

## 2 Förutsättningar

### 2.1 Brandfarliga gaser

Ett ämne definieras som en brandfarlig gas om den är gasformig vid 20 °C samt har ett brännbarhetsområde i en blandning av gas och luft. Brännbarhetsområdet hos en gas benämns även som dess explosionsområde och syftar på den koncentration – en undre och en övre gräns – inom vilken gasen är brännbar. Befinner sig blandningen av gas och luft utanför dessa gränser är den inte brännbar. Den mest effektiva förbränningen fås dock när brandfarlig gas och luft är stökiometriskt blandade.

Brännbarhetsområdet är specifikt för varje gas och varierar med syrekoncentration, temperatur och tryck. I Tabell 2.1 sammanställs brandfarliga gaser med brännbarhetsområde och stökiometrisk koncentration. Tungheten hos dessa gaser varierar men för samtliga utom vätgas gäller att den är större än för luft. Detta innebär att vätgas kommer att stiga medan övriga gaser kommer sjunka, något som har betydelse vid utvärdering av gasernas spridning från potentiella utsläppskällor.

Tabell 2.1 Brandfarliga gaser med brännbarhetsområde och stökiometrisk koncentration angivna i volymprocent.

Gas	Kemisk beteckning	Brännbarhetsområde <sup>1)</sup>		Stök. konc. [%]
		Undre [%]	Övre [%]	
Vätgas	H <sub>2</sub>	4,0	77,0	30
Metan	CH <sub>4</sub>	5,0	15,0	9,5
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,0	15,5	-
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,1	9,5	4,0
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,9	8,5	3,1
Eten, Etylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,7	34,0	6,5
Propen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2,0	11,7	4,5
Etyn, Acetylen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1,8	82,0	7,7

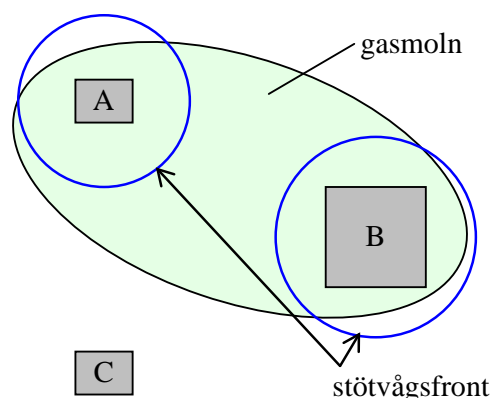
<sup>1)</sup> Angivet brännbarhetsområde gäller vid 20 °C samt normalt lufttryck och syrekoncentration.

### 2.2 TNO multienergimetod

Last från gasexplosion som presenteras i detta dokument baseras på TNO multienergimetod. Denna metod utgår från att en gasexplosion består av ett antal delexplosioner där en kraftfull explosion enbart kan initieras i de delar av ett gasmoln där gasens expansionsmöjligheter är begränsade, dvs. inom helt eller delvis inneslutna volymer eller i blockerade områden. Detta innebär att det i ett gasmoln potentiellt kan skapas flera av varandra oberoende explosioner, var och en med sitt eget energiinnehåll. Vidare är det enbart de delar av gasmolnet som inryms i områden som betraktas som explosionsbenägna som används för att bedöma styrkan hos en kraftfull explosion.

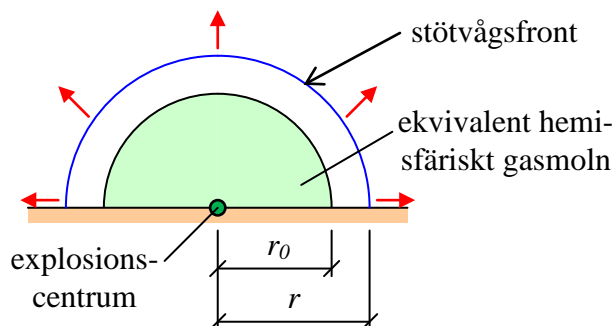
## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Detta illustreras i Figur 2.1 där ett gasmoln spritt ut sig inom markerat område. I figuren markerar A, B och C områden med någon form av inneslutning och/eller blockering i en sådan omfattning att de bedöms kunna initiera en kraftfull explosion. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan därför vardera generera en explosion medan område C är beläget utanför gasmolnet och därför inte bidrar till detta. Den explosionsalstrande energimängden baseras på volymen i område A respektive B och kan generera två av varandra oberoende explosioner med olika styrka och med explosionscentrum centriskt placerad inom respektive delvolym. Övriga delar av gasmolnet, utanför område A och B, bidrar dock inte till energimängden i någon av dessa båda explosioner. Därmed begränsas eventuella kraftfulla explosioners tillgängliga energimängd till det minsta av hur stor mängd av gasmolnet som ryms i en explosionsinitierande volym eller av gasmolnets aktuella storlek. Gasen utanför område A och B kan också ge upphov till en explosion men då med en lägre styrka. En sådan explosion baseras på den totala gasvolym som befinner sig utanför område A och B.



Figur 2.1 Schematisk illustration av TNO multienergimetod. Ett gasmoln täcker markerat område. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan båda ge upphov till varsin explosion.

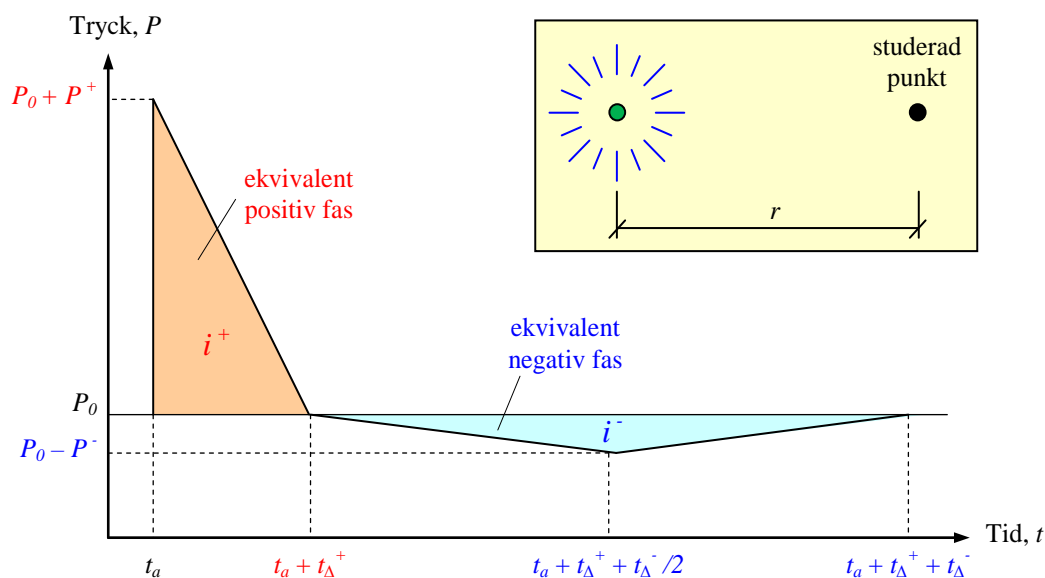
Beräkningsmodellen i TNO multienergimodell baseras på att framtagen gasvolym inom respektive område omvandlas till en ekvivalent hemisfär innehållande samma volym, se Figur 2.2. Gasen antas bestå av en homogen, stökiometrisk blandning av gas och luft med en förbränningsenergi  $E'_{gas} = 3,5 \text{ MJ/m}^3$ , som är oberoende av gastyp. Explosionen förutsätts ske nära mark på ett sådant sätt att tredimensionell avlastning är möjlig. Detta innebär att effekten av så kallad spegling också redan har beaktats i här givna samband.



Figur 2.2 Schematisk illustration av en ekvivalent hemisfärisk gasvolym som används i TNO multienergimetod, där  $r_0$  betecknar radien hos den ekvivalenta volymen.

## 3 Stötvågsp parametrar

I samband med explosionsbelastningar används stötvågsp parametrar för att enklare beskriva den genererade lastens egenskaper och nedan ges en mycket kort introduktion av dessa. I Figur 3.1 visas ett förenklat tryck-tidssamband för en ideal stötvåg i en punkt på avståndet  $r$  från explosionen. Denna typ av förenklat tryck-tidssamband är vanligt förekommande att använda för att ge en förenklad lastbeskrivning och är den som används här för last från gasexplosion. Med ideal stötvåg syftas här på en stötvåg som uppkommer vid fri avlastning i luften utan några störande reflexioner. Explosionen detonerar vid tiden  $t = 0$  och efter tiden  $t_a$  har stötvågen nått fram till den studerade punkten. Trycket vid vågfronten ökar då från det omgivande trycket  $P_0$  till  $P_0 + P^+$  under mycket kort tid. Trycket avtar därefter till dess att det vid tiden  $t_a + t^+$  åter når bakgrundstrycket  $P_0$  och därigenom avslutar tryckvågens positiva fas. En negativ fas med amplitud  $P_0 - P^-$  tar därefter vid då flöden av luft strömmar mot explosionens centrum och därigenom skapar ett partiellt vakuum. Så småningom återgår trycket till  $P_0$  vid tiden  $t_a + t^+ + t^-$ .



Figur 3.1 Förenklat tryck-tidssamband för ideal luftstötvåg från gasexplosion.

- **Tryck,  $P$  [Pa]:** Anger det totala lufttrycket, inbegripande normalt lufttryck  $P_0$ . För ostörd luft uppgår det normala lufttrycket, vid en lufttemperatur på  $T = 15^\circ\text{C}$ , till omkring  $P_0 = 101,3 \text{ kPa}$ .
- **Positiv fas:** Definierar den del av stötvågen som uppvisar ett tryck som är större än det normala lufttrycket, dvs.  $P > P_0$ . Den positiva fasen utgör normalt den dimensionerande lastdelen i en stötvåg och är det som normalt beaktas vid kontroll av lasteffekt från explosion. Indexet + används för att beteckna en stötvågsstorhet som tillhör den positiva fasen.
- **Negativ fas:** Definierar den del av stötvågen som uppvisar ett tryck som är lägre än det normala lufttrycket, dvs.  $P < P_0$ . Det är inte ovanligt att inverkan av den negativa fasen försummas vid kontroll av explosionens effekt. Indexet - används för att beteckna en stötvågsstorhet som tillhör den negativa fasen
- **Ankomsttid,  $t_a$  [s]:** Ankomsttiden  $t_a$  är den tid det tar för stötvågen att nå fram från en explosionskälla till studerad punkt. Ankomsttiden berörs inte närmare i detta dokument.

- **Stigtid,  $t_r$  [s]:** Stigtiden benämns den tid det tar för övertrycket att öka från noll till sin fulla amplitud. För en gasexplosion kan stigtiden variera men här ansätts att den sker fullständigt momentant, dvs. stigtiden kan sägas ha en varaktighet på noll sekunder.
- **Övertryck,  $P^+$  [Pa]:** Övertrycket anger storleken på det tryck som överstiger det normala lufttrycket  $P_0$ , dvs.  $P^+ = P - P_0$ , där  $P > P_0$ . I en stötvåg är övertrycket som störst i stötvågsfronten för att sedan snabbt sjunka ner till normalt tryck för ostörd luft. I en explosion finns ingen faktisk begränsning på hur stort övertryck som kan uppstå.
- **Undertryck,  $P^-$  [Pa]:** Undertryck anger storleken på det tryck som understiger det normala lufttrycket  $P_0$ , dvs.  $P^- = P_0 - P$ , där  $P < P_0$ . Detta är ett fenomen som uppstår efter det att stötvågen från en explosion har passerat studerad punkt. Den kraftfulla energifrigörelsen gör att luftpartiklarna i det passerade området slungats iväg så att trycket därmed understiger det normala lufttrycket. Ett undertryck kan sägas motsvara ett partiellt vakuum och dess storlek är därmed begränsat i sin storlek till frånvaron av det normala lufttrycket. För ostörd luft uppgår det normala lufttrycket till omkring  $P_0 = 101,3$  kPa vilket innebär att maximalt undertryck i ett sådant fall begränsas till 101,3 kPa.
- **Varaktighet,  $t^+$ ,  $t^-$  [s]:** För en explosion skiljs det på varaktighet för positiv och negativ fas,  $t^+$  respektive  $t^-$ . Allmänt gäller att varaktigheten i den negativa fasen är betydligt längre än i den positiva.
- **Impulstäthet,  $i$  [Pa s]:** Tidsintegralen av en explosionslasts tryck-tidssamband ger upphov till en impulstäthet och det skiljs på impulstäthet i positiv fas och negativ fas,  $i^+$  respektive  $i^-$ . Vid kortvariga belastningsförlopp är det denna, snarare än trycket, som beskriver den verkande lastens egenskaper. Allmänt gäller att impulstätheten i den negativa fasen är något större än i den positiva.
- **Reflekterat/oreflekterat:** Det skiljs på egenskaperna hos en oreflekterad och reflekterad stötvåg. Indexen  $s$  och  $r$  används för att beteckna stötvågsstorhet tillhörande oreflekterad respektive reflekterad stötvåg.

## 4 Energiskalat avstånd

Last från gasexplosion som presenteras i detta dokument baseras på TNO multienergimetod. I detta avsnitt ges en beskrivning av metodens empiriska samband för att bestämma tryck, varaktighet samt impulstäthet. Samtliga empiriska samband som redovisas här beskrivs med utgångspunkt från ett dimensionslöst energiskalat avstånd  $r'$ . Detta definieras som

$$r' = r \cdot \left( \frac{P_0}{E_{gas}} \right)^{1/3} \quad (4.1)$$

där  $r$  är verkligt avstånd från explosionscentrum,  $P_0 = 101,3$  kPa är normalt lufttryck och

$$E_{gas} = E'_{gas} \cdot V_{gas} \quad (4.2)$$

är energin i aktuell gasvolym beräknad som produkten av gasens energiinnehåll  $E'_{gas} = 3,5$  MJ/m<sup>3</sup> och den aktuella gasvolymen  $V_{gas}$ .

## 5 Positiv fas

### 5.1 Oreflekterad stötvåg

I Figur 5.1 och Figur 5.2 visas tio samband för oreflekterad övertryckskvot  $P_s'$  respektive energiskalad varaktighet  $t'$  som funktion av energiskalat avstånd  $r'$ . Varje samband identifieras med en styrkefaktor, där värdena 1 och 10 motsvarar en svag respektive en kraftig explosion, och är framtagna med utgångspunkt av ett ungefärligt maximalt övertryck i enlighet med Tabell 5.1. En styrkefaktor på 10 motsvarar en detonation medan en styrkefaktor på 1-9 motsvarar en deflagration av varierande styrka. Vilken styrkefaktor som ska användas för ett givet tillfälle behandlas i kapitel 7.

*Tabell 5.1 Samband mellan ungefärlig nivå på maximalt övertryck  $P_s^+$  och styrkefaktor enligt Figur 5.1.*

Styrkefaktor	$P_s^+$ [kPa]	Styrkefaktor	$P_s^+$ [kPa]
10	>1 000	5	20
9	500	4	10
8	200	3	5
7	100	2	2
6	50	1	1

Dimensionslös övertryckskvot  $P_s'$  definieras som

$$P_s' = \frac{P_s^+}{P_0} \quad (5.1)$$

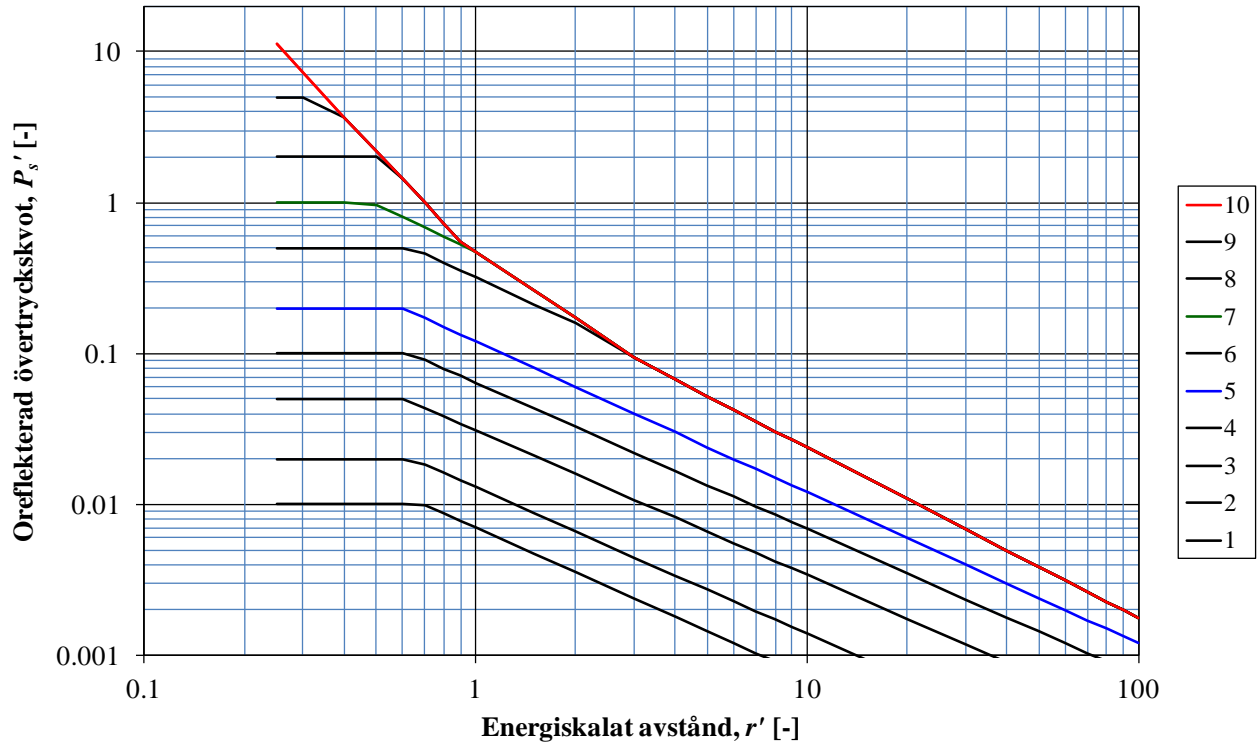
där  $P_s^+$  är oreflekterat övertryck och  $P_0 = 101,3$  kPa är lufttrycket i ostörd luft vid en temperatur på +15 °C.

Dimensionslös energiskalad varaktighet  $t'$  definieras som

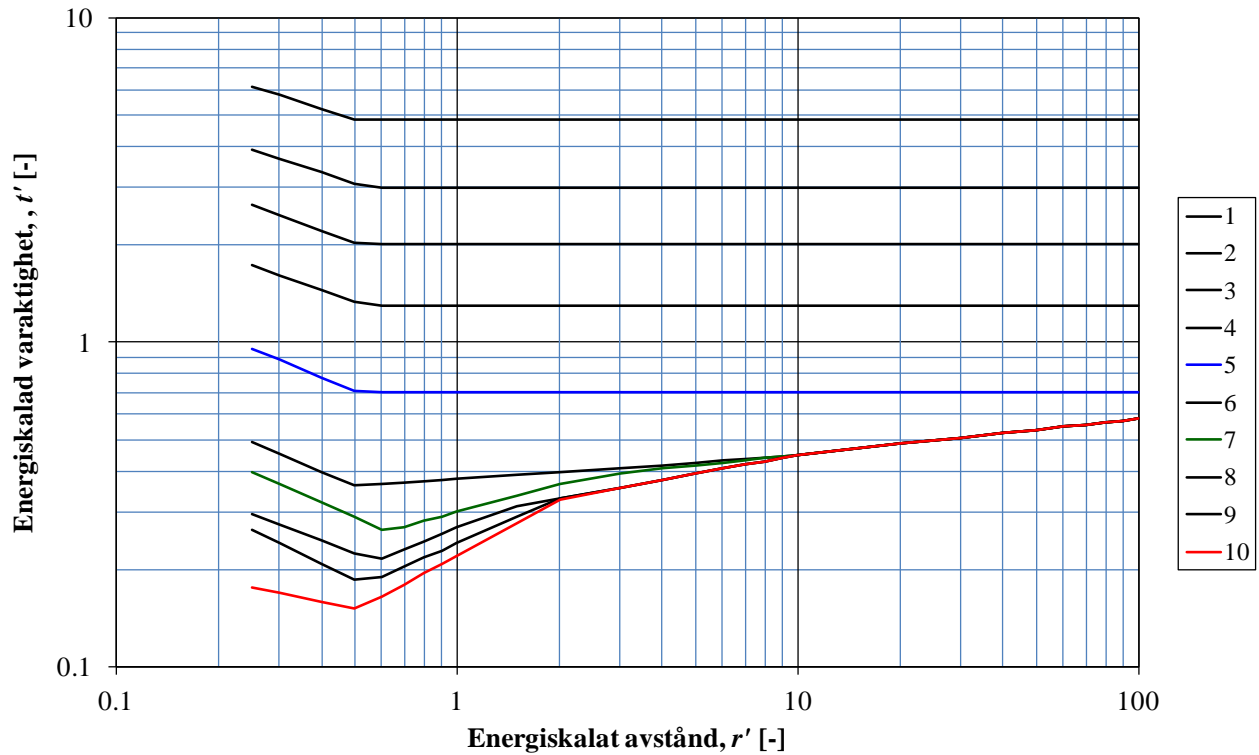
$$t' = t^+ \cdot c_0 \cdot \left( \frac{P_0}{E_{gas}} \right)^{1/3} \quad (5.2)$$

där  $t^+$  är verklig varaktighet i positiv fas och  $c_0 = 340,3$  m/s är ljudhastigheten i ostörd luft vid en temperatur på +15 °C.

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion



Figur 5.1 Samband mellan oreflekterad övertryckskvot  $P_s'$  och energiskalat avstånd  $r'$  för olika styrkefaktorer.



Figur 5.2 Samband mellan energiskalat varaktighet  $t'$  och energiskalat avstånd  $r'$  för olika styrkefaktorer.

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Övertryckskvoten  $P_s'$  och energiskalad varaktighet  $t'$  kan uttryckas på formen

$$P_s' = a \cdot (r')^b \quad (5.3)$$

$$t' = c \cdot (r')^d \quad (5.4)$$

där  $a$ ,  $b$ ,  $c$  och  $d$  är konstanter i enlighet med Tabell 5.2 och Tabell 5.3. Dessa uttryck har också använts vid framtagning av samband enligt Figur 5.1 och Figur 5.2.

**Tabell 5.2** Konstanter  $a$  och  $b$  för bestämning av skalat övertryck  $P_s'$  enligt ekvation (5.3). I tabellen anges maximala värden på  $r'$  när respektive kombination av konstanter  $a$  och  $b$  ska användas. För samtliga uttryck gäller att  $P_s' \geq 0,001$ .

Styrkefaktor	$a$	$b$	$r'$	$a$	$b$	$r'$	$a$	$b$	$r'$	$a$	$b$
10	0,43	-2,35	$\leq 0,90$	0,47	-1,46	$\leq 3,21$	0,32	-1,13			
9	5	0	$\leq 0,20$	0,47	-1,46	$\leq 3,21$	0,32	-1,13			
8	2	0	$\leq 0,37$	0,47	-1,46	$\leq 3,21$	0,32	-1,13			
7	1	0	$\leq 0,48$	0,48	-1,00	$\leq 0,96$	0,47	-1,46	$\leq 3,21$	0,32	-1,13
6	0,5	0	$\leq 0,64$	0,32	-1,01	$\leq 2,35$	0,47	-1,46	$\leq 3,21$	0,32	-1,13
5	0,2	0	$\leq 0,60$	0,12	-1,00						
4	0,1	0	$\leq 0,63$	0,064	-0,97						
3	0,05	0	$\leq 0,61$	0,031	-0,96						
2	0,02	0	$\leq 0,64$	0,013	-0,97						
1	0,01	0	$\leq 0,69$	0,007	-0,98						

**Tabell 5.3** Konstanter  $c$  och  $d$  för bestämning av energiskalad varaktighet  $t'$  enligt ekvation (5.4). I tabellen anges maximala värden på  $r'$  när respektive kombination av konstanter  $c$  och  $d$  ska användas.

Styrkefaktor	$c$	$d$	$r'$	$c$	$d$	$r'$	$c$	$d$	$r'$	$c^{1)}$	$d^{1)}$
10	0,13	-0,22	$\leq 0,51$	0,22	0,57	$\leq 2,07$	0,29	0,19	$\leq 10,49$	0,35	0,11
9	0,13	-0,51	$\leq 0,53$	0,24	0,46	$\leq 2,02$	0,29	0,19	$\leq 10,49$	0,35	0,11
8	0,17	-0,40	$\leq 0,58$	0,27	0,45	$\leq 1,32$	0,29	0,19	$\leq 10,49$	0,35	0,11
7 <sup>1)</sup>	0,21	-0,46	$\leq 0,62$	0,30	0,29	$\leq 1,59$	0,32	0,15	$\leq 9,40$	0,29	0,19
6	0,26	-0,46	$\leq 0,49$	0,38	0,07	$\leq 7,81$	0,35	0,11			
5	0,52	-0,44	$\leq 0,51$	0,7	0						
4	1,02	-0,38	$\leq 0,53$	1,3	0						
3	1,56	-0,38	$\leq 0,52$	2	0						
2	2,44	-0,34	$\leq 0,54$	3	0						
1	3,83	-0,34	$\leq 0,50$	4,85	0						

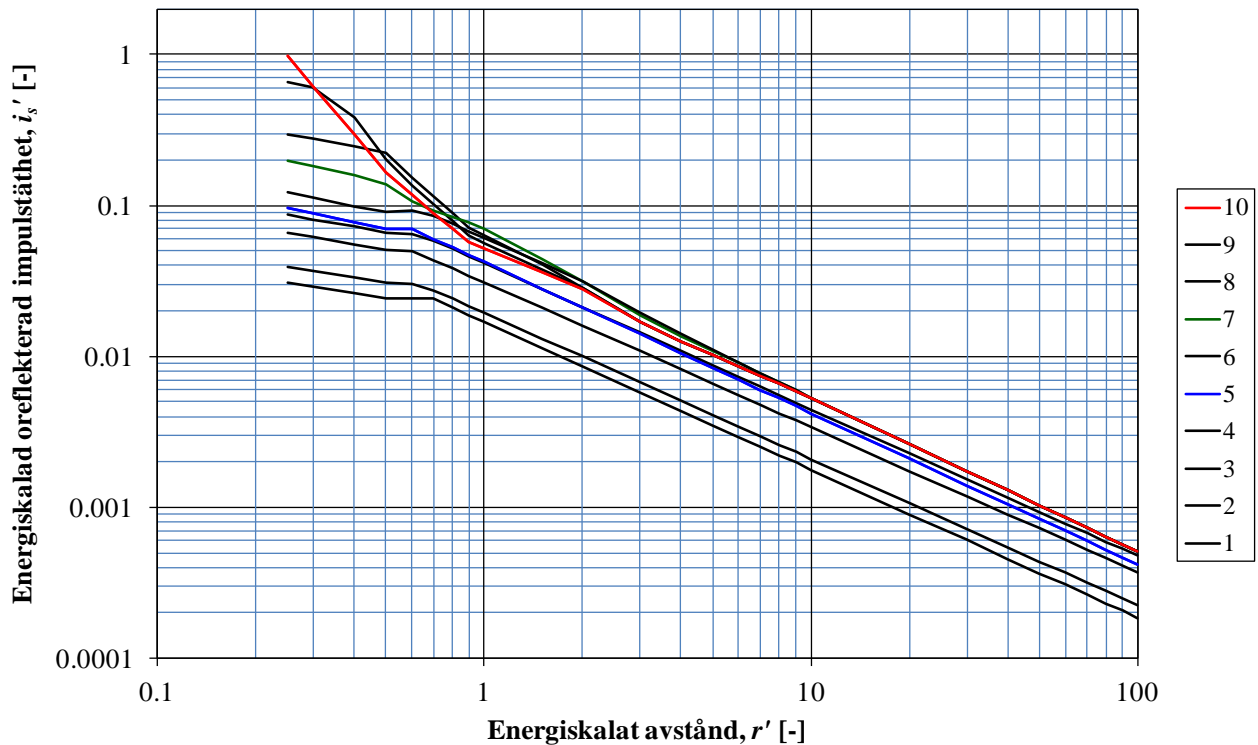
<sup>1)</sup> För styrkefaktor 7 gäller för  $r' > 10,49$  att  $c = 0,35$  och  $d = 0,11$ .



Några empiriska uttryck för energiskalad oreflekterad impulstäthet presenteras inte. Utgående från ett triangulärt tryck-tidssamband, enligt kapitel 0 kan den energiskalade oreflekterade impulstätheten  $i_s'$  dock bestämmas som

$$i_s' = \frac{P_s' \cdot t'}{2} \quad (5.5)$$

varvid samband enligt Figur 5.3 fås.



Figur 5.3 Samband mellan energiskalad oreflekterad impulstäthet  $i_s'$  och energiskalat avstånd  $r'$  för olika styrkefaktorer. Baserat på ekvation (5.5).

### 5.2 Reflekterad stötvåg

För en reflekterad stötvåg bestäms först de oreflekterade stötvågsstorheterna  $P_s^+$ ,  $t^+$  och  $i_s^+$  i enlighet med avsnitt 5.1. Det reflekterade övertrycket  $P_r^+$  bestäms därefter som

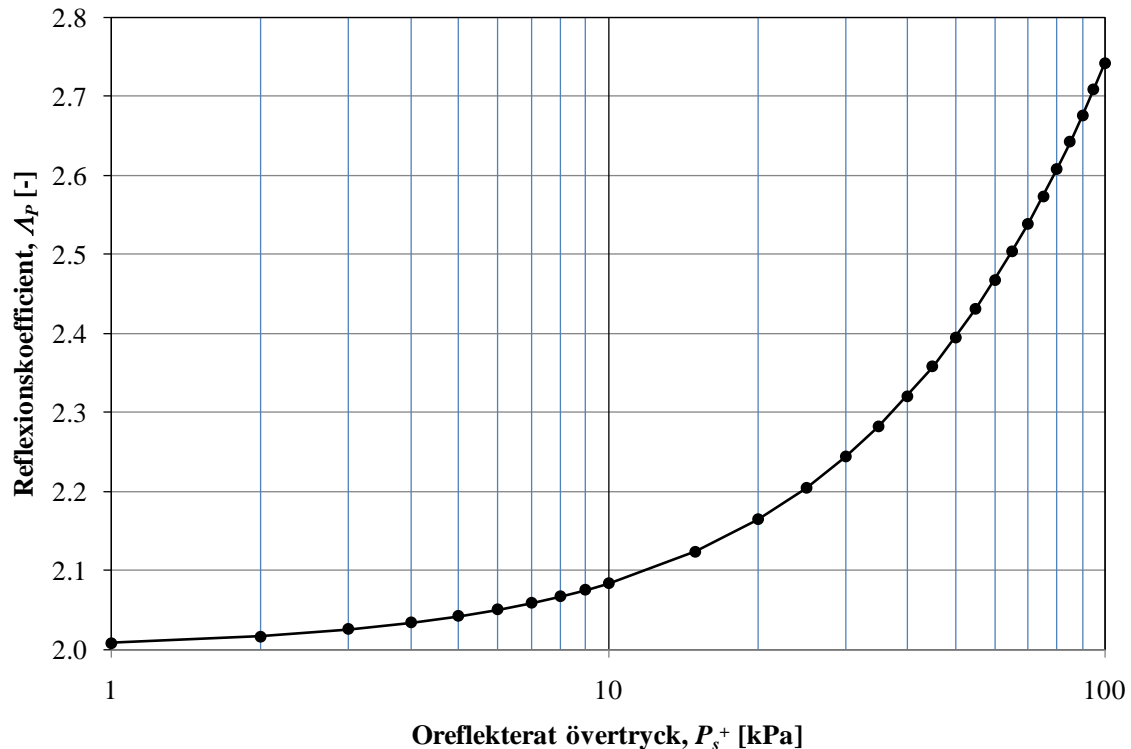
$$P_r^+ = A_p \cdot P_s^+ \quad (5.6)$$

där  $A_p$  är en reflexionskoefficient som för oreflekterade övertryck  $P_s^+ \leq 1\,000$  kPa kan bestämmas som

$$A_p = \frac{8P_s^+ + 14P_0}{P_s^+ + 7P_0} \quad (5.7)$$

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

För svaga stötvågor,  $P_s^+ \approx 0$ , fås en reflexionskoefficient  $A_P \approx 2$  vilket överensstämmer med linjär vågteori. För starkare stötvågor ökar den här kvoten dock flerfaldig och exempelvis för  $P_s^+ \approx 1\,000$  kPa fås  $A_P \approx 5,5$ . I Figur 5.4 illustreras reflexionskoefficienten  $A_P$  för övertryck på upp till 100 kPa.



Figur 5.4 Förhållande mellan reflexionskoefficient  $A$  och oreflekerat övertryck  $P_s^+$  enligt ekvation (5.7) för  $P_s^+ \leq 100$  kPa.

För den reflekterande impulstätheten  $i_r^+$  finns inte något motsvarande samband. Denna kan dock bestämmas som

$$i_r^+ = A_i \cdot i_s^+ \quad (5.8)$$

där

$$A_i = \frac{A_P}{\gamma_A} \quad (5.9)$$

är impulstäthetens reflexionskoefficient och  $\gamma_A$  är en reflexionskvot som varierar med det oreflekerade övertrycket  $P_s^+$  enligt Tabell 5.4 och Figur 5.5. Utgående från detta kan den reflekterade impulstätheten tecknas som

$$i_r^+ = \frac{A_P}{\gamma_A} \cdot i_s^+ \quad (5.10)$$

och den ekvivalenta varaktigheten som

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

$$t_r^+ = \frac{2 \cdot i_r^+}{P_r^+} = \dots = \frac{t^+}{\gamma_A} \quad (5.11)$$

Detta innebär att minskningen av den reflekterade impulstätheten  $i_r^+$  med reflexionskvoten  $\gamma_A$  beaktas genom att minska varaktigheten  $t^+$  med samma faktor  $\gamma_A$ .

Konservativt kan  $\gamma_A = 1,0$  användas varvid ett approximativt uttryck på den reflekterade impulstätheten fås som

$$i_r^+ = A_p \cdot i_s^+ \quad (5.12)$$

För ett mer noggrant värde på den reflekterade impulstätheten bestäms  $\gamma_A$  utgående från Tabell 5.4 eller Figur 5.5. För givna värden kan visas att för oreflekterade övertryck mellan 1 och 100 kPa gäller att

$$\gamma_A = 1,0004 + 0,0013 \cdot (P_s^+) - 4 \cdot 10^{-6} \cdot (P_s^+)^2 \quad 1 \leq P_s^+ \leq 100 \text{ kPa} \quad (5.13)$$

och för övertryck mellan 100 och 300 kPa att

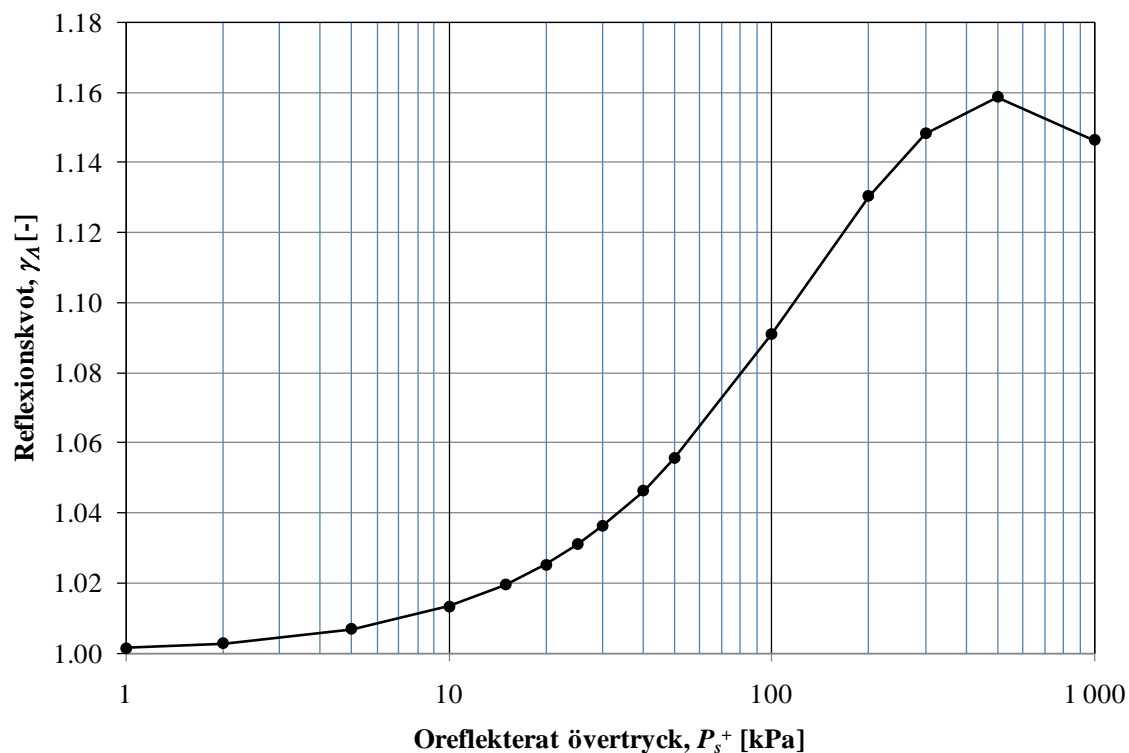
$$\gamma_A = 1,0304 + 0,0007 \cdot (P_s^+) - 1 \cdot 10^{-6} \cdot (P_s^+)^2 \quad 100 < P_s^+ \leq 300 \text{ kPa} \quad (5.14)$$

där  $P_s^+$  anges i enheten kPa. För större övertryck än så, upp till maximalt 1 000 kPa, approximeras att

$$\gamma_A = 1,15 \quad 300 < P_s^+ \leq 1\,000 \text{ kPa} \quad (5.15)$$

Tabell 5.4 Värden på reflexionskvoten  $\gamma_A$  och oreflekterat övertryck  $P_s^+$  enligt Figur 5.5.

$P_s^+$ [kPa]	$\gamma_A$ [-]	$P_s^+$ [kPa]	$\gamma_A$ [-]
1	1,001	40	1,046
2	1,003	50	1,056
5	1,007	100	1,091
10	1,013	200	1,130
15	1,019	300	1,148
20	1,025	500	1,159
25	1,031	1 000	1,146
30	1,036		



Figur 5.5 Samband mellan reflexionskvoten  $\gamma_A$  och oreflekterat övertryck  $P_s^+$ .

## 6 Negativ fas

Information om negativ fas har ännu inte lagts in i detta dokument. För detaljerad information se Johansson (2013).

### 7 Bestämning av styrkefaktor

Från avsnitt 5.1 framgår att styrkefaktorn har en central betydelse vid framtagning av lastparametrar som fås vid en gasexplosion. Bestämning av vilken styrkefaktor som ska användas vid ett givet tillfälle är komplicerat och i litteraturen inte klart definierat. I detta kapitel återges dock några riktlinjer för val av styrkefaktor.

Exempel på situationer där omgivningens utformning kan initiera en kraftfull gasexplosion är:

- **Tätt placerade föremål:** En konfiguration med tätt placerade föremål, exempelvis rör, förhindrar en fri expansion samtidigt som den bidrar till ökad turbulens hos gasens flöde. Ökad turbulens i sin tur medför ökade hastigheter och därmed ökat tryck.  
Processutrustning eller rörledningar som står tätt samman eller lådor fyllda med flaskor är exempel på ett sådant fall.
- **Parallella plan:** I en sådan här konfiguration förhindrar expansionen helt i en riktning. Detta gör att gasen tvingas flöda parallellt med planen, vilket genererar en ökad flödes hastighet och därmed ökat tryck.  
Exempel på sådana fall är volymen mellan mark och fordon på en parkeringsplats för bilar, en rangerbangård för tågagnar eller en smal gång mellan två byggnader.
- **Rörliknande konfiguration:** På motsvarande sätt som för parallella plan medför en sådan här konfiguration att expansionen begränsas till enbart en riktning, vilket på samma sätt som ovan genererar ökat tryck.  
Exempel på denna typ är konstruktioner såsom tunnlar, kulvertar och avloppssystem.

Samtliga ovan givna konfigurationer ska betraktas som möjliga områden där en kraftfull explosion kan utvecklas. Den exakta styrkan hos en sådan potentiell explosion beror dock på framförallt följande parametrar:

- Gasens reaktivitet
- Gasens antändningsenergi
- Grad av blockering
- Grad av inneslutning

Gasens reaktivitet är en kvalitativ parameter som allmänt används för att beskriva gasens benägenhet att nå höga förbränningshastigheter, och därmed höga tryck. En kategorisering av reaktivitet hos olika gaser samt antändningsenergi ges i Tabell 7.1 och i Tabell 7.2 sammanställs riktlinjer för val av styrkefaktor för olika kombinationer av dessa parametrar.

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Tabell 7.1 Kategorisering av gasers reaktivitet samt antändningsenergi.

Reaktivitet	Gas	Antändningsenergi	Beskrivning
Hög	Vätgas	Hög	Jetstråle
	Acetylen		Sprängmedel
	Etenoxid	Låg	Öppen flamma
	Propenoxid		Gnista
Mellan	Övriga gaser		Het yta
Låg	Metan		
	Kolmonoxid		

Tabell 7.2 Riktlinjer för val av styrkefaktorer.

Antändningsenergi		Grad av blockering			Inneslutning		Styrkefaktor, <i>s</i>
Hög	Låg	Hög	Låg	Ingen	Ja	Nej	
•		•			•		10
•		•				•	10
•			•		•		7
•			•			•	6
•				•	•		6
•				•		•	5
	•	•			•		7
	•	•				•	7
	•		•		•		5
	•		•			•	3
	•			•	•		3
	•			•		•	3 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Om den exploderande gasens reaktivitet, enligt Tabell 7.1, inte är "Hög" kan *s* = 2 användas.

## 8 Flera explosioner samtidigt

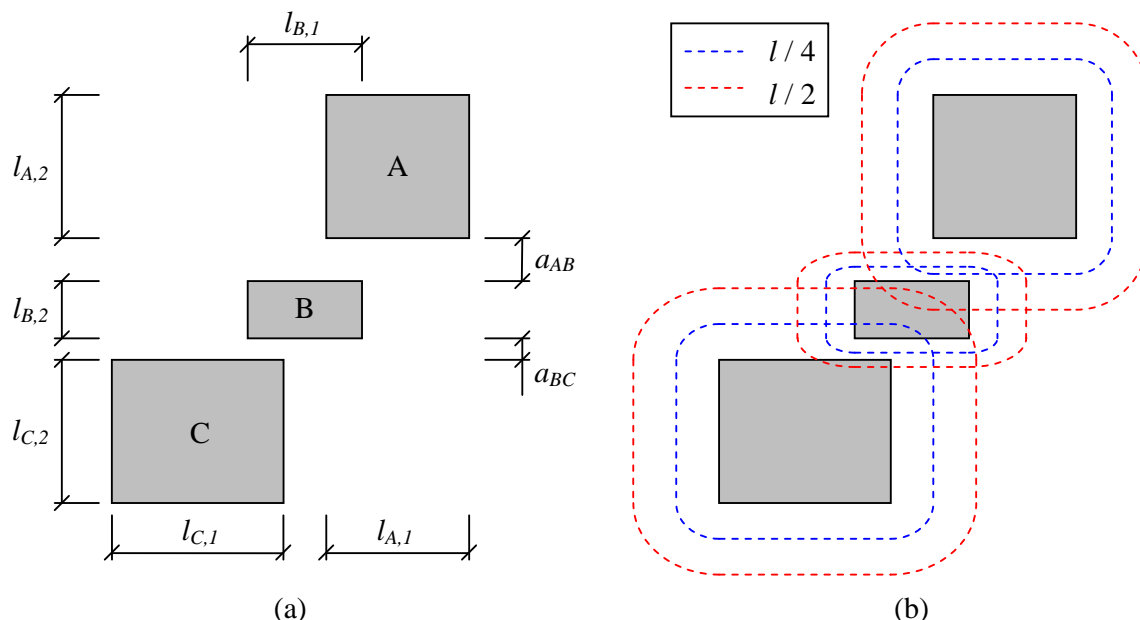
En explosion i ett gasmoln kan mycket väl bestå av två eller flera explosioner. Det är dock extremt osannolikt att två eller flera delar av gasmolnet antänds samtidigt eftersom flamutbredningen genom det icke inneslutna gasmolnet är relativt långsam. Med anledning av detta är det därför också normalt acceptabelt att betrakta varje explosionsområde inne i gasmolnet som en enskild explosion om det är ett tillräckligt stort avstånd mellan två sådana potentiella explosionskällor.

Krav på erforderligt separationsavstånd mellan två möjliga explosionskällor uppfylls om:

- Kraftig explosion ( $P_s^+ \geq 100$  kPa,  $s = 7$ ) – krävs ett fritt avstånd om  $0,5 \cdot l$
- Svag explosion ( $P_s^+ \leq 10$  kPa,  $s = 4$ ) – krävs ett fritt avstånd om  $0,25 \cdot l$

där  $l$  anger explosionskällans utbredning i given riktning. För explosioner med mellanliggande tryck fås krav på fritt avstånd via linjär interpolation. Uppfylls inte dessa villkor på separationsavstånd ska explosionen betraktas som en explosion med en energimängd motsvarande summan av de interagerande källorna och explosionscentrum placeras i den energiviktade centrumpunkten av ingående explosionskällor.

Värdet på styrkefaktorn för den resulterande explosionen tilldelas det största värdet för den källa som innesluter den andra, se Figur 8.1. För illustrerat fall innebär detta att om  $s < 7$  kommer en explosion i område C kunna sprida sig till område B men inte tvärtom eftersom  $l_{C,2} / 4 > a_{BC}$  men  $l_{B,2} / 4 < a_{BC}$ . Resulterande explosion baseras därför på total volym i område B och C samt styrkefaktorn för område C, dvs.  $V_{gas} = V_B + V_C$  respektive  $s = s_C$ . Om däremot  $s \geq 7$  kommer en kraftfull explosion även kunna sprida sig från område B till område C eftersom  $l_{B,2} / 2 > a_{BC}$ . För ett sådant fall baseras därmed den totala explosionen på  $V_{gas} = V_B + V_C$  och  $s = \max(s_B, s_C)$ .



Figur 8.1 Schematisk bild för exemplifiering av hur separationsavstånd mellan olika objekt ska beaktas.

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Tabell 8.1 Möjlig interaktion mellan inneslutna/blockerade områden enligt Figur 8.1.

Område		Styrkefaktor hos källa		Tillräckligt avstånd?	
Källa	Mottagare	$s \leq 4$	$s \geq 7$	$s \geq 7$	$s \leq 4$
A	B	$l_{A,2} / 4 < a_{AB}$	$l_{A,2} / 2 > a_{AB}$	Nej	Ja
B	A	$l_{B,2} / 4 < a_{AB}$	$l_{B,2} / 2 < a_{AB}$	Ja	Ja
B	C	$l_{B,2} / 4 < a_{BC}$	$l_{B,2} / > a_{BC}$	Nej	Ja
C	B	$l_{C,2} / 4 > a_{BC}$	$l_{C,2} / 2 > a_{BC}$	Nej	Nej
A	C	$l_{A,2} / 4 < a_{AB}$	$l_{A,2} / 2 > a_{AB}$	Nej <sup>1)</sup>	Ja
		$l_{B,2} / 4 < a_{BC}$	$l_{B,2} / > a_{BC}$		
C	A	$l_{C,2} / 4 > a_{BC}$	$l_{C,2} / 2 > a_{BC}$	Ja	Ja
		$l_{B,2} / 4 < a_{AB}$	$l_{B,2} / 2 < a_{AB}$		

<sup>1)</sup> Förutsätter att styrkefaktor hos explosion i mottagare B också uppfyller  $s \geq 7$ . Om inte kommer inte en explosion kunna spridas vidare från B till C, varmed en explosion i A inte heller kommer kunna samverka med en explosion i C.