

B02-111

Beräkningsanvisning för last TNT-explosion i det fria

Författare: Morgan Johansson. Ansvarig utgivare: Björn Ekengren.

1 Orientering	1
1.1 Samlingsdokument	1
1.2 Om detta dokument	1
2 Stötvågsp parametrar	1
3 Skalat avstånd	3
4 Positiv fas	4
5 Negativ fas	7

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

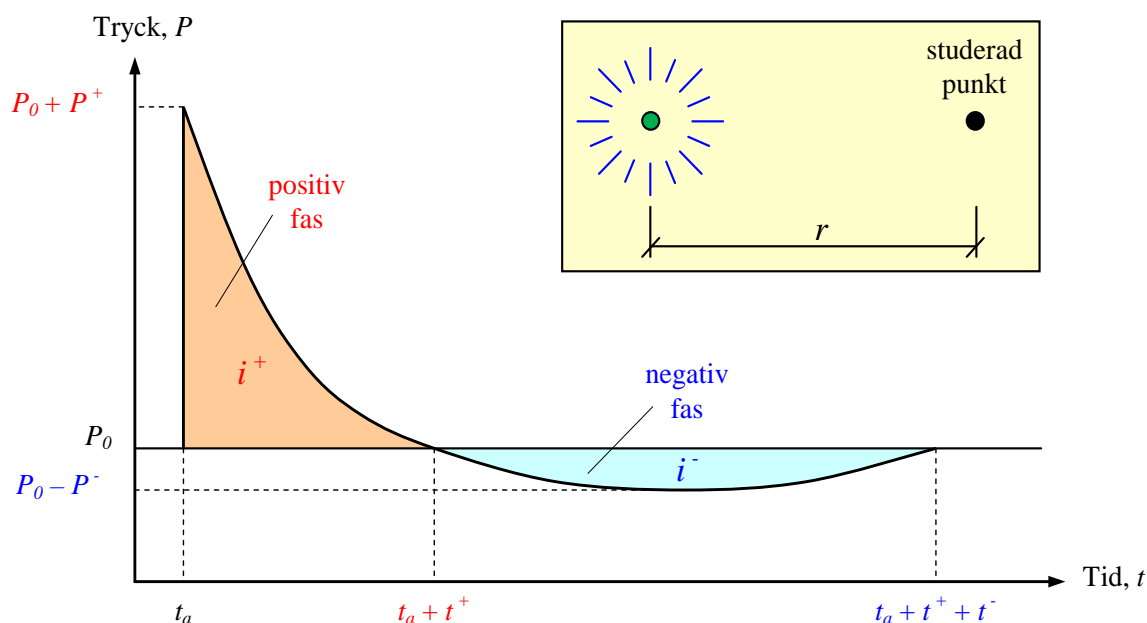
I detta dokument sammanställs samband för stötvågsp parametrar i den positiva och negativa fasen från en TNT-explosion. Bakgrund för här givna samband behandlas i Johansson (2012) samt Johansson och Laine (2012a, 2012b).

2 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. Figur 2.1 visar ett typiskt tryck-tidssamband för en ideal stötvåg i en fix punkt på avståndet r från explosionen. Med ideal våg 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

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

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 2.1 Typiskt tryck-tidssamband för ideal luftstövåg vid fri sfärisk utbredning.

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 effekt av 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.

Stigtid, t_r [s]: Stigtiden benämns den tid det tar för övertrycket att öka från noll till sin fulla amplitud. För en luftstövåg sker detta så snabbt att den uppfattas som fullständigt momentan, 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.

3 Skalat avstånd

För en TNT-explosion ges normalt empiriska samband som en funktion av det skalade avståndet Z . För sfärisk utbredning definieras detta som

$$Z = \frac{r}{W^{1/3}} \quad (3.1)$$

där r är det verkliga avståndet och W anger laddningens storlek mätt i kg TNT. Vid bestämning av laddningsvikten behöver även laddningens läge i förhållande till studerad punkt studeras. Om explosionen sker nära marken kommer utbredningsmöjligheterna vara begränsade, vilket medför en minskad uttunning av frisläppt energi som gör att explosionens styrka ökar, så kallad spegling. För att ta hänsyn till detta används en modifierad laddningsvikt

$$W_{\text{mod}} = \alpha \cdot W \quad (3.2)$$

där α är en faktor som beaktar belastningssituationen. Om fri sfärisk utbredning är möjligt används $\alpha = 1,0$ och om stötvågsutbredningen företrädesvis sker i form av en halvsfär sätts $\alpha = 1,8$. För situationer där en ökad begränsning av stötvågsutbredningen råder kan α bli större än vad som anges här.

4 Positiv fas

Den impulstäthet i^+ som överförs i den positiva fasen definieras som

$$i^+ = \int_{t_a}^{t_a+t^+} (P(t) - P_0) dt \quad (4.1)$$

där $P(t)$ beskriver tryckets variation med tiden t . Tillsammans med övertycket P^+ och varaktigheten t^+ är den positiva impulstätheten i^+ viktiga parametrar vid beskrivandet av en stötvågs styrka och utseende. Ett vanligt använt uttryck för att beskriva det resulterande tryck-tidssambandet är

$$P(t) = P_0 + P^+ \left(1 - \frac{t}{t^+} \right) e^{-\alpha t/t^+} \quad (4.2)$$

där t markerar tiden efter stötvågens ankomst (dvs. mätt utgående från ankomsttiden t_a) och α en faktor med vilken övertryckets avklingning beskrivs. Kombinerad av ekvation (4.1) och (4.2) ger

$$i^+ = P^+ t^+ \left[\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^2} (1 - e^{-\alpha}) \right] \quad (4.3)$$

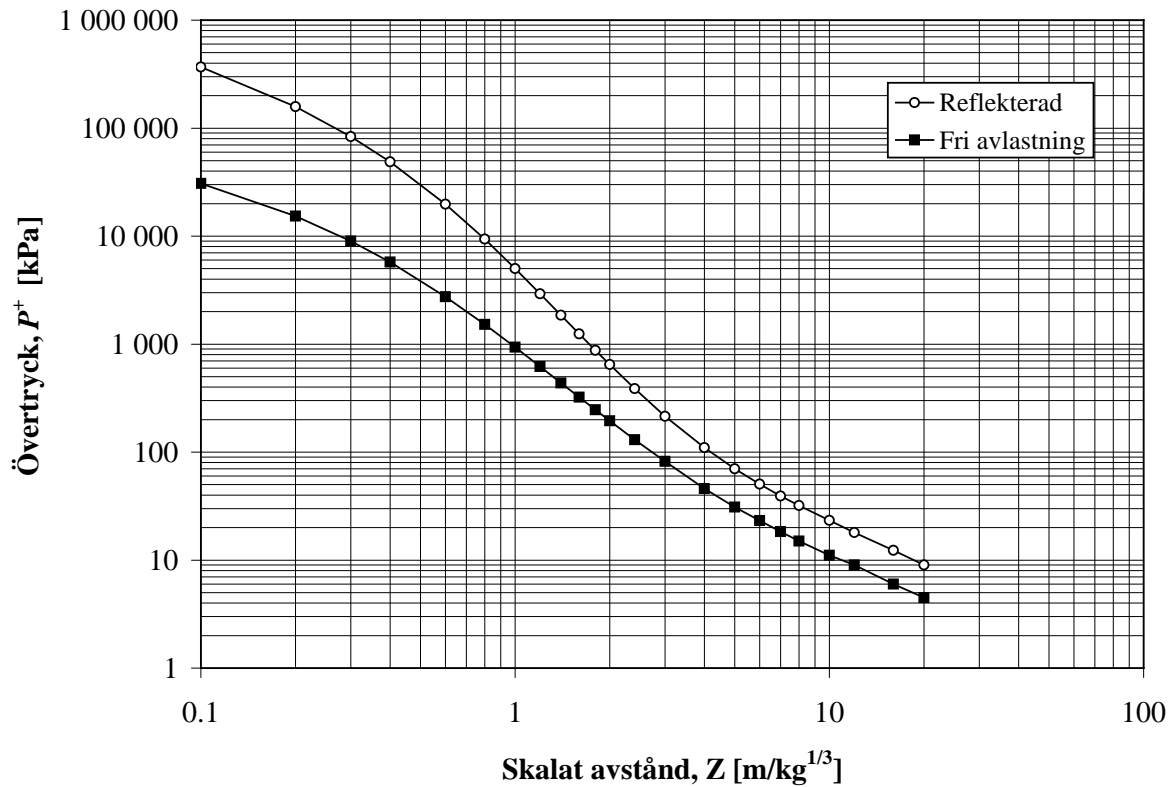
från vilken faktorn α kan lösas ut när P^+ , i^+ samt t^+ är kända.

En alternativ lastbeskrivning som är en vanligt förekommande förenkling är att beskriva lasten med en triangulär lasthistoria, dvs. linjärt avtagande tryck, utgående från aktuellt övertryck och impulstäthet. Dvs. en fiktiv varaktighet t_{Δ}^+ beräknas som

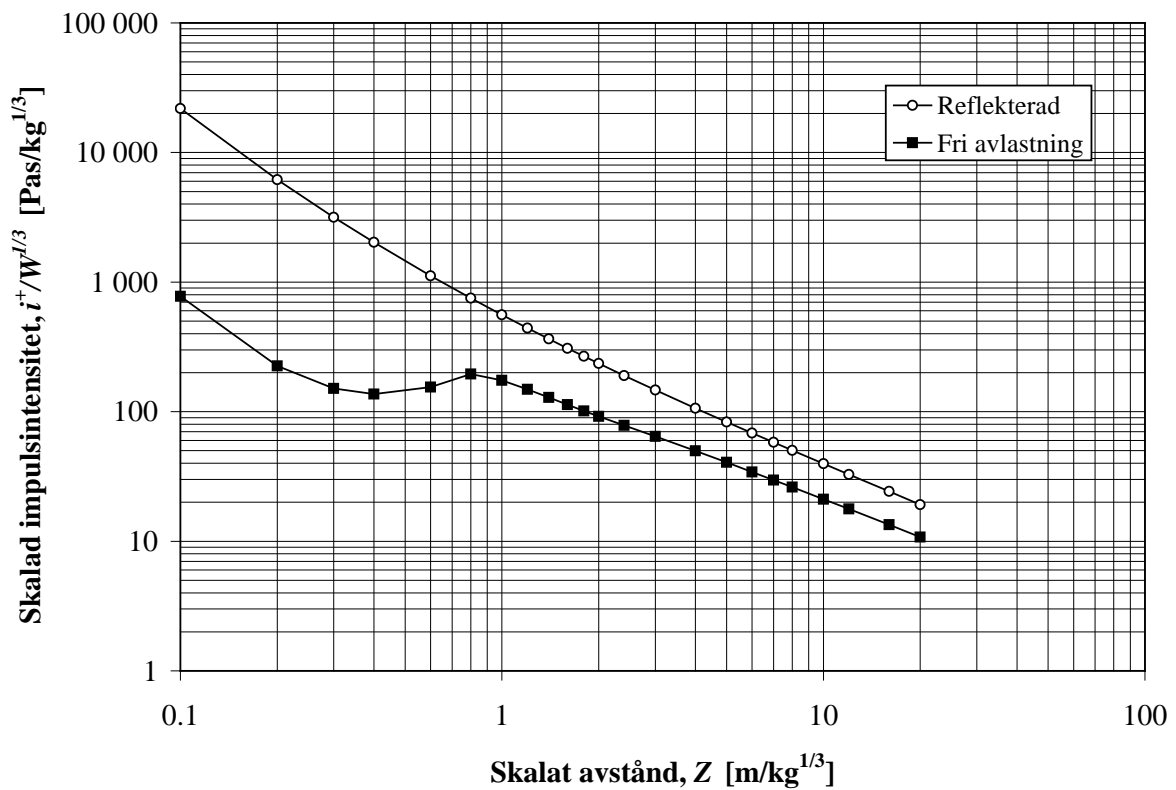
$$t_{\Delta}^+ = \frac{2i^+}{P^+} \quad (4.4)$$

I Figur 4.1 till Figur 4.3 redovisas, som funktion av det skalade avståndet Z , tryck, impulstäthet, ankomsttid och varaktighet för en explosion med möjlighet till fri, sfärisk avlastning. För tryck och impulstäthet ges samband för både oreflekterad och reflekterad (normalreflexion) stötvåg – för ankomsttid och varaktighet är dessa dock desamma för båda fallen. Det ska även noteras att impulstätheten, ankomsttid samt varaktighet har skalats med hänsyn till laddningens storlek $W^{1/3}$. Tabellerade värden presenteras i Tabell 4.1.

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

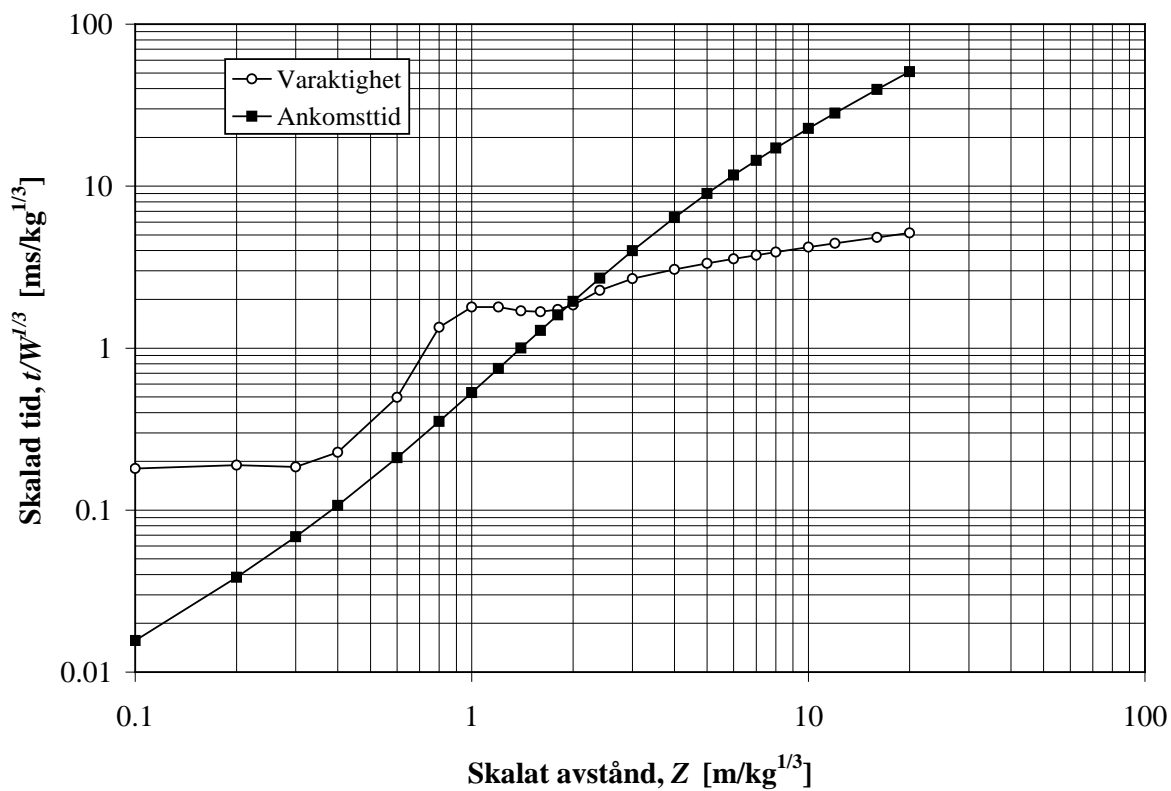


Figur 4.1 Reflekterat och oreflekterat övertryck som funktion av det skalade avståndet Z .



Figur 4.2 Reflekterad och oreflekterad impulstäthet som funktion av det skalade avståndet Z .

Beräkning av impulsbelastad konstruktion



Figur 4.3 Ankomsttid och varaktighet som funktion av det skalade avståndet Z .

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Tabell 4.1 Stötvågsp parametrar från ConWep som i Figur 4.1 till Figur 4.3 redovisas grafiskt.

Z [m/kg ^{1/3}]	P_s^+ [kPa]	P_r^+ [kPa]	i_s^+ [Pas/kg ^{1/3}]	i_r^+ [Pas/kg ^{1/3}]	t_a [ms]	t^+ [ms]
0,1	30 830	368 300	775	21 840	0,016	0,180
0,2	15 300	158 000	226	6 176	0,038	0,190
0,3	8 996	83 360	151	3 164	0,069	0,185
0,4	5 745	48 800	137	2 026	0,107	0,228
0,6	2 747	19 800	155	1 119	0,211	0,496
0,8	1 521	9 384	196	752	0,352	1,346
1	935	5 006	175	559	0,532	1,795
1,2	620	2 931	149	442	0,749	1,792
1,4	437	1 851	129	364	1,001	1,697
1,6	322	1 242	113	309	1,286	1,679
1,8	247	877	101	267	1,601	1,729
2	195	646	92	236	1,944	1,846
2,4	130	387	78	190	2,702	2,272
3	82	215	64	147	3,988	2,684
4	46	110	50	106	6,396	3,064
5	31	70	41	83	8,996	3,334
6	23	50	34	68	11,692	3,556
7	18	39	30	58	14,432	3,748
8	15	32	26	50	17,190	3,916
10	11	23	21	40	22,720	4,200
12	9	18	18	33	28,280	4,434
16	6	12	13	24	39,480	4,822
20	5	9	11	19	50,960	5,142

5 Negativ fas

Information om negativ fas har ännu inte lagts in i detta dokument. För detaljerad information se Johansson och Laine (2012a, 2012b).