

B04-101

Beräkningsexempel för last Last från 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 Förutsättningar	1
3 Lastbestämning	2
3.1 Skalat avstånd Z	2
3.2 Resulterande stötvågsp parametrar	3
3.3 Bestämning av last	5

1 Orientering

1.1 Samlingsdokument

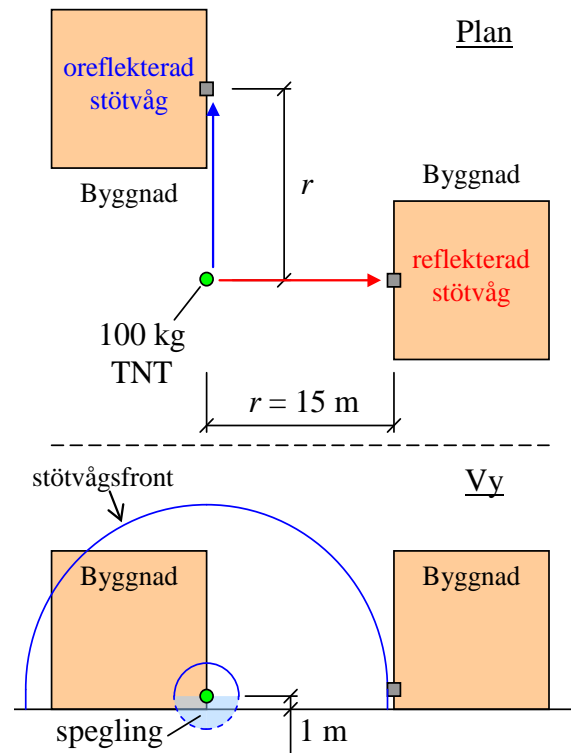
För allmän information om MSB:s kunskapsdokument i serien Beräkning av impulsbelastade konstruktioner, se dokument B01-101. Där ges bland annat övergripande bakgrund, en sammanfattande beteckningslista samt referenser. För en förteckning av utgivna och kommande dokument i serien hänvisas till dokument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

1.2 Om detta dokument

I detta dokument går ett enklare beräkningsexempel igenom för att belysa hur resulterande last (positiv fas) tas fram för en TNT-explosion i det fria. Teoretisk bakgrund för här utförda beräkningar behandlas i Johansson (2012) samt Johansson och Laine (2012a) och en sammanställning av beräkningsanvisningar ges i dokument B02-111.

2 Förutsättningar

I Figur 2.1 illustreras studerat belastningsfall. En laddning, motsvarande 100 kg TNT, antas explodera 1 m ovan marknivå. I närheten av laddningen står två byggnader som kommer utsättas för last av varierande storlek. Här studeras två renodlade fall – effekten av det tryck som fås från en normalreflekterad stötvåg samt trycket för en oreflekterad stötvåg på samma avstånd $r = 15$ m.



Figur 2.1 En laddning motsvarande 100 kg TNT, placerad 1 m ovan mark, exploderar och last mot utsatta byggnadsdelar på ett avstånd $r = 15$ m bestäms.

3 Lastbestämning

3.1 Skalat avstånd Z

Det skalade avståndet Z är en parameter som används för att beskriva styrkan hos en explosion. Det definieras som

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

där r är det verkliga avståndet och W symboliserar explosionens energimängd uttryckt i mängd sprängämne (vanligen i kg TNT). För här studerat fall uppgår laddningsvikten till 100 kg TNT och avståndet r till 15 m. I och med att laddningen är placerad nära marken i förhållande till avståndet till studerad punkt (1 m höjd jämfört med ett avstånd på 15 m) så kommer den resulterande stöt vågens utbredning i princip begränsas till en halvsfärisk utbredning såsom illustreras i Figur 2.1. Dvs. ett fenomen motsvarande så kallad spegling uppstår vilket innebär att frisläppt energi koncentreras till en mindre volym. Detta innebär att laddningsvikten W_{mod} kan räknas upp med en faktor α

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

för att beakta den energikoncentration som denna förhindrade volymutbredning innebär. För fall med perfekt reflexion mot marken blir $\alpha = 2,0$ men eftersom viss energimängd i verkligheten går

Beräkning av impulsbelastad konstruktion

ner i marken fås i praktiken ett lägre värde. Här används $\alpha = 1.8$, vilket innebär en modifierad laddningsvikt

$$W_{\text{mod}} = 1,8 \cdot 100 = 180 \text{ kg TNT} \quad (3.3)$$

varvid det skalade avståndet kan beräknas till

$$Z = \frac{15}{180^{1/3}} = 2,66 \text{ m/kg}^{1/3} \quad (3.4)$$

3.2 Resulterade stötvågsparametrar

Utgående från det skalade avståndet kan aktuella stötvågsparametrar bestämmas från samband i dokument B02-111. I Tabell 3.1 redovisas de närliggande värden som fås från denna. Slutliga värden bestäms med användande av linjär interpolation¹ enligt

$$S = S_1 + \frac{(S_1 - S_2)}{(Z_1 - Z_2)} \cdot (Z - Z_1) \quad (3.5)$$

där S är sökt stötvågsparameter för aktuellt skalat avstånd Z , S_1 och Z_1 är värden för punkt 1 och S_2 och Z_2 är värden för punkt 2. I Figur 3.1 till Figur 3.3 illustreras framtagning av aktuella stötvågsparametrar ur diagram.

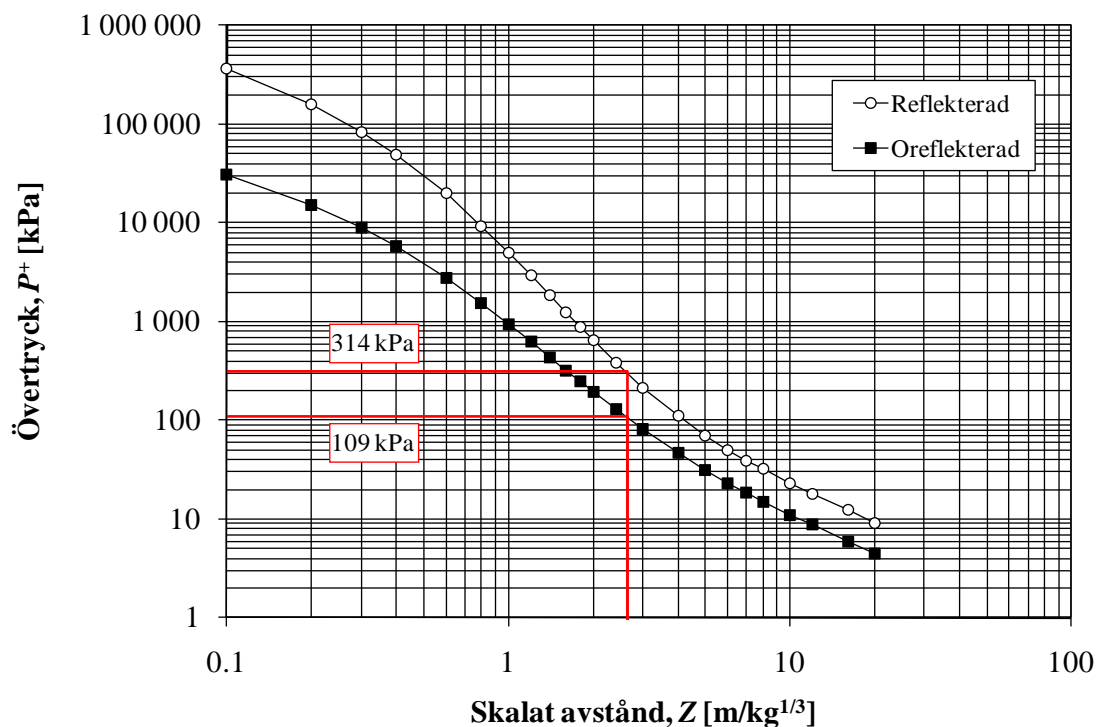
Det ska noteras att givna impulstätheter och tider är skalade med hänsyn till laddningens storlek och att en multiplikation av $W^{1/3} = 180^{1/3} = 5,65 \text{ kg}^{1/3}$ är nödvändig för att få fram aktuella värden på dessa, något som också redovisas i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Stötvågsparametrar för studerat lastfall. Värden i kolumn för Punkt 1 och Punkt 2 har hämtats från dokument B02-111. Resulterade stötvågsparametrar har sedan från dessa beräknats med linjär interpolation enligt ekvation (3.5).

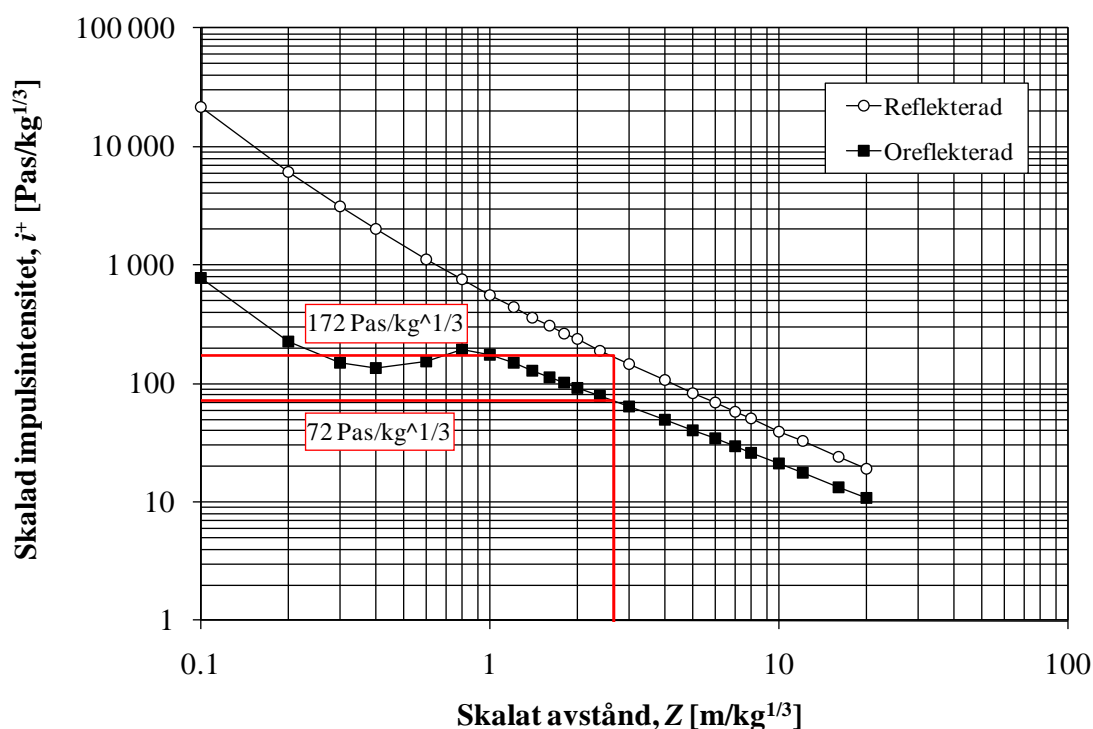
Parameter	Enhet	Punkt 1	Punkt 2	Resultat	Parameter	Enhet	Resultat
Z	[m/kg ^{1/3}]	2,4	3,0	2,66	Z	[m/kg ^{1/3}]	2,66
P_s^+	[kPa]	130	82	109	P_s^+	[kPa]	109
P_r^+	[kPa]	387	216	314	P_r^+	[kPa]	314
$i_s^+ / W^{1/3}$	[Pas/kg ^{1/3}]	78	64	72	i_s^+	[Pas]	408
$i_r^+ / W^{1/3}$	[Pas/kg ^{1/3}]	190	147	172	i_r^+	[Pas]	970
$t_a / W^{1/3}$	[ms/kg ^{1/3}]	2,70	3,99	3,25	t_a	[ms]	18,36
$T^+ / W^{1/3}$	[ms/kg ^{1/3}]	2,27	2,68	2,45	T^+	[ms]	13,82

¹ Logaritmisk interpolation är mer korrekt men här använd metod ger tillräcklig noggrannhet.

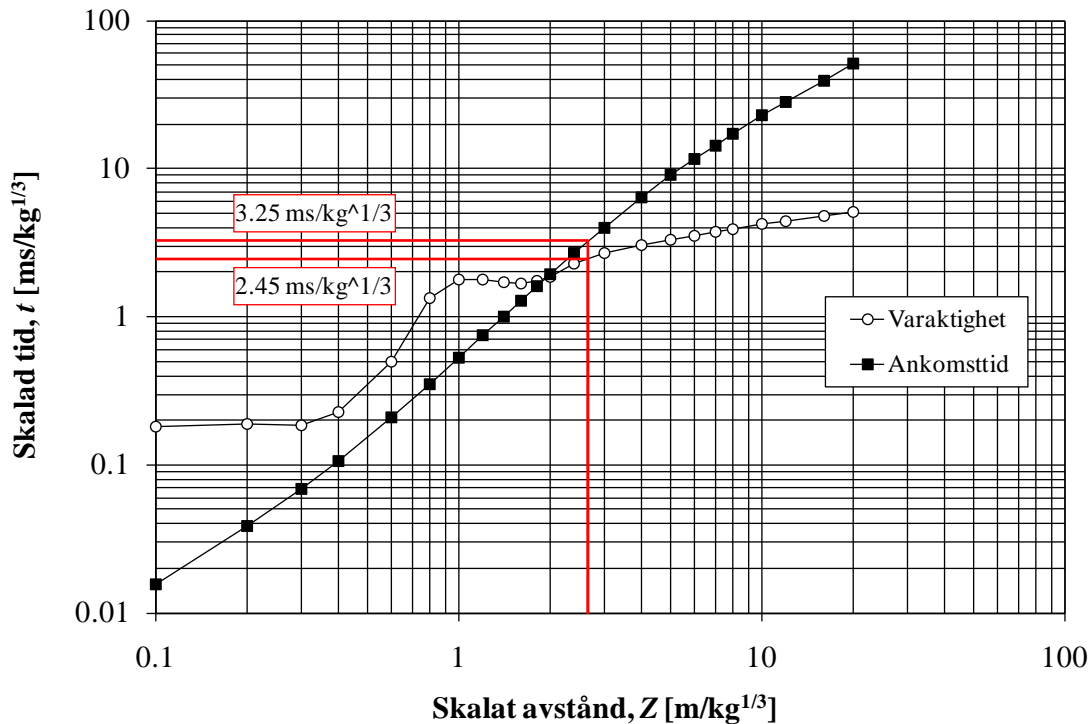
Beräkning av impulsbelastad konstruktion



Figur 3.1 Bestämning av reflekterat och oreflekerat övertryck för det skalade avståndet $Z = 2,66 m/kg^{1/3}$.



Figur 3.2 Bestämning av reflekterad och oreflekerad skalad impulstäthet för det skalade avståndet $Z = 2,66 m/kg^{1/3}$.



Figur 3.3 Bestämning av skalad ankomsttid och skalad varaktighet för det skalade avståndet $Z = 2,66 \text{ m/kg}^{1/3}$.

3.3 Bestämning av last

Utgående från framtagna stötvågsparametrar i Tabell 3.1 kan det slutliga utseendet på explosionslasten bestämmas. I enlighet med dokument B02-111 kan stötvågens tryck-tidssamband uttryckas som

$$P^+(t) = P^+ \left(1 - \frac{t}{T^+} \right) e^{-\alpha t/t^+} \quad (3.6)$$

där α är en avklingningsfaktor som kan lösas ut från uttrycket

$$i^+ = P^+ t^+ \left[\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^2} (1 - e^{-\alpha}) \right] \quad (3.7)$$

när värden för P^+ , i^+ samt t^+ är kända.

En vanligt förekommande, och i regel fullt acceptabel, förenkling är att istället beskriva lasten med ett linjärt avtagande tryck utgående från aktuellt övertryck och impulstäthet. Dvs. en fiktiv varaktighet $t_{r,\Delta}^+$ beräknas. Används denna förenkling fås för den reflekterade stötvågen

$$t_{r,\Delta}^+ = \frac{2i_r^+}{P_r^+} = \frac{2 \cdot 970}{314} = 6,2 \text{ ms} \quad (3.8)$$

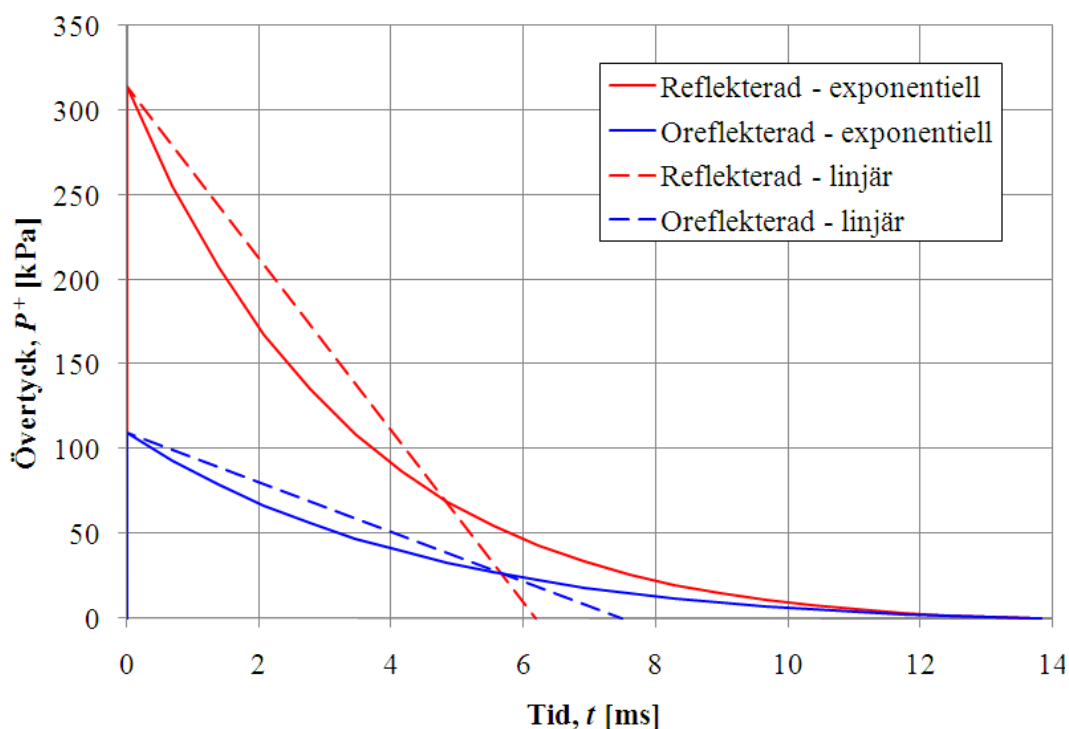
och för den oreflekterade stötvågen

$$t_{s,\Delta}^+ = \frac{2i_s^+}{P_s^+} = \frac{2 \cdot 408}{109} = 7,5 \text{ ms} \quad (3.9)$$

I Tabell 3.2 sammanställs aktuella stötvågsparametrar för reflekterad och oreflekterad belastning när exponentiell respektive linjär tryckminskning antas och utgående från dessa kan sedan tryck-tidssambanden i Figur 3.4 upprättas. Det kan noteras att den fiktiva varaktigheten t_{Δ}^+ för reflekterad och oreflekterad stötvåg skiljer sig åt medan varaktigheterna för exponentiellt avtagande tryckkurva är desamma. Det senare är fysikaliskt korrekt. I det förenklade tryck-tidssambandet med varaktighet t_{Δ}^+ fås dock en skillnad eftersom impulstätheten inte ökar lika mycket som övertrycket vid en övergång från oreflekterad till reflekterad stötvåg.

Tabell 3.2 Stötvågsparametrar för reflekterad och oreflekterad belastning vid antagande om exponentiellt respektive linjärt avtagande tryck.

Exponentiellt avtagande tryck				Linjärt avtagande tryck			
Oreflekterad stötvåg		Reflekterad stötvåg		Oreflekterad stötvåg		Reflekterad stötvåg	
P_s^+	109 kPa	P_r^+	314 kPa	P_s^+	109 kPa	P_r^+	314 kPa
i_s^+	408 Pas	i_r^+	970 Pas	i_s^+	408 Pas	i_r^+	970 Pas
t_s^+	13,82 ms	T_r^+	13,82 ms	$t_{s,\Delta}^+$	7,5 ms	$t_{r,\Delta}^+$	6,2 ms
α	2,21	α	3,09				



Figur 3.4 Tryck-tidssamband för reflekterad och oreflekterad stötvåg när exponentiellt respektive linjärt tryckavtagande antas, se Tabell 3.2.