

B04-402

Beräkningsexempel av markstötstågslast Med reflexioner från markytan och undre jordlager

Författare: Leo Laine. Ansvarig utgivare: Lars Gråberg.

1 Orientering	2
1.1 Samlingsdokument	2
1.2 Om detta dokument	2
2 Förutsättningar	2
3 Verkande markstötstågslast	3
3.1 Avstånden för direkt-, avlastnings- och bottenreflekteradvåg	3
3.2 Maximalt tryck, ankomsttid, och stigtid för alla vågor	3
3.3 Tryckstågornas amplitud och som funktion av tiden	4

1 Orientering

1.1 Samlingsdokument

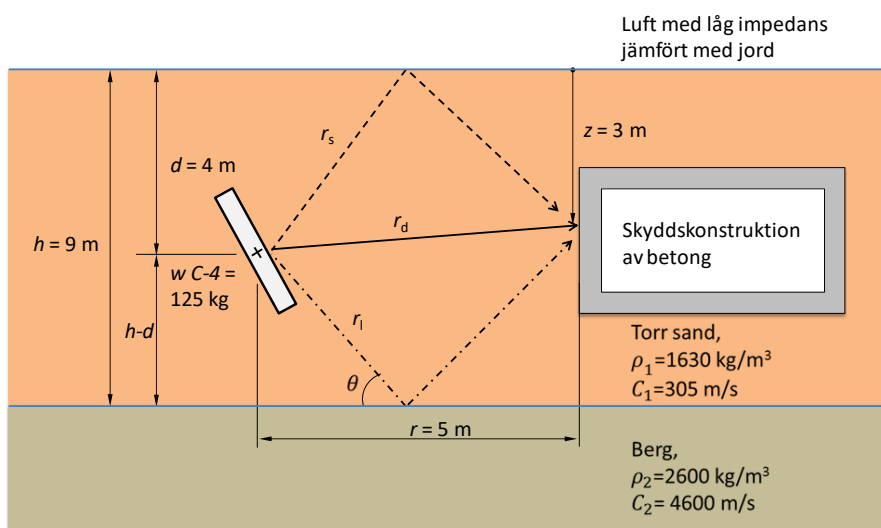
För allmän information om MSB:s kunskapsdokument i serien Beräkning av impulsbelastade konstruktioner, se dokument B01-101. Där ges bland annat övergripande bakgrund, en sammanfattande beteckningslista samt referenser. För en förteckning av utgivna dokument i serien hänvisas till dokument B01-102.

1.2 Om detta dokument

I detta dokument visas ett beräkningsexempel på hur markstöt vågslast kan beräknas för en punkt i jorden med avståndet r från detonerande laddning. Först bestäms maximala värden lastvärden och därefter ges tryck och partikelhastighet som funktion av tiden. Teoretisk bakgrund för här utförda beräkningar behandlas i Laine (2012). En sammanställning av beräkningsanvisningar ges i dokument B02-301. Det rekommenderas att först gå igenom beräkningsexempel markstöt våg utan reflexioner i dokumen.

2 Förutsättningar

I Figur 2.1 illustreras studerat belastningsfall. En laddning, motsvarande $W = 125$ kg Composition C-4, antas detonera $d = 4$ m under markytan. En punkt i jorden studeras med avseende på markstöt vågslast. Punkten befinner sig det horisontella avståndet $r = 5$ m från laddningens centrum och på djupet $z = 3$ m från markytan. Markmaterialet utgörs av torr sand med densitet $\rho_1 = 1630$ kg/m³ samt seismisk våghastighet $c_1 = 305$ m/s. Det undre lagret antas befinna sig på djupet $h = 9$ m och bestå av berg med densitet $\rho_2 = 2600$ kg/m³ och seismisk våghastighet $c_2 = 4600$ m/s.



Figur 2.1 En laddning motsvarande $W = 125$ kg Composition C4, placerad 4 m under markytan, exploderar och markstöt vågslast studeras på horisontella avståndet 5 m och djupet 3 m. Reflexioner från markytan och undre markmaterial med högre impedans tas med i beaktning.

3 Verkande markstövågslast

3.1 Avstånden för direkt-, avlastnings- och bottenreflekteradvåg

Första steget i beräkningen är att bestämma avstånden för direkt-, avlastnings- och bottenreflekteradvåg enligt ekvationerna

$$r_d = \sqrt{(4-3)^2 + 5^2} = 5,1 \text{ m} \quad (3.1)$$

$$r_s = \sqrt{(4+3)^2 + 5^2} = 8,6 \text{ m} \quad (3.2)$$

$$r_l = \sqrt{(2 \cdot 9 - 4 - 3)^2 + 5^2} = 12,1 \text{ m} \quad (3.3)$$

3.2 Maximalt tryck, ankomsttid, och stigtid för alla vågor

Det skalade laddningsdjupet är $D = d / W^{1/3} = 0,8 \text{ m/kg}^{1/3}$, vilket ger en fördämningsfaktor på $f = 1,0$, se beräkningsanvisningar i dokument B02-301. Även ankomsttider, stigtider och maxtryck kan bestämmas med ekvationerna i detta dokument. Maxtrycket för direktvågen är lika med P_0 . Den ytre reflekterade vågen har getts negativt tecken, $-P_0$ medan den bottenreflekterade vågen får ett maxtryck på $K \cdot P_0$. Här behöver reflexionskoefficienten K beräknas, vilken i sin tur beror på reflexionsvinkeln θ . Denna kan beräknas ur sambandet

$$\sin \theta = \frac{r}{r_l} = \frac{5,0}{12,1} \rightarrow \theta = 24,4^\circ \quad (3.4)$$

Ur detta kan villkoret för reflexionsekvationen beräknas som

$$1 - \left(\frac{c_1}{c_2} \sin \theta \right)^2 = 1 - \left(\frac{305}{4600} \sin 24,4 \right)^2 = 0,999 > 0 \quad (3.5)$$

Ekvation (3.5) innebär att koefficienten K_θ kan beräknas som

$$K_\theta = \frac{\rho_1 \cdot c_1}{\rho_2 \cdot c_2} \sqrt{1 - \left(\frac{c_1}{c_2} \sin \theta \right)^2} = \frac{1630 \cdot 305}{2600 \cdot 4600} \cdot \sqrt{0,999} = 0,042 \quad (3.6)$$

varvid reflexionskoefficienten slutligen kan beräknas som

$$K = \frac{\cos \theta - K_\theta}{\cos \theta + K_\theta} = \frac{\cos 24,4 - 0,042}{\cos 24,4 + 0,042} = 0,91 \quad (3.7)$$

Resultaten för ankomsttid, stigtid, och maxtryck summeras i Tabell 3.1. Se även beräkningsexempel B04-401, hur direktvågen beräknades, observera skillnaden att i tidigare beräkningsexempel, B04-401, är avståndet $r = 5 \text{ m}$ för direktvågen, här i detta exempel är avståndet $r_d = 5,1 \text{ m}$ vilket leder till ett lägre P_0 värde och längre ankomsttid och stigtid.

Tabell 3.1 Ankomsttid, stigtid, maxtryck för direkt-, ytreflektad- och bottenreflektad våg.

Parameter	Direktvåg $P(r_d)$	Ytreflektad $P(r_s)$	Bottenreflektad $P(r_l)$
t_a [ms]	16,72	28,20	39,62
t_r [ms]	1,67	2,82	3,96
P_0 [kPa]	1807	-429	154
α [-]	1,00	1,00	1,00

3.3 Tryckvågornas amplitud och som funktion av tiden

Nu kan följande exponentialekvationer användas för att beskriva avklingningen

$$P_d = P_0(r_d) \cdot e^{(-\alpha/t_d)} \quad (3.8)$$

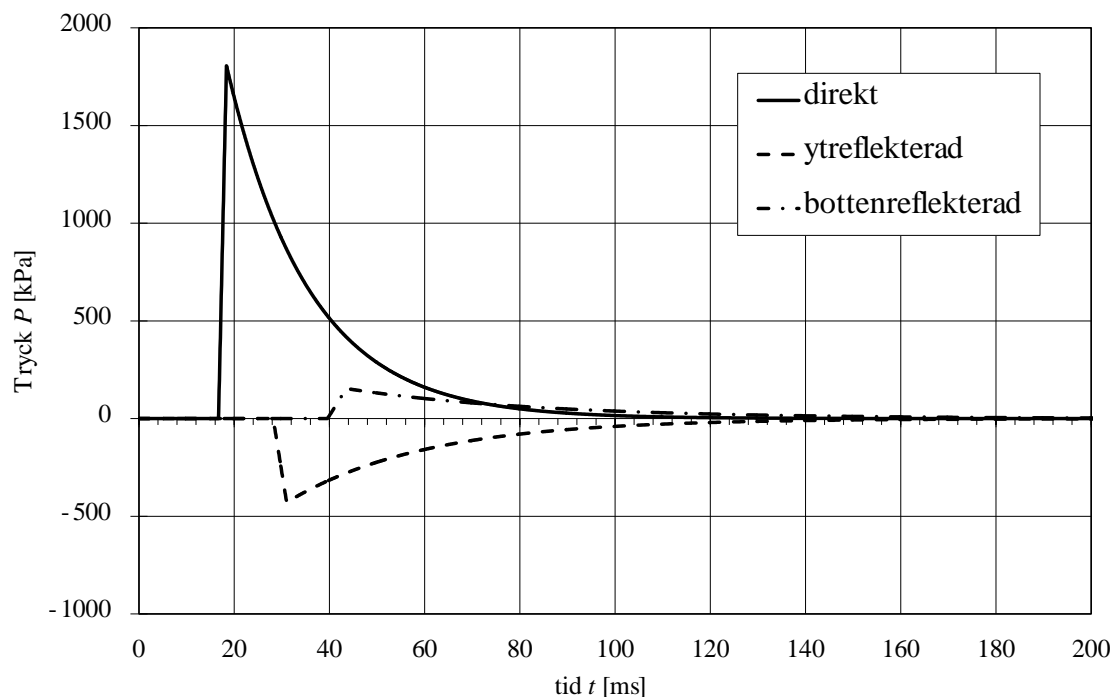
$$P_s = -P_0(r_s) \cdot e^{(-\alpha/t_s)} \quad (3.9)$$

$$P_l = K \cdot P_0(r_l) \cdot e^{(-\alpha/t_l)} \quad (3.10)$$

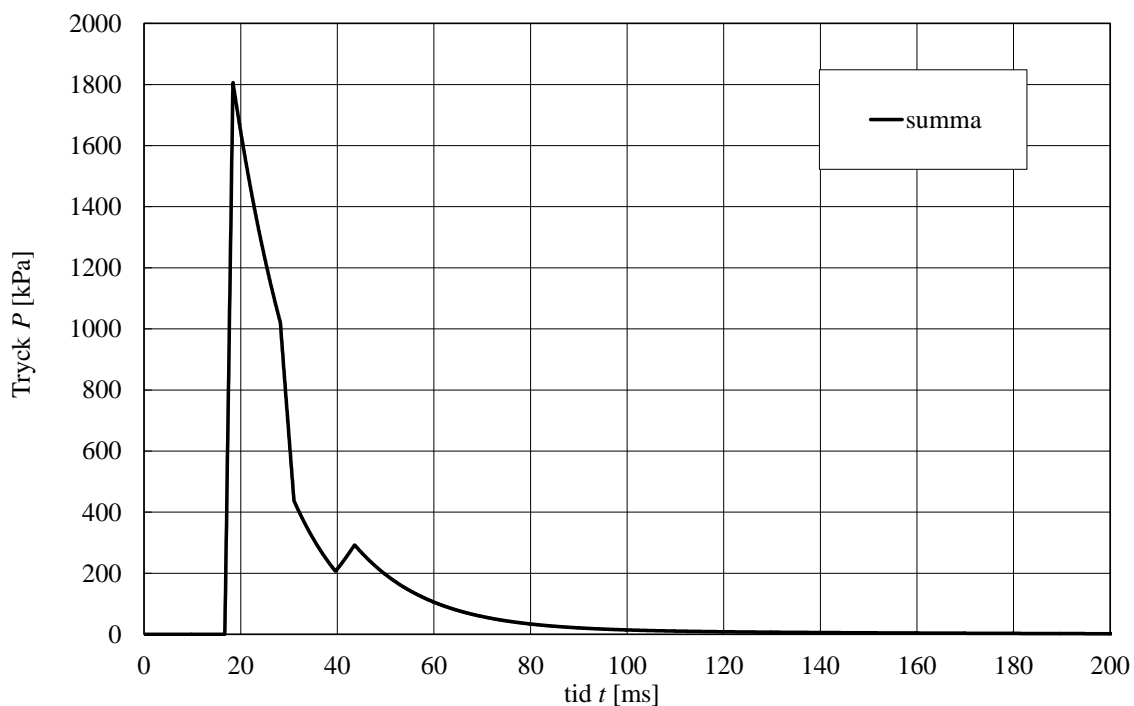
där tryck-tidssambanden har justerats för aktuella avstånd. Direktvågen beräknas enligt ekvation (3.8). I ekvation (3.9) har dock avlastningsvågen fått ett tryck med ett negativt värde, det vill säga en dragvåg, och den bottenreflektade vågen P_l har multiplicerats med en reflexionskoefficient K .

I Figur 3.1 visas tryckvågorna separat för direkt, ytreflektad och bottenreflektad våg. En summering av dessa vågor ger en resulterande tryckvåg enligt Figur 3.2 och motsvarar det tryck-tidssamband som på skyddsstrukturen vid mätpunkten $z = 3$ m på skyddsstrukturen. I det totala tryck-tidssambandet kan noteras hur det har uppstått ett negativt hack i kurvan runt 31 ms på grund av inverkan från ytreflexionen. På motsvarande sätt blir det ett positivt hack i kurvan runt 44 ms på grund av bottenreflexionen. Observera att detta är fortfarande den oreflektade vågen vid skyddsstrukturen vid vinkelrätt reflexion med stel vägg hade en faktor 2 i reflexionsfaktor varit förväntat.

Beräkning av markstövstågslast med reflexioner



Figur 3.1 Direkt-, ytrelekterad-, och bottenreflekterad våg för studerad punkt i beräknings-exempel enligt avsnitt 2.



Figur 3.2 Summering av direkt-, ytrelekterad-, och bottenreflekterad våg för studerad punkt i beräkningsexempel enligt avsnitt 2.