

B04-401

Beräkningsexempel av markstöt vågslast Frifält utan reflexioner

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 markstöt vågslast	3
3.1 Maximal partikelhastighet, tryck, impulstäthet, acceleration, och förskjutning	3
3.2 Ankomsttid och stigtid ⁴	4
3.3 Exponentialfunktioner för tidsavklingning	5

1 Orientering

1.1 Samlingsdokument

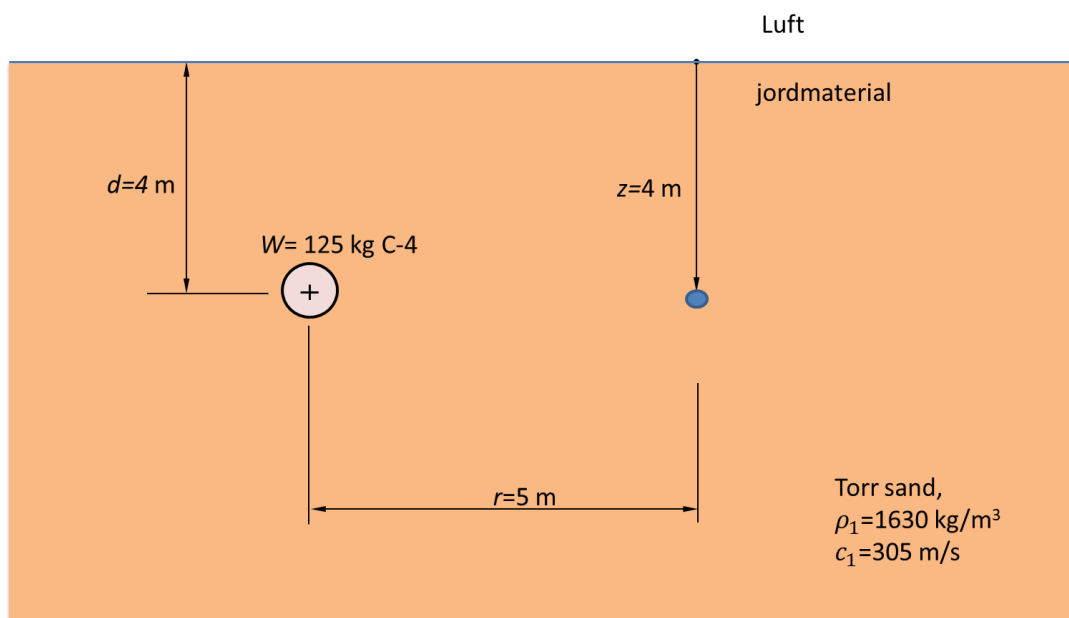
För allmän information om MSB:s kunskapsdokument i serien Beräkning av impulsbelastade konstruktioner, se dokument B01-101. Där ges bland annat övergripande bakgrund, en sammanfattande beteckningslista samt referenser. För en förteckning av utgivna dokument i serien hänvisas till dokument B01-102.

1.2 Om detta dokument

I detta dokument visas ett beräkningsexempel på hur markstövågslast kan beräknas för en punkt i jorden med avståndet r från detonerande laddning. Först bestäms maximala 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.

2 Förutsättningar

I Figur 2.1 illustreras studerat belastningsfall. En laddning, motsvarande $W = 125$ kg av sprängämnet Composition C-4, antas detonera $d = 4$ m under markytan. En punkt i jorden studeras med avseende på markstövågslast. Punkten befinner sig det horisontella avståndet $r = 5$ m från laddningens centrum och på djupet $z = 4$ m från markytan. Markmaterialet utgörs av torr sand med densitet $\rho_1 = 1630$ kg/m³ samt seismisk våghastighet $c_1 = 305$ m/s.



Figur 2.1 En laddning motsvarande $W = 125$ kg Composition C-4, placerad 4 m under markytan, exploderar och markstövågslast studeras på horisontella avståndet på 5 m. Reflexioner från markytan tas ej i beaktning (konservativt).

3 Verkande markstöt våglast

3.1 Maximal partikelhastighet, tryck, impulstäthet, acceleration, och förskjutning

Den maximala partikelhastigheten kan beräknas som

$$u_{p0} = 48,768 \cdot f \cdot \left(2,520811 \cdot \frac{r}{W^{1/3}} \right)^{-n} \quad (3.1)$$

Där fördämningsfaktorn behöver bestämmas, för vår laddning som är sfärisk kan det skalade laddningsdjupet antas vara $D = d / W^{1/3} = 4 / 125^{1/3} = 0,8 \text{ m/kg}^{1/3}$ vilket ger en fördämningsfaktor på $f = 1,0$. Dämpningsfaktorn för torr sand med densitet $\rho_1 = 1630 \text{ kg/m}^3$ och seismisk hastighet $c_1 = 305 \text{ m/s}$ kan bestämmas till $n = 2,75$, se dokument B02-301. Tillsammans ger detta då

$$u_{p0} = 48,768 \cdot 1 \cdot \left(2,520811 \cdot \frac{5}{125^{1/3}} \right)^{-2,75} = 3,84 \text{ m/s} \quad (3.2)$$

Det maximala trycket kan beräknas med

$$P_0 = \rho \cdot c \cdot u_{p0} = 1630 \cdot 305 \cdot 3,836 = 1907 \text{ kPa} \quad (3.3)$$

Maximal impulstäthet kan beräknas med

$$I_0 = 9,870892 \cdot W^{1/3} \cdot \left(\frac{\rho}{515,3179} \right) \cdot \left(2,520811 \cdot \frac{r}{W^{1/3}} \right)^{-n+1} \text{ [kPas]} \quad (3.4)$$

och med insatta värden fås

$$I_0 = 9,870892 \cdot 125^{1/3} \cdot \left(\frac{1630}{515,3179} \right) \cdot \left(2,5208 \cdot \frac{5}{125^{1/3}} \right)^{-2,75+1} = 31,0 \text{ kPas} \quad (3.5)$$

Maximal acceleration kan beräknas med

$$a_0 = 1236,4578 \cdot \frac{f \cdot c}{W^{1/3}} \cdot \left(2,520811 \cdot \frac{r}{W^{1/3}} \right)^{-n-1} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (3.6)$$

och med insatta värden fås

$$a_0 = 1236,4578 \cdot \frac{1 \cdot 305}{125^{1/3}} \cdot \left(2,520811 \cdot \frac{5}{125^{1/3}} \right)^{-2,75-1} = 2354 \text{ m/s}^2. \quad (3.7)$$

Beräkning av markstöt vågslast i frifält utan reflexioner

Slutligen beräknas den maximala förskjutningen som

$$d_0 = 60,4567 \cdot f \cdot W^{1/3} \cdot \frac{1}{c} \cdot \left(2,520811 \cdot \frac{r}{W^{1/3}} \right)^{-n+1} \quad [\text{m}]. \quad (3.8)$$

och med insatta värden fås

$$d_0 = 60,4567 \cdot 1 \cdot 125^{1/3} \cdot \frac{1}{305} \cdot \left(2,520811 \cdot \frac{5}{125^{1/3}} \right)^{-2.75+1} = 0,197 \text{ m}. \quad (3.9)$$

I Tabell 3.1 så har maximala markstöt vågparametrar sammanställts för en 125 kg laddning av C-4 som detonerar fullt nedgrävd i torr sand för det studerade avståndet 5 m.

Tabell 3.1 Maximala markstöt vågparametrar utan reflexioner.

Parameter	Beteckning	Maxvärde	Enhet
Partikelhastighet	U_{p0}	3,84	m/s
Tryck	P_0	1907	kPa
Impuls	I_0	31,0	kPas
Acceleration	a_0	2354	m/s ²
Förskjutning	d_0	0,197	m

3.2 Ankomsttid och stigtid⁴

Ankomsttiden för den studerade markstöt vågen blir

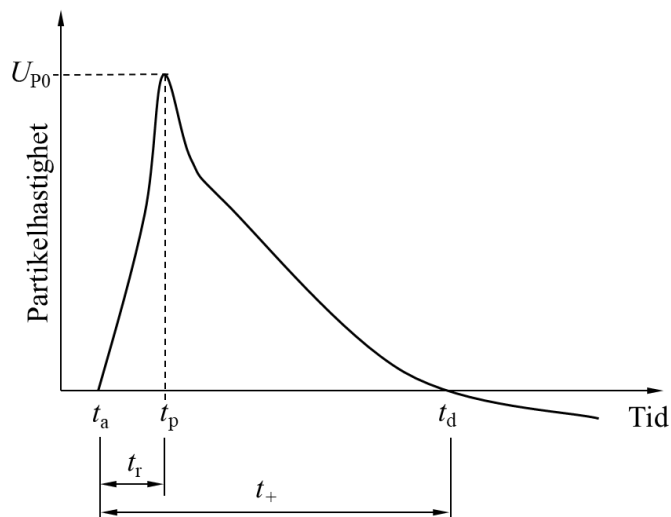
$$t_a = \frac{r}{c} = \frac{5}{305} = 16,4 \text{ ms} \quad (3.10)$$

Stigtiden för markstöt vågen blir således

$$t_r = 0,1 \cdot t_a = 1,6 \text{ ms} \quad (3.11)$$

3.3 Exponentialfunktioner för tidsavklingning

För att beskriva markstövågen som funktion av tid, se Figur 3.1, används exponentialfunktioner för att beskriva avklingningstiden för partikelhastighet och tryck.



Figur 3.1 Partikelhastighet som funktion av tid för en oreflekterad markstövåg.

Följande ekvationer kan användas för att beskriva trycket och partikelhastigheten som funktion av tiden

$$P(t) = P_0 \cdot e^{-\alpha t / t_a} \quad (3.12)$$

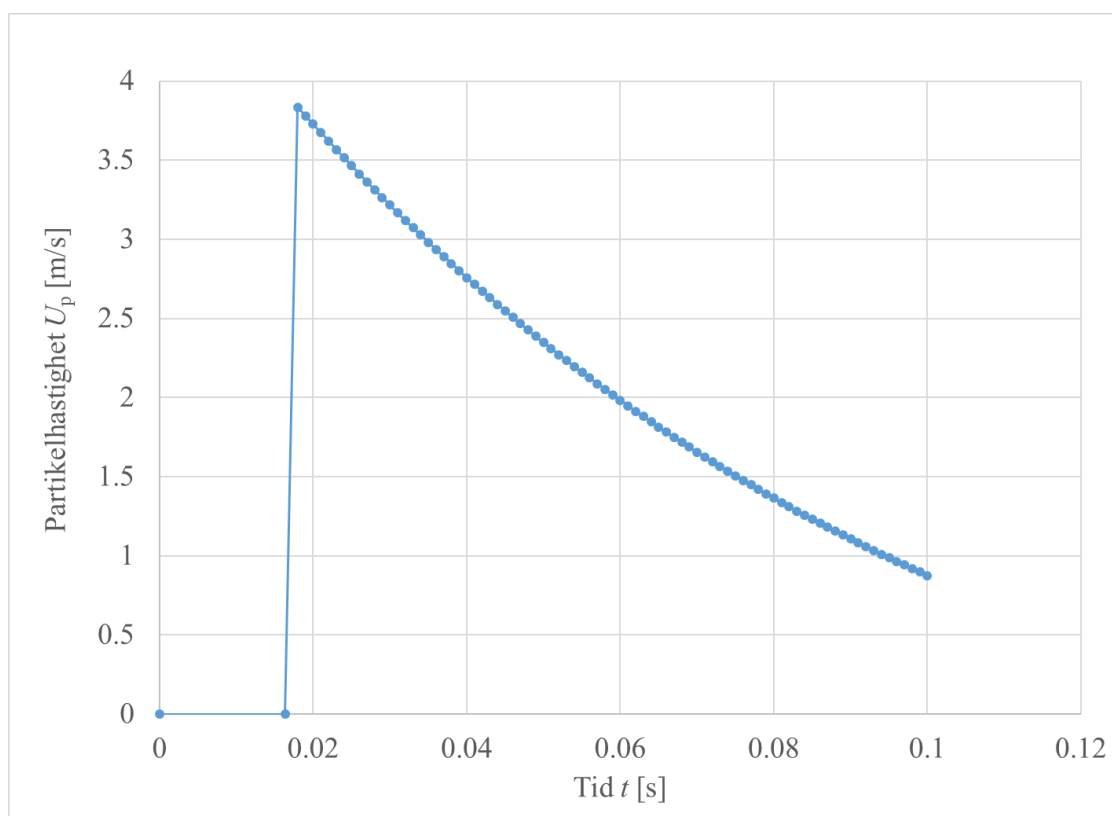
och

$$U_p(t) = U_{p0} \cdot (1 - \beta \cdot t / t_a) e^{-\beta t / t_a} \quad (3.13)$$

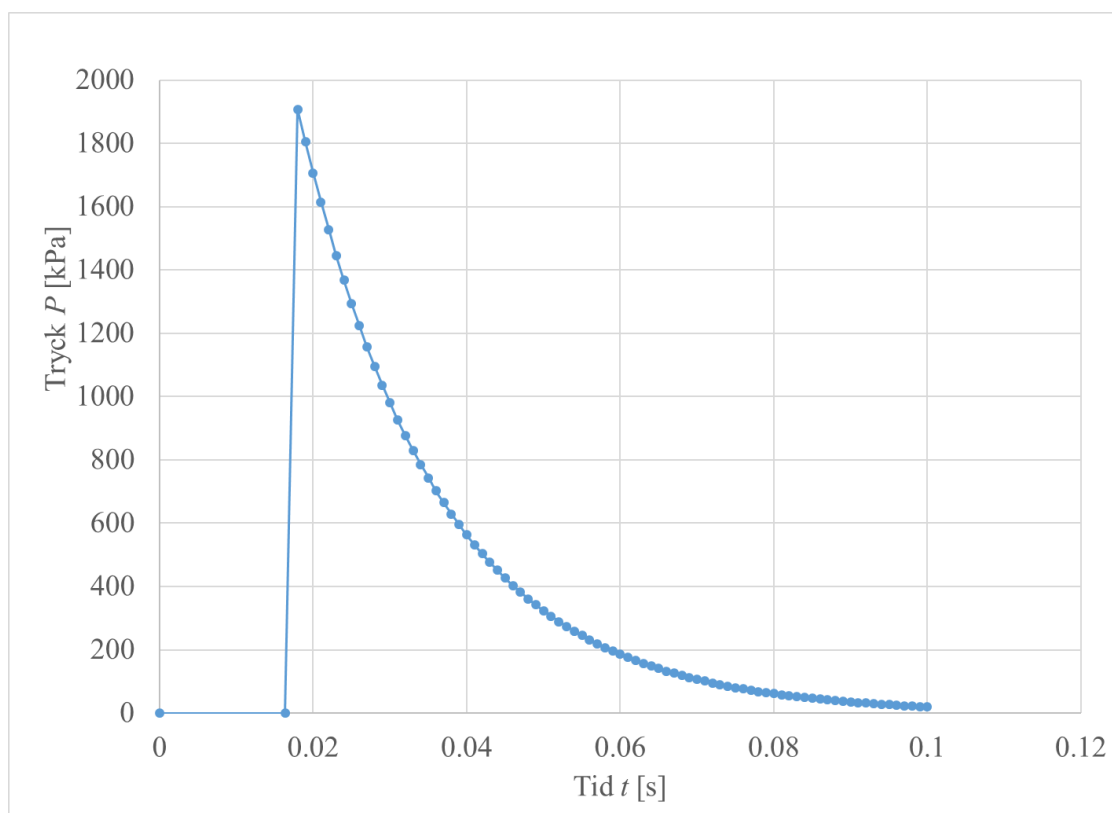
där tiden $t \geq t_a + t_r$, P_0 maximalt tryck och maximal partikelhastighet U_{p0} har redan beräknats i avsnitt 3.1. Följande värden användes för tidskonstanterna

$$\alpha = 1,0 \text{ och } \beta = 1/8,5 \quad (3.14)$$

Då fås följande diagram för markstövågslasten i den studerade punkten, se Figur 3.2 och Figur 3.3. Dessa värden är för en oreflekterad markstövåg våg. För en reflekterande våg såsom vinkelrät reflexion mot en stel vägg fås en reflexionsfaktor på 2.



Figur 3.2 Partikelhastighet som funktion av tid för en oreflekterad markstövåg.



Figur 3.3 Tryck som funktion av tid för en oreflekterad markstövåg.