

**B04-201**

## **Beräkningsexempel för last Last från splitterverkan**

Författare: Joosef Leppänen. Ansvarig utgivare: Björn Ekengren.

<b>1 Orientering</b>	<b>1</b>
1.1 Samlingsdokument	1
1.2 Om detta dokument	1
<b>2 Förutsättningar</b>	<b>2</b>
<b>3 Splitterfördelning</b>	<b>2</b>
<b>4 Splitterhastighet</b>	<b>4</b>
<b>5 Splitterverkan i betongkonstruktioner</b>	<b>5</b>
5.1 Penetration	5
5.2 Perforation	6
5.3 Utstötning	7
5.4 Jämförelse mellan skadefenomen	8

## **1 Orientering**

### **1.1 Samlingsdokument**

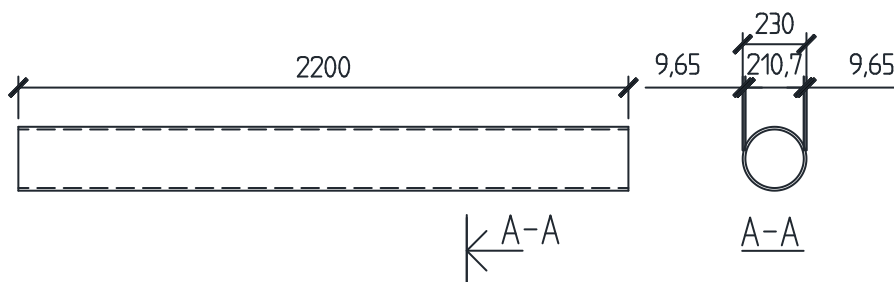
För allmän information om MSB:s kunskapsdokument i serien Beräkning av impulsbelastade konstruktioner, se dokument B01-101. Där ges bland annat övergripande bakgrund, en sammanfattande beteckningslista samt referenser. För en förteckning av utgivna och kommande dokument i serien hänvisas till dokument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

### **1.2 Om detta dokument**

I detta dokument visas beräkningsexempel för MSB:s så kallade arkivbomb där splitterfördelning och splitterhastigheter för olika splittermassor tas fram. Vidare bestäms penetrationsdjup, erforderlig tjocklek hos en konstruktion för att undvika perforation och utstötning i en betongvägg för varierande splittermassa och hastighet. Teoretisk bakgrund för redovisade beräkningar behandlas i Leppänen (2012) och en sammanställning av beräkningsanvisningar ges i dokument B02-201.

## 2 Förutsättningar

Splitterbelastningen i detta exempel består av MSB:s så kallade arkivbomb. Detta är en fiktiv laddning som av MSB används för att beskriva en viss verkan. Bomben har en cylindrisk form med geometri enligt Figur 2.1 samt Tabell 2.1. Arkivbomben definieras som den lasteffekt – det vill säga stötvågs- och splitterbelastning från detonationen – som motsvarar en 250 kg minbomb med 50 viktprocent trotyl (TNT) som briserar 5,0 meter från skyddets utsida vid fri tryckavlastning.



Figur 2.1 Geometri för arkivbomb.

Tabell 2.1 Data för arkivbomb.

Form	Cylindrisk
Massa bomb, $M_b$	250 kg
Massa sprängmedel, TNT, $W$	125 kg
Splittergivande massa	114,6 kg
Längd, $L$	2,2 m
Ytterdiameter, $d_b$	230 mm
Innerdiameter, $d_i$	210,7 mm
Höljets tjocklek, $t_h$	9,65 mm
Splitterfördelningsparameter, $M_A$	$2,28 \cdot 10^{-3}$ kg
Motts konstant, $B$	$3,67 \text{ kg}^{1/2} / \text{m}^{7/6}$

## 3 Splitterfördelning

Splitterfördelningsparametern  $M_A$  beräknas som

$$M_A = B^2 \cdot t_h^{5/3} \cdot d_i^{2/3} \left(1 + \frac{t_h}{d_i}\right)^2 \quad (3.1)$$

och med indata enligt Tabell 2.1 fås

$$M_A = 3,67^2 \cdot (9,65 \cdot 10^{-3})^{5/3} \cdot (0,2107)^{2/3} \left(1 + \frac{9,65 \cdot 10^{-3}}{0,2107}\right)^2 = 2,28 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad (3.2)$$

## Beräkning av impulsbelastad konstruktion

Antalet splitter som har massan större än ett splitter med massan  $m_s$  fås som

$$n_{ms} = \frac{M_h}{2M_A} e^{-\sqrt{\frac{m_s}{M_A}}} \quad (3.3)$$

där  $M_h = 114,6$  kg är bombens splittergivande massa och  $M_A$  är splitterfördelningsparametern enligt Tabell 2.1 respektive ekvation (3.2). Totala antalet splitter fås genom att sätta  $m_s = 0$ , vilket ger

$$n_s = \frac{M_h}{2M_A} = \frac{114,6}{2 \cdot 2,28 \cdot 10^{-3}} = 25\,132 \text{ st} \quad (3.4)$$

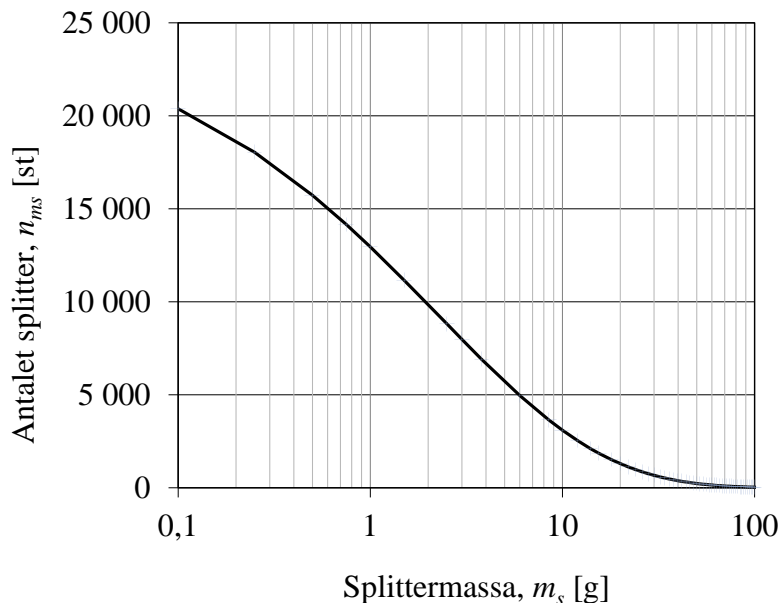
Antalet splitter som har massan större än ett splitter med massan  $m_s = 0,1$  g fås enligt följande

$$n_{ms} = \frac{M_h}{2M_A} e^{-\sqrt{\frac{m_s}{M_A}}} = \frac{114,6}{2 \cdot 2,28 \cdot 10^{-3}} e^{-\sqrt{\frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{2,28 \cdot 10^{-3}}}} = 20\,383 \text{ st} \quad (3.5)$$

medan antalet splitter som har massan större än ett splitter med massan  $m_s = 100$  g endast blir

$$n_{ms} = \frac{M_h}{2M_A} e^{-\sqrt{\frac{m_s}{M_A}}} = \frac{114,6}{2 \cdot 2,28 \cdot 10^{-3}} e^{-\sqrt{\frac{0,100}{2,28 \cdot 10^{-3}}}} = 33 \text{ st} \quad (3.6)$$

I Figur 3.1 redovisas antalet splitter med massan större än  $m_s$  för en arkivbomb från 0,1 g upp till 100 g i logaritmisk skala.



Figur 3.1 Antalet splitter med en massa större än  $m_s$  för en arkivbomb.

## 4 Splitterhastighet

För arkivbomben fås sprängämnesmassa  $W$  och höljets massa  $M_h$  som

$$W = 125 \text{ kg}$$

$$M_h = 125 \text{ kg}$$

För att bestämma splitterhastighet kan splittrens utgångshastighet  $v_0$  för arkivbomben bestämmas som

$$v_0 = 2400 \cdot (1 - e^{-2W/M_h}) = 2400 \cdot (1 - e^{-2 \cdot 125/125}) = 2075 \text{ m/s} \quad (4.1)$$

Splitterhastigheten i luften,  $v_r$ , avtar med sträckan  $r$  och den kan bestämmas som

$$v_r = v_0 e^{-0,00456r/\sqrt[3]{m_s}} \quad (4.2)$$

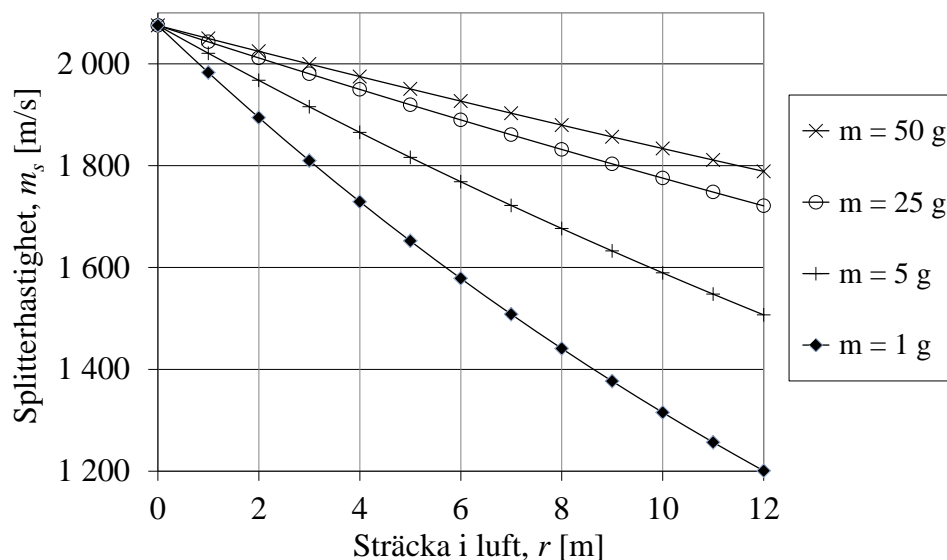
där  $v_0$  beräknas enligt ekvation (4.1) och  $m_s$  är splittermassa i [kg].

Exempelvis fås splitterhastigheten med ekvation (4.2) för ett splitter med massan 50 g på ett avstånd på 5 m som

$$v_r = 2075 e^{-0,00456 \cdot 5 / \sqrt[3]{0,050}} = 1951 \text{ m/s} \quad (4.3)$$

där utgångshastighet  $v_0$  beräknas enligt ekvation (4.1)

I Figur 4.1 visas splitterhastigheter på olika avstånd för splitter med varierande massa från 1 g upp till 50 g.



Figur 4.1 Splitterhastigheter med varierande splittermassa och avstånd från en arkivbomb.

## 5 Splitterverkan i betongkonstruktioner

### 5.1 Penetration

Penetrationsdjupet  $x$  i [mm] för ett splitter i betong kan beräknas som

För en betongvägg med hållfastheten  $f_c = 30$  MPa fås

$$x = \frac{26,9m_s^{0,37}v_s^{0,9}}{f_c^{0,25}} = \frac{26,9m_s^{0,37}v_s^{0,9}}{(30 \cdot 10^6)^{0,25}} \quad \text{för } x \leq 117m_s^{1/3} \quad (5.1)$$

och

$$x = \frac{4,35m_s^{0,4}v_s^{1,8}}{f_c^{0,5}} + 40,6m_s^{1/3} = \frac{4,35m_s^{0,4}v_s^{1,8}}{(30 \cdot 10^6)^{0,5}} + 40,6m_s^{1/3} \quad \text{för } x > 117m_s^{1/3} \quad (5.2)$$

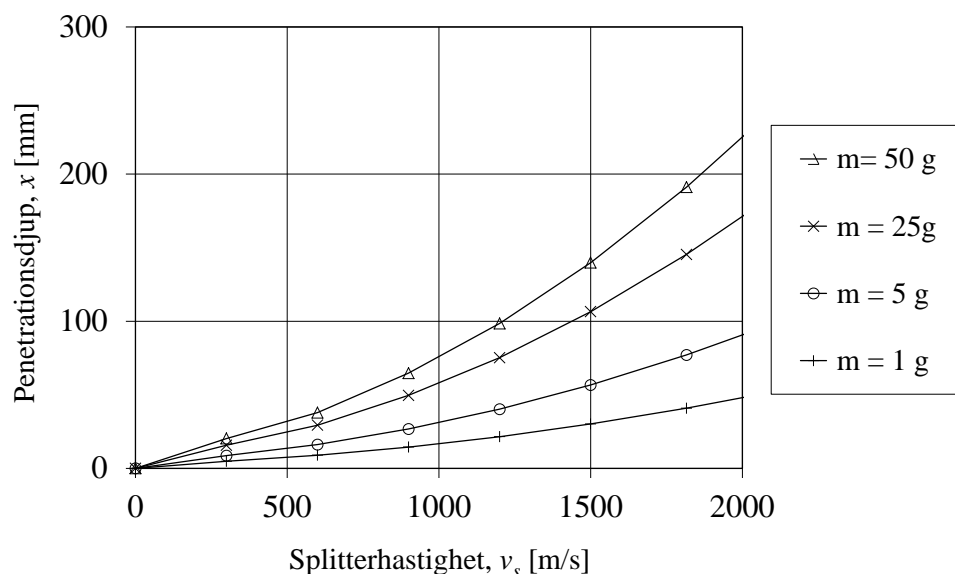
där splittermassan  $m_s$  är i [kg], hastigheten  $v_s$  är i [m/s] och betongens tryckhållfasthet  $f_c$  är i [Pa].

Exempelvis fås penetrationsdjupet med ekvation (5.2) för ett splitter med massan 50 g och splitterhastighet på 1 500 m/s som

$$x = \frac{4,35 \cdot (0,050)^{0,4} (1500)^{1,8}}{(30 \cdot 10^6)^{0,5}} + 40,6 \cdot (0,050)^{1/3} = 140 \text{ mm} \quad \text{för } x > 117m_s^{1/3} \quad (5.3)$$

Kontroll:  $x > 117 \cdot 0,050^{1/3} = 43 \text{ mm}$       OK!

I Figur 5.1 visas penetrationsdjupet för splitter med varierande massa och hastighet.



Figur 5.1 Penetrationsdjup i betong för varierande splittermassa och hastighet.

### 5.2 Perforation

Den minsta tjocklek  $t_p$  i [mm] hos en betongvägg som erfordras för att förhindra perforation beräknas som

$$t_p = 1,23x m_s^{0,033} + 74,9m_s^{0,33} \quad (5.4)$$

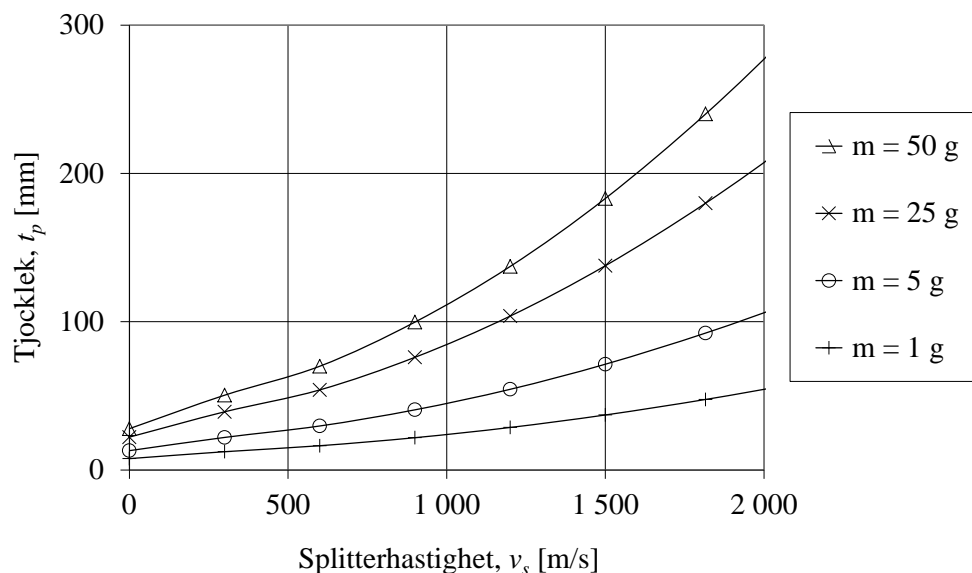
där  $x$  beräknas enligt ekvation (5.1) och (5.2).

Exempelvis fås erforderlig vägg tjocklek för att förhindra perforation för ett splitter med massan 50 g och splitterhastighet på 1 500 m/s som

$$t_p = 1,23x m_s^{0,033} + 74,9m_s^{0,33} = 1,23 \cdot 140 \cdot 0,050^{0,033} + 74,9 \cdot 0,050^{0,33} = 184 \text{ mm} \quad (5.5)$$

där  $x$  har beräknas enligt ekvation (5.1) och (5.2) till 140 mm.

I Figur 5.2 redovisas minsta tjocklek hos en betongvägg som erfordras för att förhindra perforation för varierande splittersmassa och hastighet.



Figur 5.2 Minsta tjocklek hos en betongvägg som erfordras för att förhindra perforation för varierande splittersmassa och hastighet.

### 5.3 Utstötning

Den minsta tjocklek hos en betongvägg som erfordras för att förhindra utstötning beräknas som

$$t_u = 1,32x m_s^{0,033} + 121m_s^{0,33} \quad (5.6)$$

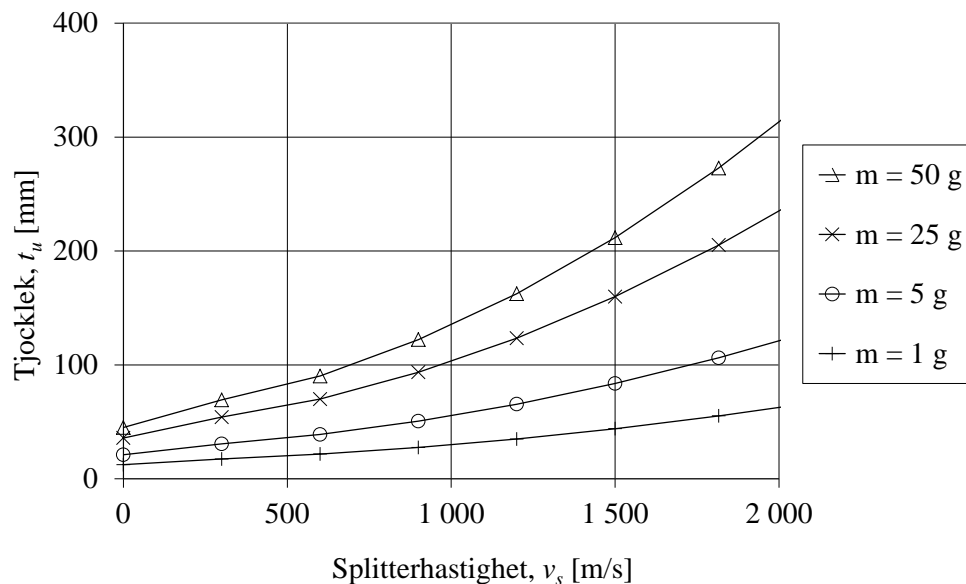
där  $x$  beräknas enligt ekvation (5.1) och (5.2).

Exempelvis fås erforderlig vägg tjocklek för att förhindra utstötning för ett splinter med massan 50 g och splinterhastighet på 1 500 m/s som

$$t_u = 1,32x m_s^{0,033} + 121m_s^{0,33} = 1,32 \cdot 140 \cdot 0,050^{0,033} + 121 \cdot 0,050^{0,33} = 212 \text{ mm} \quad (5.7)$$

där  $x$  har beräknas enligt ekvation (5.1) och (5.2) till 140 mm.

I Figur 5.3 redovisas minsta tjocklek hos en betongvägg som erfordras för att förhindra utstötning för varierande splintermassa och hastighet.

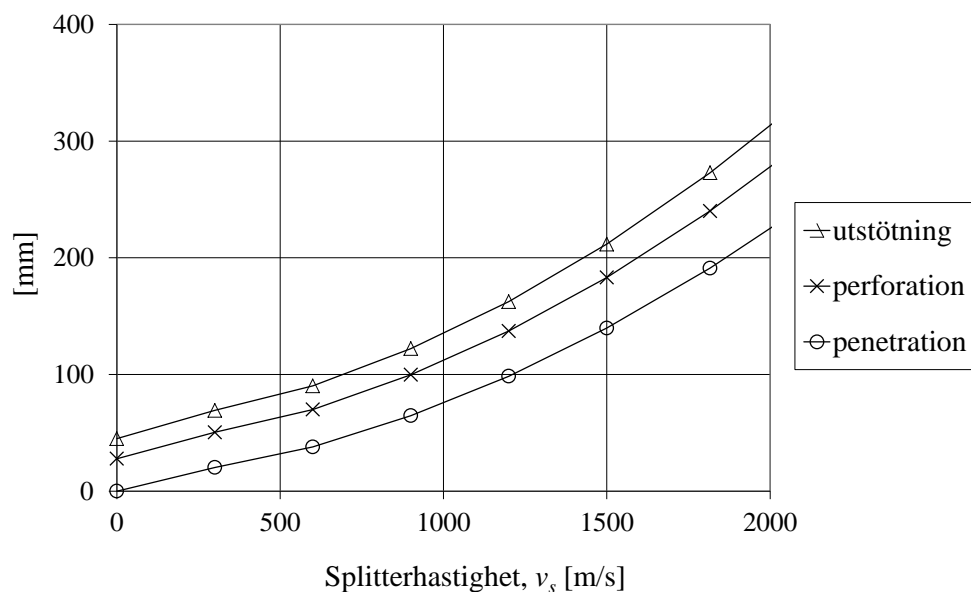


Figur 5.3 Minsta tjocklek hos betongkonstruktion som erfordras för att förhindra utstötning för en varierande splintermassa och hastighet.

## 5.4 Jämförelse mellan skadefenomen

En jämförelse mellan olika skadefenomen: penetration, perforation och utstötning visas i Figur 5.4. Denna jämförelse gäller för ett splinter med massan 50 g där splinterhastigheten varierar från 0 upp till 2 000 m/s.

Exempelvis fås enligt ekvation (5.3) penetrationsdjupet 140 mm för ett splinter med massan 50 g och hastigheten 1 500 m/s. Medan erforderlig tjocklek för att förhindra perforation fås till 184 mm enligt ekvation (5.5) och erforderligt tjocklek för att förhindra utstötning fås till 212 mm enligt ekvation (5.7).



Figur 5.4 Jämförelse mellan penetrationsdjup och minsta tjocklek hos en betongvägg som erfordras för att förhindra perforation och utstötning för ett 50 g splinter med varierande hastighet.