

A technical drawing on the left side of the page shows a vertical pile assembly. At the top is a grey rectangular cap. Below it is a cross-section of a pile head with a textured surface and a central vertical slot. The main body of the pile is a long, thin vertical cylinder. Near the bottom, there is a section with a different texture, possibly representing a pile shoe or a specific material layer. The pile is shown extending into a ground level indicated by horizontal lines at the bottom.

**PÅLKOMMISSIONEN**  
Commission on Pile Research

**Bilaga 2**

Supplement nr 2 till Pålkommisionen  
rapport 96:1

Beräkning

Stålrörspåle  $\varnothing 114,3 \times 6,3$   
med stål SS-EN 10219 S420J2H

Stockholm 2011



## Innehållsförteckning

<b>STÅLRÖRSPÅLE Ø114,3X6,3</b>	<b>5</b>
<b>ALLMÄN BESKRIVNING</b>	<b>5</b>
<b>GENERELLA KRAV</b>	<b>5</b>
TEKNISK LIVSLÄNGD	5
EXPONERINGSKLASSER	5
<b>MATERIALVÄRDEN</b>	<b>5</b>
PÅLELEMENT	5
INVERKAN AV SLAGNING	6
<b>JORDMATERIAL</b>	<b>6</b>
<b>LASTER</b>	<b>6</b>
<b>GEOMETRI</b>	<b>6</b>
TVÄRSNITT	6
TVÄRSNITTSKONSTANTER	7
<b>PÅLENS LASTKAPACITET M H T KNÄCKNING I OMGIVANDE JORD</b>	<b>8</b>
<b>BROTTGRÄNSTILLSTÅND</b>	<b>8</b>
GRÄNSTRYCK	9
LASTEFFEKT I PÅLE MED BEAKTANDE AV JORDENS SIDOMOTSTÅND	10
TVÄRSNITTSKONTROLL	11
TVÄRSNITTSKAPACITET OCH TVÄRSNITTSKONTROLL	11
<b>BRUKSGRÄNSTILLSTÅND</b>	<b>11</b>
GRÄNSTRYCK	12
LASTEFFEKT I PÅLE MED BEAKTANDE AV JORDENS SIDOMOTSTÅND	13
TVÄRSNITTSKAPACITET OCH TVÄRSNITTSKONTROLL	13



## STÅLRÖRSPÅLE Ø114,3X6,3

### Allmän beskrivning

Detta dokument avser beräkning av lastkapacitet för stålrörspålar Ø114,3x6,3 mm.

### Generella krav

### Teknisk livslängd

Teknisk livslängd uppgår till 100 år.

### Exponeringsklasser

Pålarna dimensioneras för avrostning.

Rostmån vid 100 års livslängd:

Utvändig – 2,0 mm

Invändig – 1,0 mm

### Materialvärden

#### Pålelement

Materialvärden för SS-EN 10219 S402J2H framgår av tabell nedan (se SS-EN 1993-1-1 kapitel 3).

**Tabell 1: Materialvärden S420J2H**

Hållfasthetsklass	$E_{sk}$ [GPa]	$F_{yk}$ [MPa]
S420J2H	210	420

Dimensioneringsvärden enligt SS-EN 1990, 6.3.3 och SS-EN 1993-1-1, 2.4.3 och 6.1.

$$E_{sd} = \eta \cdot \frac{E_{sk}}{\gamma_m}$$

$$F_{sd} = \eta \cdot \frac{F_{sk}}{\gamma_m}$$

$\gamma_m = 1,0$  för tryck

## Inverkan av slagning

Enligt SS-EN 1997-1, 7.4.2. ska inverkan av hantering och slagning beaktas, detta beaktas enligt Pålkommision Rapport 96:1 – Supplement nr 1, tabell 3.2.2a och b.

Vid beräkning av pålelementets tryckkraftskapacitet (tryckande normalkraft och moment) har stålets hållfasthet reducerats med faktorn  $\mu_s=0,9$ .

## Jordmaterial

Jorden antas bestå av lera med en dimensionerande skjuvhållfasthet på:  
7 kPa i brottgränstillstånd

10 kPa i bruksgränstillstånd

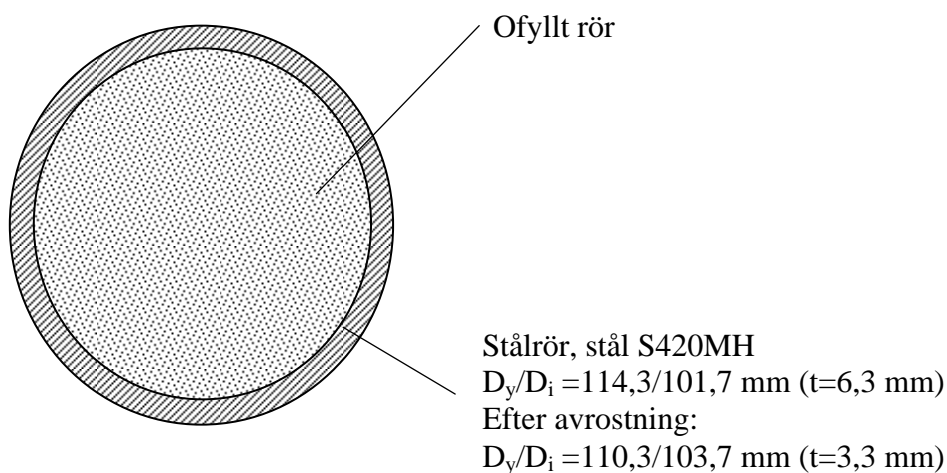
För bestämning av dimensionerande värden på skjuvhållfastheten i brott och bruksgränstillstånd, avsnitt 3.3.1 i detta supplement och IEG Rapport 2:2008, TD-grunder och Rapport 8:2008, TD-Pålar.

## Laster

Pålarna antas ledat infästade i pålplinten och belastade med ren axialkraft.

## Geometri

### Tvärsnitt



## Tvårsnittskonstanter

### Stålrör

M h t avrostning  $D_y/D_i = 110,3/103,7$  mm

$$\begin{aligned} A &= \pi(D_y^2 - D_i^2)/4 = 1109 \text{ mm}^2 \\ I &= \pi(D_y^4 - D_i^4)/64 = 1,59 \times 10^6 \text{ mm}^4 \\ W &= 2I/D_y = 28,8 \times 10^3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Elastisk momentkapacitet

$$M_{el} = f_{sd} \times W = 420 \times 10^6 \times 28,8 \times 10^{-6} = 12,1 \times 10^3 \text{ Nm}$$

Plastisk momentkapacitet

$$M_{pl} = f_{sd} \times A \times e_{tp}$$

där

$e_{tp}$  = avståndet mellan tyngdpunkten för halva rörarean och rörets centrum

$$e_{tp} = (D_y - t)/\pi = (110,3 - 3,3)/\pi = 34,06 \text{ mm}$$

$$M_{pl} = 420 \times 10^6 \times 1109 \times 10^{-6} \times 34,06 \times 10^{-3} = 15,9 \times 10^3 \text{ Nm}$$

Plastiskt böjmotstånd

$$Z = M_{el}/f_{sd} = 15,9 \times 10^3 / 420 \times 10^6 = 37,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 37,9 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Formfaktor för plastiskt böjmotstånd

$$\eta = Z/W = 37,9 / 28,8 = 1,31$$

Formfaktorn  $\eta$  begränsas till 1,25 för tvärsnittsklass TK1

## PÅLENS LASTKAPACITET M H T KNÄCKNING I OMGIVANDE JORD

Lastkapaciteten för betongpålarna beräknas enligt Pålkommisionens rapport 96:1 Kapitel 4, modell typ B, metod typ 2. Först beräknas snittkrafter enligt 2:a ordningens teori från Pålkommisionens rapport 84a och 81. Därefter kontrolleras att påltvärsnittet har kapacitet för uppträdande snittkrafter.

Pålarnas lastkapacitet beräknas i brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd.

### Brottgränstillstånd

#### Böjstyvhet

Böjstyvheten (m h t avrostning och i enlighet med BYGG K18:56):

$$EI = 0.9E_s I_s = 0.9 \times 210 \times 10^9 \times 1,59 \times 10^{-6} = 300 \times 10^3 \text{ Nm}^2 = 300 \text{ kNm}^2$$

Bäddmodul:

$$k_d d = 50 \cdot c_{ud} = 50 \cdot 7 = 350 \text{ kPa (100\% långtidslast)}$$

$$l_k = \pi^4 \sqrt[4]{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt[4]{\frac{300}{350}} = 3,02 \text{ m}$$

#### Initialkrokighet

Initialkrokighet i pålelement:  $l_k/600$

Antal skarvar inom en knäcklängd (6 m elementlängd)

$$n_j = l_k / l_e = 3,02 / 6 = 0,503 \text{ (avrundad uppåt till 1 skarv inom knäcklängden)}$$

Max tillåten vinkelavvikelse i skarv:  $v_j = l_k/300$

Karakteristisk initialkrokighet:

$$\delta_k = \frac{l_k}{600} + n_j \cdot \frac{l_k}{4} \cdot v_j = \frac{3,02}{600} + 1 \cdot \frac{3,02}{4} \cdot \frac{1}{300} = 7,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Dimensionerande initialkrokighet:

$$\delta_d = \delta_k \cdot \gamma_d = 7,55 \cdot 2 = 15,1 \text{ mm (enligt schablonmetod utan rakhetskontroll, } \gamma_d = 2,0)$$

Dimensionerande initialkrokighet kan också bestämmas med schablonmetod, utan rakhetskontroll ger tabell 3.4.1a:



$$\delta_d = \frac{l_k}{200} = \frac{3,02}{200} = 15,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

och med rakhetskontroll ger tabell 3.4.1b:

$$\delta_d = \frac{l_k}{400} = \frac{3,02}{400} = 7,55 \cdot 10^{-3} \text{ m (rakhetskontrollen måste uppvisa erforderlig rakhet)}$$

Fiktiv initialkrokighet (egenspanningsgrupp 2)

$$\delta_f = 0,0013 \cdot l_k = 0,0013 \cdot 3,02 = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Total initialkrokighet för påle som inte rakhetskontrolleras:

$$\delta_0 = \delta_d + \delta_f = 15,1 + 3,9 = 19 \text{ mm}$$

Initialutböjningen motsvarar en krökningradie på:

$$R_0 = \frac{l_k^2}{8 \cdot \delta_0} = \frac{3,02^2}{8 \cdot 0,019} = 60,0 \text{ m}$$

Dimensionerande initialkrokighet (viket är dimensionerande geometrisk initialkrokighet utan beaktande av egenspanningar)

$$R_d = \frac{l_k^2}{8 \cdot \delta_0} = \frac{3,02^2}{8 \cdot 0,0151} = 75,5 \text{ m}$$

## Gränstryck

Plasticering i jorden inträffar för gränstrycket

$$q_d = 6 \cdot d \cdot c_{ud} \quad (100\% \text{ långtidslast})$$

Tillskottsutböjning vid plasticering av omgivande jord är

$$y_b = q_b / (k_d d) = 6 \cdot d \cdot c_{ud} / (50 \cdot c_{ud}) = 6 \cdot 110,3 / 50 = 13,2 \text{ mm}$$

## Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd

Samband mellan axiallasten  $P$  och tillskottsutböjningen  $y_0$  enligt Rapport 81, ekv. 3.4:

$$P_k = 2\sqrt{k_d \cdot d \cdot EI \cdot \Phi(y_0)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\delta_0}{y_0}}$$

Där  $\Phi(\alpha)$  beaktar plasticering i omgivande jord ( $\Phi = 1,0$  för  $y_0 < y_b$ ) rapport 84a, *ekv 47*:

$$\alpha(y_b / y_0) = \arcsin(y_b / y_0)$$

$$\Phi(\alpha) = \frac{2}{\pi} \left( \alpha + 1.5 \sin(2\alpha) - (\pi - 2\alpha)(\sin(\alpha))^2 \right)$$

Samband mellan moment och axiallast enligt Rapport 81, sidan 46:

$$M = P \cdot \frac{\delta_0 + y_0}{2}$$

$y_0$ [mm]	5	10	<b>14,2</b>	20	25
$EI$ [kNm <sup>2</sup> ]	300				
$k_d \cdot d$ [kPa]	350				
$\delta_0$ [mm]	19				
$y_b$ [mm]	13,2				
$y_b/y_0$	2,64	1,32	<b>0,93</b>	0,66	0,53
$\alpha(y_b/y_0)$	1,57	1,57	<b>1,19</b>	0,72	0,56
$\Phi(y_0)$	1,00	1,00	<b>1,00</b>	0,93	0,85
$P$ [kN]	135	223	<b>277</b>	321	340
$M$ [kNm]	1,6	3,2	<b>4,6</b>	6,3	7,5

Iterera med avseende på tillskottsutböjningen  $y_0$  till dess att beräknad axiallast  $P$  är lika med antaget värde på lasteffekten  $N_{Ed}$  (se tvärsnittskontroll nedan).

## Tvärsnittskontroll

### Tvärsnittskapacitet och tvärsnittskontroll

Tvärsnittskapacitet kontrolleras enligt SS-EN 1993-1-1 (och i enlighet med BYGG K18:56):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} < 1,0$$

$$N_{C,Rd} = \mu_s A f_{yd} = 0,9 \times 1109 \times 420 \times 10^{-3} = 419 \text{ kN}$$

$$M_{C,Rd} = \mu_s \eta W f_{yd} = 0,9 \times 1,25 \times 28,8 \times 420 \times 10^{-3} = 13,6 \text{ kNm}$$

$$\text{Utnyttjandegrad } \mu_1 = (N_{Ed}/N_{C,Rd}) + M_{Ed}/M_{C,Rd} = (277/419) + 4,6/13,6 = \underline{0,999} \leq 1.0$$

**∴ Lastkapaciteten i brottgränstillstånd för långtidslast är  $N_{Rcd} = 277 \text{ kN}$**

## Bruksgränstillstånd

### Böjstyvhet

Böjstyvheten är samma som i brottgränstillstånd.

$$EI = 0.9E_s I_s = 300 \text{ kNm}^2$$

Bäddmodul:

$$k_d d = 50 \cdot c_{ud} = 50 \cdot 10 = 500 \text{ kPa (100\% långtidslast)}$$

$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{300}{500}} = 2,76 \text{ m}$$

### Initialkrokighet

Initialkrokighet i påelement:  $l_k/600$

Antal skarvar inom en knäcklängd (6 m elementlängd)

$$n_j = l_k/l_e = 3,02/6 = 0,503 \text{ (avrundad uppåt till 1 skarv inom knäcklängden)}$$

Max tillåten vinkelavvikelse i skarv:  $v_j = l_k/300$

Karakteristisk initialkrokighet:

$$\delta_k = \frac{l_k}{600} + n_j \cdot \frac{l_k}{4} \cdot \nu_j = \frac{2,76}{600} + 1 \cdot \frac{2,76}{4} \cdot \frac{1}{300} = 6,90 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Dimensionerande initialkrokighet:

$$\delta_d = \delta_k \cdot \gamma_d = 7,55 \cdot 2 = 13,8 \text{ mm}$$

Fiktiv initialkrokighet (egenspanningsgrupp 2)

$$\delta_f = 0,0013 \cdot l_k = 0,0013 \cdot 2,76 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Total initialkrokighet för påle som inte rakhetskontrolleras:

$$\delta_0 = \delta_d + \delta_f = 13,8 + 3,6 = 17,4 \text{ mm}$$

Initialutböjningen motsvarar en krökningradie på:

$$R_0 = \frac{l_k^2}{8 \cdot \delta_0} = \frac{2,76^2}{8 \cdot 0,0174} = 54,7 \text{ m}$$

Krökningsradie som motsvarar dimensionerande geometrisk initialkrokighet utan beaktande av egenspanningar.

$$R_d = \frac{l_k^2}{8 \cdot \delta_0} = \frac{2,76^2}{8 \cdot 0,0138} = 69,0 \text{ m}$$

## Gränstryck

Plasticering i jorden inträffar för gränstrycket

$$q_d = 6 \cdot d \cdot c_{ud} \quad (100\% \text{ långtidslast})$$

Tillskottsutböjning vid plasticering av omgivande jord är

$$y_b = q_b / (k_d d) = 6 \cdot d \cdot c_{ud} / (50 \cdot c_{ud}) = 6 \cdot 110,3 / 50 = 13,2 \text{ mm}$$

## Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd

Samband mellan axiallasten  $P$  och tillskottsutböjningen  $y_0$  enligt Rapport 81, ekv. 3.4:

$$P_k = 2\sqrt{k_d \cdot d \cdot EI \cdot \Phi(y_0)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\delta_0}{y_0}}$$

Plasticering i omgivande jord tillåts inte vilket innebär att  $\Phi = 1,0$  och att  $y_0 < y_b$

Samband mellan moment och axiallast enligt Rapport 81, sidan 46:

$$M = P \cdot \frac{\delta_0 + y_0}{2}$$

$y_0$ [mm]	5	7	<b>9,6</b>
$EI$ [kNm <sup>2</sup> ]	300		
$k_d \cdot d$ [kPa]	500		
$\delta_0$ [mm]	17,4		
$y_b$ [mm]	13,2		
$\Phi(y_0)$	1,00	1,00	<b>1,00</b>
$P$ [kN]	173	222	<b>275</b>
$M$ [kNm]	1,9	2,7	<b>3,7</b>

Iterera med avseende på tillskottsutböjningen  $y_0$  till dess att beräknad axiallast  $P$  är lika med antaget värde på lasteffekten  $N_{Ed}$  (se tvärsnittskontroll nedan)

## Tvärsnittskapacitet och tvärsnittskontroll

Tvärsnittskapacitet kontrolleras enligt SS-EN 1993-1-1, platsicering av tvärsnittet tillåts inte, formfaktorn  $\eta$  sätts till 1,0.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} < 1,0$$

$$N_{C,Rd} = \mu_s A f_{yd} = 0,9 \times 1109 \times 420 \times 10^{-3} = 419 \text{ kN}$$

$$M_{C,Rd} = \mu_s \eta W f_{yd} = 0,9 \times 1,0 \times 28,8 \times 420 \times 10^{-3} = 10,9 \text{ kNm}$$

$$\text{Utnyttjandegrad } \mu_1 = (N_{Ed}/N_{C,Rd}) + M_{Ed}/M_{C,Rd} = (275/419) + 3,7/10,9 = \underline{0,996} \leq 1,0$$

**$\therefore$  Lastkapaciteten i bruksgränstillstånd för långtidslast är  $N_{Rcd} = 275 \text{ kN}$**

I september 1959 bildades Pålkommittén för påslagning och påbärighet. Till grund för kommissionens verksamhet ligger samhällets och branschens behov av forskning och information inom pålningsområdet. Medlemmar är entreprenörer, tillverkare, konsulter, forskare, kommuner samt representanter för olika myndigheter. Organisationen Pålkommisionen, som sammanfogar dessa grupper, är unik i Europa. Ytterligare upplysningar om Pålkommisionens verksamhet och medlemskap lämnas av kommissionens sekreterare.