



**PÅLKOMMISSIONEN**  
Commission on Pile Research

**Bilaga 1**

Supplement nr 2 till Pålkommisionen  
rapport 96:1

Beräkning – Pålelement betongpåle SP2

Stockholm 2011



## Innehållsförteckning

<b>BETONGPÅLAR</b>	<b>5</b>
<b>ALLMÄN BESKRIVNING</b>	<b>5</b>
<b>BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR</b>	<b>5</b>
<b>GENERELLA KRAV</b>	<b>5</b>
TEKNISK LIVSLÄNGD	5
EXPONERINGSKLASSER	5
BASMÅTT AVSEENDE TÄCKANDE BETONGSKIKT	5
<b>MATERIALVÄRDEN</b>	<b>6</b>
PÅLELEMENT	6
ARMERING	6
<b>JORDMATERIAL</b>	<b>7</b>
<b>LASTER</b>	<b>7</b>
<b>PÅLENS LASTKAPACITET M H T KNÄCKNING I OMGIVANDE JORD</b>	<b>7</b>
<b>BROTTEGRÄNSTILLSTÅND</b>	<b>8</b>
BÖJSTYVHET	8
GRÄNSTRYCK	9
LASTEFFEKT I PÅLE MED BEAKTANDE AV JORDENS SIDOMOTSTÅND	10
TVÄRSNITTSKONTROLL	11
<b>BRUKSGRÄNSTILLSTÅND</b>	<b>14</b>
BÖJSTYVHET	14
GRÄNSTRYCK	15
LASTEFFEKT I PÅLE MED BEAKTANDE AV JORDENS SIDOMOTSTÅND	16
TVÄRSNITTSKONTROLL	17
TVÄRSNITTSKONTROLL	19



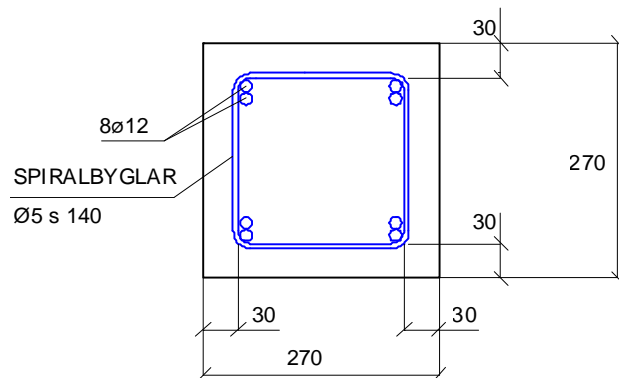
## BETONGPÅLAR

### Allmän beskrivning

Detta dokument avser beräkning av lastkapacitet för pålar typ SP2.

### Beräkningsförutsättningar

Pålen är tillverkad i betong C45/55, tvärmått och armering enligt figur:



### Generella krav

#### Teknisk livslängd

Teknisk livslängd uppgår till 100 år.

#### Exponeringsklasser

Exponeringsklass XC2/XF1.

#### Basmått avseende täckande betongskikt

Täckande betongskikt 30 mm är tillräckligt (inklusive utförandetolerans 5 mm) enligt SS 13 70 10 tabell 2.

## Materialvärden

### Pålelement

Materialvärden betong C45/55 (vct ≤ 0,40) framgår av tabell nedan.

**Tabell 1: Materialvärden betong**

Hållfasthetsklass	$E_{ck}$ [GPa]	$E_{cd}$ [GPa]	$f_{ck}$ [MPa]	$f_{ccd}$ [MPa]	$f_{ctk, 0,05}$ [MPa]	$f_{ctd}$ [MPa]
C45/55	36,0	30	45,0	30	2,7	1,8

Kryptal  $\varphi = 1,6$  enligt SS-EN 1992-1-1, avsnitt 3.1.4.

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_C}$$

$$\alpha_{cc} = 1$$

$\gamma_C = 1,5$  i brottgränstillstånd

$\gamma_C = 1,0$  i bruksgränstillstånd

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_C$$

$$\alpha_{cc} = 1$$

$\gamma_C = 1,5$  i brottgränstillstånd

$\gamma_C = 1,0$  i bruksgränstillstånd

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{CE}}$$

$\gamma_{CE} = 1,2$  i brottgränstillstånd

$\gamma_{CE} = 1,0$  i bruksgränstillstånd

### Armering

Materialvärden för armering B500B framgår av tabell nedan.

**Tabell 2: Hållfasthetsvärden armering**

Beteckning	$E_s$ [GPa]	$f_{yk}$ [MPa]	$f_{st}$ [MPa]
B500B	200	500	435

Inverkan av slagning

Inverkan av slagning beaktas enligt SS-EN 1992-1-1, 2.4.2.5, fotnot 2 och Pålkommission Rapport 96:1 – Supplement nr 1, tabell 3.2.2a och b. Vid beräkning av påelementets tryckkraftskapacitet (tryckande normalkraft och moment) har betongens hållfasthet reducerats med faktorn  $\mu_c = 0,8$  (notera att faktorn  $k_f$  i SS-EN 1992-1-1, 2.4.2.5, fotnot 2, sätts till  $1/\mu_c$ ) och stålets hållfasthet med faktorn  $\mu_s = 0,9$ .

## Jordmaterial

Jorden antas bestå av lera med en dimensionerande skjuvhållfasthet på:

10 kPa i brottgränstillstånd

13 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.

## PÅLENS LASTKAPACITET M H T KNÄCKNING I OMGIVANDE JORD

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

Eftersom pålens böjmotstånd är lika vid böjning parallellt som vid böjning över diagonalen och pålens bredd är större vid böjning över diagonalen är det på säker sida att endast studera knäckning parallellt och kontrollera att uppträdande krafter klaras både för parallell- och diagonalböjning.

Pålarnas lastkapacitet beräknas i brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd.

## Brottgränstillstånd

### Böjstyvhet

Böjstyvheten beräknas enligt EN 1992-1-1:2005 (E), kapitel 5.8.7.2:

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

Då  $\rho \geq 0,002$ :

$$K_s = 1$$

$$K_c = \frac{k_1 k_2}{(1 + \varphi_{ef})}$$

Effektivt kryptal  $\varphi_{ef} = 1,6$  (för permanenta laster)

$$k_1 = \sqrt{\mu_c \cdot f_{ck} / 20} = \sqrt{0,8 \cdot 45 / 20} = 1,342$$

$$k_2 = n \cdot \frac{\lambda}{170} \leq 0,20$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{a}{\sqrt{12}} = \frac{0,270}{\sqrt{12}} = 0,0779 \text{ m}$$

$$n = N_d / (\mu_c \cdot f_{cd} \cdot A_c)$$

Antag  $N_d = 1300 \text{ kN}$

$$n = 1300 / (0,8 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 0,270^2 / 1,5) = 0,743$$

Antag  $k_2 = 0,20$

$$K_c = \frac{1,342 \cdot 0,20}{(1 + 1,6)} = 0,103$$

$$EI = 0,103 \cdot \frac{36 \cdot 10^6}{1,2} \cdot \frac{0,270^4}{12} + 1 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 113 \cdot 10^{-6} (0,135 - 0,042)^2 = 2935 \text{ kNm}^2$$

Bäddmodul:

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



$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{2935}{500}} = 4,89 \text{ m}$$

$$l_c = \pi \sqrt{\frac{EI}{P_k}} = \pi \sqrt{\frac{EI}{2\sqrt{k_d d} \cdot EI}} = \frac{l_k}{\sqrt{2}} = \frac{4,89}{\sqrt{2}} = 3,46 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3,46}{0,0779} = 44,36$$

$$k_2 = 0,743 \cdot \frac{44,36}{170} = 0,194 < \text{antaget värde på } 0,20$$

Ytterligare några iterationer ger:

$$k_2 = 0,193 \text{ och } K_c = 0,100$$

$$\Rightarrow EI = 2888 \text{ kNm}^2 \text{ (för dimensionerande tryckkraft } N_d = 1300 \text{ kN)}$$

## Gränstryck

Plasticering i jorden inträffar för gränstrycket

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

Tillskottsutböjning vid plasticering av omgivande jord är

$$y_b = q_b / (k_d d) = 6 \cdot d \cdot c_{ud} / (50 \cdot c_{ud}) = 6 \cdot 0,270 / 50 = 32 \text{ mm}$$

## Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd

Pålens knäcklängd i omgivande jord enligt rapport 84a, ekv. 43:

$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{2888}{500}} = 4,87 \text{ m}$$

Initialutböjning i skarvad påle:

$$\delta_0 = \frac{l_k}{150} = \frac{4,87}{150} = 0,0325 \text{ m}$$

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]	30,0	38,7
$EI$ [kNm <sup>2</sup> ]	2888	<b>2888</b>
$k_d \cdot d$ [kPa]	500	<b>500</b>
$\delta_0$ [mm]	32,5	<b>32,5</b>
$y_b$ [mm]	32,4	<b>32,4</b>
$y_b/y_0$	1,08	<b>0,84</b>
$\alpha(y_b/y_0)$	1,57	<b>0,99</b>
$\Phi(y_0)$	1,00	<b>0,99</b>
$P$ [kN]	1154	<b>1300</b>
$M$ [kNm]	36,0	<b>46,3</b>

Iterera med avseende på tillskottsutböjningen  $y_0$  till dess att beräknad axiallast  $P$  är lika med antaget värde på lasteffekten  $N_d$ .

## Tvårsnittskontroll

Nedanstående lastfall kontrolleras i något lämpligt beräkningsprogram för betongtvärsnitt. Observera att böjning kontrolleras både parallellt med en sida och diagonalt över tvärsnittet.

$$\left. \begin{array}{l} P = 1300 \text{ kN} \\ M = 46,3 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ Lastfall 1}$$

$$\left. \begin{array}{l} P = 1300 \text{ kN} \\ M_x = 46,3/2^{0,5} = 32,7 \text{ kNm} \\ M_y = 46,3/2^{0,5} = 32,7 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ Lastfall 2}$$

⇒ Utnyttjandegrader  $\leq 1.0$ , OK.

Om utnyttjandegraden är mindre än 1 är lastkapaciteten minst den framräknade lastkapaciteten. Om man vill gå vidare och räkna fram den slutliga lastkapaciteten för axiell last får ytterligare iterationer göras med ett högre värde på antagen lasteffekt.

Antag  $N_d = 1380 \text{ kN}$

$$n = 1380 / (0,8 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 0,270^2 / 1,5) = 0,789$$

Antag  $k_2 = 0,20$

$$K_c = \frac{1,342 \cdot 0,20}{(1 + 1,6)} = 0,103$$

$$EI = 0,103 \cdot \frac{36 \cdot 10^6}{1,2} \cdot \frac{0,270^4}{12} + 1 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 113 \cdot 10^{-6} (0,135 - 0,042)^2 = 2935 \text{ kNm}^2$$

Bäddmodul:

$k_d d = 500 \text{ kPa}$  (100% långtidslast)

$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{2935}{500}} = 4,89 \text{ m}$$

$$l_c = \pi \sqrt{\frac{EI}{P_k}} = \pi \sqrt{\frac{EI}{2 \sqrt{k_d d \cdot EI}}} = \frac{l_k}{\sqrt{2}} = \frac{4,89}{\sqrt{2}} = 3,46 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3,46}{0,0779} = 44,36$$

$$k_2 = 0,800 \cdot \frac{44,36}{170} = 0,206 \text{ ger } k_2 = 0,20 \text{ för } N_d \geq 1380 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow EI = 2935 \text{ kNm}^2 \text{ (för dimensionerande tryckkraft } N_d \geq 1380 \text{ kN)}$$

Pålens knäcklängd i omgivande jord enligt rapport 84a, ekv. 43:

Initialutböjning i skarvad påle:

$$\delta_0 = \frac{l_k}{150} = \frac{4,89}{150} = 0,0326 \text{ m}$$

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:

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

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

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

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

$y_0$ [mm]	40,0	<b>45,4</b>
EI [kNm <sup>2</sup> ]	2935	<b>2935</b>
$k_d \cdot d$ [kPa]	500	<b>500</b>
$\delta_0$ [mm]	32,6	<b>32,6</b>
$y_b$ [mm]	32,4	<b>32,4</b>
$y_b/y_0$	0,81	<b>0,71</b>
$\alpha(y_b/y_0)$	0,94	<b>0,79</b>
$\Phi(y_0)$	0,98	<b>0,96</b>
P [kN]	1325	<b>1380</b>
M [kNm]	48,1	<b>53,8</b>

Iterera med avseende på tillskottsutböjningen  $y_0$  till dess att beräknad axiallast  $P$  är lika med antaget värde på lasteffekten  $N_d$ .

Nedanstående lastfall kontrolleras i något lämpligt beräkningsprogram för betongtvärsnitt. Observera att böjning kontrolleras både parallellt med en sida och diagonalt över tvärsnittet.

$$\left. \begin{array}{l} P = 1380 \text{ kN} \\ M = 53,8 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ Lastfall 1}$$

$$\left. \begin{array}{l} P = 1380 \text{ kN} \\ M_x = 53,8/2^{0,5} = 38,0 \text{ kNm} \\ M_y = 53,8/2^{0,5} = 38,0 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ Lastfall 2}$$

⇒ Utnyttjandegraden är 0,98 över diagonalen, OK.

**Lastkapaciteten i brottgränstillstånd är 1380 kN.**

Notera att även tvärsnitt med enbart förankringsjärnen i skarven måste ha tillräcklig moment-normalkraftskapacitet och att förankringslängden måste vara tillräckligt lång för att föra över last mellan huvudarmeringen i pålen och skarvens förankringsjärn.

## Bruksgränstillstånd

### Böjstyvhets

Böjstyvhetsen beräknas enligt EN 1992-1-1:2005 (E), kapitel 5.8.7.2:

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

Då  $\rho \geq 0,002$ :

$$K_s = 1$$

$$K_c = \frac{k_1 k_2}{(1 + \varphi_{ef})}$$

Effektivt kryptal  $\varphi_{ef} = 1,6$  (för permanenta laster)

$$k_1 = \sqrt{\mu_c \cdot f_{ck} / 20} = \sqrt{0,8 \cdot 45 / 20} = 1,342$$

$$k_2 = n \cdot \frac{\lambda}{170} \leq 0,20$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{a}{\sqrt{12}} = \frac{0,275}{\sqrt{12}} = 0,07794 \text{ m}$$

$$n = N_d / (\mu_c \cdot f_{cd} \cdot A_c)$$

Antag  $N_d = 1000 \text{ kN}$

$$n = 1000 / (0,8 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 0,270^2) = 0,381$$

Antag  $k_2 = 0,15$

$$K_c = \frac{1,342 \cdot 0,15}{(1 + 1,6)} = 0,0774$$

$$EI = 0,0774 \cdot \frac{36 \cdot 10^6}{1,0} \cdot \frac{0,270^4}{12} + 1 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 113 \cdot 10^{-6} (0,135 - 0,042)^2 = 2800 \text{ kNm}^2$$

Bäddmodul:

Vi antar att partialkoefficienten är 30% lägre i bruksgränstillstånd. Detta ger ett dimensionerade värde på skjuvhållfastheten som är 30% högre än i brottgränstillstånd.

$$k_d d = 50 \cdot c_{ud} = 50 \cdot 10 \cdot 1,3 = 650 \text{ kPa (för 100\% långtidslast)}$$

$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{2800}{650}} = 4,53 \text{ m}$$

$$l_c = \pi \sqrt{\frac{EI}{P_k}} = \pi \sqrt{\frac{EI}{2\sqrt{k_d d \cdot EI}}} = \frac{l_k}{\sqrt{2}} = \frac{4,53}{\sqrt{2}} = 3,20 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3,20}{0,07794} = 41,06$$

$$k_2 = 0,381 \cdot \frac{41,06}{170} = 0,0920 < \text{antaget värde på } 0,15$$

Ytterligare några iterationer ger:

$$k_2 = 0,0875$$

$$K_c = \frac{1,342 \cdot 0,0883}{(1 + 1,6)} = 0,0452$$

$$EI = 0,0452 \frac{36 \cdot 10^6}{1,0} \cdot \frac{0,270^4}{12} + 1 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 113 \cdot 10^{-6} (0,135 - 0,042)^2 = 2284 \text{ kNm}^2$$

$$\Rightarrow EI = 2384 \text{ kNm}^2 \text{ (för dimensionerande tryckkraft } N_d = 1000 \text{ kN)}$$

## Gränstryck

Plasticering i jorden inträffar för gränstrycket

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

Tillskottsutbøjning vid plasticering av omgivande jord är

$$y_b = q_b / (k_d d) = 6 \cdot d \cdot c_{ud} / (50 \cdot c_{ud}) = 6 \cdot 0,270 / 50 = 32,4 \text{ mm}$$

## Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd

Pålens knäcklängd i omgivande jord enligt rapport 84a, ekv. 43:

$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{2284}{650}} = 4,30 \text{ m}$$

Initialutböjning i skarvad påle:

$$\delta_0 = \frac{l_k}{150} = \frac{4,35}{150} = 0,0287 \text{ m}$$

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]	20,0
$EI$ [kNm <sup>2</sup> ]	2284
$k_d \cdot d$ [kPa]	650
$\delta_0$ [mm]	28,7
$y_b$ [mm]	32,4
$y_b/y_0$	0,93
$\alpha(y_b/y_0)$	1,18
$\Phi(y_0)$	1,00
$P$ [kN]	1000
$M$ [kNm]	24,3

Iterera med avseende på tillskottsutböjningen  $y_0$  till dess att beräknad axiallast  $P$  är lika med antaget värde på lasteffekten  $N_d$ .



## Tvärsnittskontroll

Nedanstående lastfall kontrolleras i något lämpligt beräkningsprogram för betongtvärsnitt. Observera att böjning kontrolleras både parallellt med en sida och diagonalt över tvärsnittet.

$$\left. \begin{array}{l} P = 1000 \text{ kN} \\ M = 24,3 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ Lastfall 1}$$

$$\left. \begin{array}{l} P = 1000 \text{ kN} \\ M_x = 24,3/2^{0,5} = 17,2 \text{ kNm} \\ M_y = 24,3/2^{0,5} = 17,2 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ Lastfall 2}$$

⇒ Max tryckspänning i betongtvärsnittet är 19,8 MPa < 0,6x36=21,6 MPa

Om utnyttjandegraden är mindre än 1 är lastkapaciteten minst den framräknade lastkapaciteten. Om man vill gå vidare och räkna fram den slutliga lastkapaciteten för axiell last får ytterligare iterationer göras med ett högre värde på antagen lasteffekt.

Antag  $N_d = 1070 \text{ kN}$

$$n = 1070 / (0,8 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 0,270^2) = 0,408$$

Antag  $k_2 = 0,10$

$$K_c = \frac{1,342 \cdot 0,10}{(1 + 1,6)} = 0,0516$$

$$EI = 0,0516 \cdot \frac{36 \cdot 10^6}{1,0} \cdot \frac{0,270^4}{12} + 1 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 113 \cdot 10^{-6} (0,135 - 0,042)^2 = 2387 \text{ kNm}^2$$

$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{2387}{650}} = 4,35 \text{ m}$$

$$l_c = \pi \sqrt{\frac{EI}{P_k}} = \pi \sqrt{\frac{EI}{2 \sqrt{k_d d} \cdot EI}} = \frac{l_k}{\sqrt{2}} = \frac{4,35}{\sqrt{2}} = 3,08 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3,08}{0,07794} = 39,45$$

$$k_2 = 0,408 \cdot \frac{39,45}{170} = 0,0946 < \text{antaget värde på } 0,10$$

Ytterligare några iterationer ger:

$$k_2 = 0,0941$$

$$K_c = \frac{1,342 \cdot 0,0941}{(1 + 1,6)} = 0,0486$$

$$EI = 0,0486 \cdot \frac{36 \cdot 10^6}{1,0} \cdot \frac{0,270^4}{12} + 1 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 113 \cdot 10^{-6} (0,135 - 0,042)^2 = 2338 \text{ kNm}^2$$

$$\Rightarrow EI = 2338 \text{ kNm}^2 \text{ (för dimensionerande tryckkraft } N_d = 1070 \text{ kN)}$$

Pålens knäcklängd i omgivande jord enligt rapport 84a, ekv. 43:

$$l_k = \pi^4 \sqrt{\frac{EI}{k_d d}} = \pi^4 \sqrt{\frac{2338}{650}} = 4,33 \text{ m}$$

Initialutböjning i skarvad påle:

$$\delta_0 = \frac{l_k}{150} = \frac{4,33}{150} = 0,0289 \text{ m}$$

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:

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

$$\Phi(\alpha) = \frac{2}{\pi} (\alpha + 1,5 \sin(2\alpha) - (\pi - 2\alpha)(\sin(\alpha))^2)$$

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

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

$y_0$ [mm]	22,2
$EI$ [kNm <sup>2</sup> ]	2338
$k_d \cdot d$ [kPa]	650
$\delta_0$ [mm]	28,8
$y_b$ [mm]	32,4
$y_b/y_0$	0,93
$\alpha(y_b/y_0)$	1,18
$\Phi(y_0)$	1,00
$P$ [kN]	1070
$M$ [kNm]	27,3

### Tvärsnittskontroll

Nedanstående lastfall kontrolleras i något lämpligt beräkningsprogram för betongtvärsnitt. Observera att böjning kontrolleras både parallellt med en sida och diagonalt över tvärsnittet.

$$P = 1070 \text{ kN}$$

$$M = 27,3 \text{ kNm}$$

$$P = 1070 \text{ kN}$$

$$M_x = 27,3/2^{0,5} = 19,3 \text{ kNm}$$

$$M_y = 27,3/2^{0,5} = 19,3 \text{ kNm}$$

⇒ Max tryckspänning i betongtvärsnittet är 21,7 MPa  $\approx 0,6 \times 36 = 21,6$  MPa

### Lastkapaciteten i bruksgränstillstånd är 1070 kN.

Notera att även tvärsnitt med enbart förankringsjärnen i skarven måste ha tillräcklig moment-normalkraftskapacitet och att förankringslängden måste vara tillräckligt lång för att föra över last mellan huvudarmeringen i pålen och skarvens förankringsjärn.

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.