

# PÅLKOMMISSIONEN

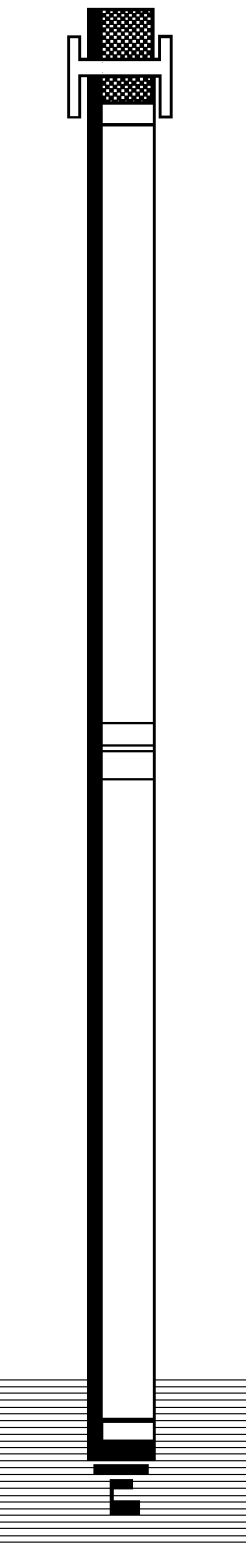
Commission on Pile Research

## Supplement nr 1 till rapport 84a

### Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord

Utgåva 2011

Stockholm 2011





## FÖRORD

Pålkommisionen tillsatte under hösten 2009 en arbetsgrupp som fick i uppdrag att se över Pålkommisionens rapporter som beskriver beräkning av lastkapacitet med hänsyn till knäckning av pålar i omgivande jord. Rapporterna har anpassats till Eurocode, anpassningarna redovisas i supplement som ska läsas tillsammans med de ursprungliga rapporterna. Arbetet med rapporterna påbörjades i januari 2010. Arbetet har finansierats av Pålkommisionen, SBUF och Trafikverket.

Arbetsgruppen har bestått av:

Claes Alén, Chalmers Tekniska Högskola  
Gary Axelsson, ELU Konsult AB  
Peter Alheid, Hercules Grundläggning AB  
Gunnar Holmberg, Skanska Sverige AB  
Razvan Ignat, Skanska Sverige AB  
Håkan Karlsson, Hercules Grundläggning AB  
Kurt Palmqvist, Trafikverket  
Mario Plos, Chalmers Tekniska Högskola

De rapporter som gått igenom och kompletterats med supplement är:

- Rapport 81 – Systempålar, Stödpålar av höghållfasta, korrosionsskyddade stålrör, slagna med lätta höghastighetshejare
- Rapport 84a – Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord
- Rapport 96:1 – Dimensioneringsprinciper för pålar, Lastkapacitet



## Innehållsförteckning

FÖRORD.....	3
<u>GENERELLT .....</u>	<u>7</u>
<u>BETECKNINGAR OCH SORTER.....</u>	<u>7</u>
<u>SAMMANFATTNING .....</u>	<u>8</u>
<u>KAPITEL 2.....</u>	<u>9</u>
2.1 INLEDNING.....	9
2.3 BERÄKNINGSMODELLER.....	9
<u>KAPITEL 3.....</u>	<u>9</u>
3.2 DEFORMATIONSSAMBAND UPP TILL BROTT .....	9
3.3 BROTTTRYCK.....	9
3.4 VAL AV PARTIALKOEFFICIENTEN $Y_{MK}$ .....	10
<u>KAPITEL 4.....</u>	<u>10</u>
4.1 ALLMÄNT OM INVERKAN AV HANTERING OCH INSTALLATION .....	10
4.2 STÅLPÅLAR.....	10
4.2.1 STÅLETS ELASTICITETSMODUL.....	10
4.2.1 STÅLETS HÅLLFASTHET .....	10
4.3 BETONGPÅLAR .....	11
4.3.1 BETONGENS ELASTICITETSMODUL .....	11
4.3.2 BETONGENS HÅLLFASTHET .....	11
4.3.3 BETONGENS KRYPNING OCH KRYMPNING .....	11
4.3.4 ARMERINGENS ELASTICITETSMODUL .....	12
4.3.5 ARMERINGENS HÅLLFASTHET .....	12
4.3.6 PÅLENS BÖJSTYVHET .....	12
<u>KAPITEL 5.....</u>	<u>12</u>
<u>KAPITEL 6.....</u>	<u>13</u>
6.1 ALLMÄNT.....	13
6.2 STÅLPÅLAR.....	13
6.3 BETONGPÅLAR .....	14
<u>KAPITEL 7 .....</u>	<u>14</u>



## **GENERELLT**

Det här supplementet ska tillsammans med Rapport 84a kunna användas för dimensionering av pålar enligt Eurocode med hänsyn till knäckning. Supplementet innehåller tillägg och förändringar. För de avsnitt som inte hanteras i supplementet kan Rapport 84a tillämpas i sin helhet.

Rapport 84a gäller för pålar av betong, stål och trä. Beträffande betongpålar se även SS-EN 12794, Förtillverkade betongprodukter – Betongpålar. Betongpålar enligt klass 2 i SS-EN 12794, 4.3.3.1, tabell 3 omfattas inte av Rapport 84a och det här supplementet. Snedställigheter i skarvar skall beaktas. SS-EN 12794 delar in pålar i olika klasser med hänsyn till snedställighet i skarv, se paragraf 4.3.1.1, tabell 1.

I Eurocode 1997-1, avsnitt 7.8 (5) står att lastkapacitet med hänsyn till knäckning normalt inte behöver kontrolleras om jordens karakteristiska skjuvhållfasthet överstiger 10 kPa. Denna paragraf skall ej tillämpas. Knäckning skall alltid beaktas. Se även TD-Pålar 4.3.5.

I SS-EN 1993-5 avsnitt 5.3 redovisas beräkningsmetoder för stålpålar. Bland de metoder som redovisas finns en metod som i stora drag överensstämmer med metoden i Rapport 84a. Pålkommisionens rapporter. I avsnitt 5.3.3 (5) redovisas dessutom en förenklad metod, dock starkt begränsad.

## **BETECKNINGAR OCH SORTER**

Beteckningar i Rapport 84a stämmer inte med beteckningarna i Eurocode, se bl. a. SS-EN 1997-1-1 och de olika materialdelarna i Eurocode. Vi överlåter åt läsaren att använda korrekta beteckningar enligt Eurocode.

## SAMMANFATTNING

Rapport 84a redovisar en etablerad metod för beräkning av dimensionerande lastkapacitet för pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord.

Dimensioneringsmetoden är tillämpbar för pålar av alla typer av material och alla installationsmetoder.

Avsnittet gäller i princip i sin helhet vid dimensionering enligt Eurocode. Det enda som är förändrat är att dimensioneringsvärdet av en materialegenskap inte längre är beroende av säkerhetsklassen.

Dimensioneringsvärdet för en materialegenskap skall bestämmas enligt paragraf 6.3.3 i SS-EN 1990, ekvation 6.3:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}$$

där

$\eta$  = omräkningsfaktor som beaktar skaleffekter m.m.

$X_k$  = materialegenskapens karakteristiska värde

$\gamma_m$  = partialkoefficienten för materialegenskapen



## KAPITEL 2

### 2.1 Inledning

I detta supplement har dimensioneringsmetoden anpassats till gällande Eurocode och författningssamlingar VVFS och BFS (aktuella versioner vid tryckning VVFS 2009:19 och BFS 2009:16).

### 2.3 Beräkningsmodeller

Allt fram till och med 1:a stycket i andra kolumnen är tillämbart.

Resterande avsnitt i högra kolumnen ersätts av:

Dimensioneringsvärdet för en materialegenskap skall bestämmas enligt paragraf 6.3.3 i SS-EN 1990, ekvation 6.3:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}$$

där

$\eta$  = omräkningsfaktor som beaktar skaleffekter m m

$X_k$  = materialegenskapens karakteristiska värde

$\gamma_m$  = partialkoefficienten för materialegenskapen

Tvärsnittsstorheter sätts till nominella värden.

## KAPITEL 3

### 3.2 Deformationssamband upp till brott

Avsnitt 3.2 är tillämbart fram till och med ekvation (7). Allt efter ekvation (7) utgår.

Bestämning av  $c_{ud}$  utförs enligt IEG Rapport 8:2008 (TD-pålar), avsnitt 4.3, ekvation 4.13. Detta uttryck ersätter ekvation (8) i Rapport 84a.

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \eta \cdot \bar{X}$$

där  $\eta$  består av 8 st delfaktorer som bestäms enligt IEG Rapport 8:2008 avsnitt 4.3.6.

### 3.3 Brottryck

Avsnittet är tillämbart utom sista meningen vad gäller hänvisning till ekvation (8). Dimensionerande värde på jordens skjuvhållfasthet bestäms enligt avsnitt 3.2 i detta supplement.

### 3.4 Val av partialkoefficienten $y_{mk}$

Avsnittet utgår. För vägledning vid val av  $\gamma_M$  se SS-EN 1997-1, paragraf 2.4.6.2 och bilagorna A och NA samt IEG Rapport 8:2008 avsnitt 4.3.7.

## KAPITEL 4

### 4.1 Allmänt om inverkan av hantering och installation

Avsnittet kvarstår utom vad gäller sista stycket som handlar om korrektionsfaktorerna  $\mu_c$  och  $\mu_s$  och tabell 1. Storleken av reduktionsfaktorerna  $\mu_c$  och  $\mu_s$  framgår i Rapport 96:1 avsnitt 3.2.2 och tillhörande supplement 1 och 2.

Begagnat material får användas endast efter särskild utredning som visar att materialets hållfasthet, seghet, beständighet och dimensioner utmed hela pålens längd uppfyller normkrav samt de krav som dimensioneringen baseras på. Det innebär bl a att eventuell tillåtelse att använda begagnat material ska anges i den objektsspecifika tekniska beskrivningen samt regleras i entreprenadkontraktet.

Reduktionsfaktorn med hänsyn till utmattningsförhållanden för installerad påle av begagnat material skall väljas till högst 0,7.

### 4.2 Stålpålar

Avsnittet utgår och ersätts med:

Pålar av stål skall dimensioneras med materialegenskaper enligt:

SS-EN 1993-1-1, Dimensionering av stålkonstruktioner- del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader

SS-EN 1993-5, Dimensionering av stålkonstruktioner-del 5: Pålar och spont

#### 4.2.1 Stålets elasticitetsmodul

Avsnittet utgår.

Dimensionerande elasticitetsmodul enligt avsnitt 2.3 ovan och SS-EN 1993-1-1.

$$E_{cd} = 210 \text{ GPa}$$

#### 4.2.1 Stålets hållfasthet

Avsnittet utgår.

Dimensionerande hållfasthet enligt avsnitt 2.3 ovan och SS-EN 1993-1-1.

Dimensionerande hållfasthet multipliceras med reduktionsfaktorn  $\mu_s$  enligt:

$$f_{ydr} = \mu_s \cdot f_{yd}$$

### 4.3 Betongpålar

Hela kapitel 4.3 ersätts.

Betongpålar skall dimensioneras med materialegenskaper enligt:

SS-EN 1992-1-1, Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader.

SS-EN 206-1, Betong – Del 1: Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse.

För prefabricerade betongpålar gäller även förutsättningar angivna i SS-EN 12794, Förtillverkade betongprodukter – Betongpålar.

#### 4.3.1 Betongens elasticitetsmodul

Betongens karakteristiska E-modul,  $E_{cm}$  väljs enligt SS-EN 1992-1-1, tabell 3.1.

Dimensionerande E-modul i brottgränstillstånd sätts till:

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

Dimensionerande E-modul i bruksgränstillstånd sätts till:

$$E_{cd} = E_{cm}$$

#### 4.3.2 Betongens hållfasthet

Betongens karakteristiska hållfasthet  $f_{ck}$  (ej kubvärdet  $f_{ck,kub}$ ) väljs enligt SS-EN 1992-1-1, tabell 3.1. I SS-EN 1992-1-1 avsnitt 2.4.2.5 anges att hållfastheten skall reduceras med en faktor  $\kappa_f$ . För prefabricerade betongpålar får denna faktor  $\kappa_f$  ersättas med reduktion med faktorn  $\mu_c$  i enlighet med avsnitt 4.1.  $\mu_c \approx 1/\kappa_f$ .

Dimensionerande värde på betongens hållfasthet i brottgränstillstånd sätts till:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} \mu_c / \gamma_C$$

#### 4.3.3 Betongens krypning och krympning

Krypning och krympning hanteras enligt SS-EN 1992-1-1, Bilaga B.

Kryptalet kan vid normala förutsättningar för relativ fuktighet och ålder vid pålastning förutspåttas variera mellan 1,3 och 1,6.

Under följande förutsättningar

- betongklass lägst C40/50
- kantryckpåkänningen i betongen begränsas till 60% av  $f_{ck}$  reducerat med hänsyn till slagning
- pålen i sin helhet är omgiven av jord eller vatten
- pålarna belastas med av den slutliga långtidslasten tidigast 28 dygn efter tillverkning

kan det effektiva kryptalet, inklusive beaktande av icke linjär krypning (enligt SS-EN 1992-1-1, avsnitt 3.1.4), sättas till 1,6 utan ytterligare utredning. För separat utredning se SS-EN 1992-1-1, avsnitt 3.1.4 och bilaga B.

#### 4.3.4 Armeringens Elasticitetsmodul

Armeringens E-modul,  $E_s$  får antas vara 200 Gpa enligt SS-EN 1992-1-1, avsnitt 3.2.7.

#### 4.3.5 Armeringens hållfasthet

Armeringens dimensionerande hållfasthet får enligt SS-EN 1992-1-1, avsnitt 3.2.7 sättas till:

$$f_{sd} = f_{yk} \mu_s / \gamma_s$$

#### 4.3.6 Pålens böjstyvhet

I SS-EN 1992-1-1 avsnitt 5.8 anges olika metoder för att analysera tryckta konstruktioner med hänsyn till andra ordningens effekter. I avsnitt 5.8.7.2 redovisas en metod för bestämning av nominell styvhet. Ekvationerna 5.21 till 5.24 kan användas för att bestämma böjstyvheten för en tryckt betongpåle. Observera att faktorn  $k_2$  i ekvation 5.24 varierar med lasteffekten. Värdet på faktorn  $k_2$  ökar när lasteffekten ökar. Därmed ökar även pålens böjstyvhet med ökad lasteffekt. Se även beräkningsexempel i Rapport 96:1, supplement 2.

För helt tryckta tvärsnitt får pålens böjstyvhet beräknas enligt avsnitt H.1.2 i SS-EN 1992-1-1, bilaga H. Medelstukningen begränsas då till  $\varepsilon_{c2}$  enligt SS-EN 1992-1-1, 6.1 (5).

## KAPITEL 5

Informationen i kapitel 5 är till stor del av mer allmän karaktär och gäller därmed även vid byte av normpaket.

För bestämning av initialkrokighet se Pålkommisionen rapport 96:1 avsnitt 3.4 med tillhörande supplement 2.

## KAPITEL 6

### 6.1 Allmänt

Avsnittet kvarstår i sin helhet.

Kompletterande information om jordens sidomotstånd:

Jordens sidomotstånd i figur 6,  $q_{bd} = 6 \cdot c_{ud}$  gäller för 100% långtidslast.

För 100% korttidslast gäller:

$$q_{bd} = 9 \cdot c_{ud}$$

Se även Rapport 96:1 avsnitt 3.3.1 med tillhörande supplement 2.

### 6.2 Stålpålar

De första styckena ner till och med först stycket efter ekvation 52 utgår och ersätts med följande:

För stålpålar gäller följande beräkningsgång i brottgränstillstånd. När lasten E ökar leder detta antingen till att lastkapaciteten med hänsyn till jordmotståndet överskrids eller att gränslasten för pålmaterialet nås.

Gränslasten för pålmaterialet i tvärsnittsklass 1 och 2 (SS-EN 1993-1-1, avsnitt 5.6) kan beräknas i enlighet med SS-EN 1993-1-1 avsnitt 6.2.1 ekvation 6.2 redovisad nedan. De ingående delarna i ekvation 6.2 finns redovisade i avsnitt 6.2.4 och 6.2.5.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

där

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  och  $M_{z,Ed}$  är dimensionerande snittkrafter i form av normalkraft och moment.

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{\mu_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ en jämnt fördelad tryckkraft, se SS-EN 1993-1-1, ekvation 6.10}$$

där  $A$  är påltvärsnittets area och  $\mu_s$  är en reduktionsfaktor som beaktar slagningens inverkan på stålets hållfasthet.

För tvärsnittsklass 1 och 2 får den plastiska momentkapaciteten utnyttjas i brottgränstillstånd, se SS-EN 1993-1-1, ekvation 6.13.

$$M_{Rd} = M_{Pl,Rd} = \frac{W_{Pl} \cdot \mu_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Utnyttjat plastiskt böjmotstånd skall inte sättas högre än 1,25 gånger det elastiska böjmotståndet utan särskild utredning av dimensioneringsreglernas giltighet och de plastiska deformationernas inverkan.

För pålar som står delvis fria i luft eller vatten studeras även pålarnas lastkapacitet vid instabilitet enligt SS-EN 1993-1-1 avsnitt 6.3.

Avsnittet om reduktion av stålmateriallets stukgräns med en faktor  $\mu_s$  och avsnittet om hur egenspanningar beaktas (inklusive tabell 4) kvarstår.

### 6.3 Betongpålar

Avsnittet till och med första stycket efter ekvation (55) utgår och ersätts med följande:

För betongpålar gäller i brottgränstillstånd följande beräkningsgång.  $P_k$  och  $l_k$  beräknas enligt ekvation (42) och (43). Därefter beräknas Eulerknäcklängden  $l_c$  ur

$$l_c = \pi (EI/P_k)^{0,5}$$

Eulerknäcklängden används för att bestämma slankhetstalet  $\lambda$  och reduktionsfaktorn  $k_2$  som ligger till grund för slutlig bestämning av böjstyvheten  $EI$  för en betongpåle, se avsnitt 4.3.6 och SS-EN 1992-1-1 paragraf 5.8.7.2.

Knäcklängd  $l_k$  omgivande jord bestäms enligt ekvation (43).

Dimensionerande initialkrokighet bestäms enligt Rapport 96:1, avsnitt 3.4.

Knäcklasten  $P_k$  enligt andra ordningen teori bestäms enligt ekvation (41) och (42).

Tillhörande moment beräknas ur ekvation (39) som kan skrivas om till

$$M = P (\delta_0 + y_0) / 2$$

Påltvärsnittet kontrolleras för moment och tillhörande axiallast.

De fyra sista styckena i 6.3 kvarstår. Beträffande kantpåkänning i bruksgränstillstånd se även avsnitt 4.3.3.

## Kapitel 7

Hela kapitel 7 utgår. Beräkningar redovisas i Rapport 96:1 supplement 2.



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.