

PÅLKOMMISSIONEN
Commission on Pile Research

Utgåva 2011-06-22

Supplement nr 1 till rapport 84a

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

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

Eurocode-anpassning av Rapport 84a

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

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

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 stålplålar. 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:

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

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

där

η = omräkningsfaktor som beaktar skaleffekter m m

X_k = materialegenskapens karakteristiska värde

γ_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

η = omräkningsfaktor som beaktar skaleffekter m m

X_k = materialegenskapens karakteristiska värde

γ_m = partialkoefficienten för materialegenskapen

Tvärsnittsstorheter sätts till nominella värden.

Kapitel 3

Supplement nr 1 till Pålskommissionen rapport 84a

3.2 Deformationssamband upp till brott

Avsnitt 3.2 är tillämpligt 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 η består av 8 st delfaktorer som bestäms enligt IEG Rapport 8:2008 avsnitt 4.3.6.

3.3 Brottryck

Avsnittet är tillämpligt 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 γ_{mk}

Avsnittet utgår. För vägledning vid val av γ_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 μ_c och μ_s och tabell 1. Storleken av reduktionsfaktorerna μ_c och μ_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 utmattning för installerad påle av begagnat material skall väljas till högst 0,7.

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

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.

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

4.2.2 Stålets hållfasthet

Avsnittet utgår.

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

Dimensionerande hållfasthet multipliceras med reduktionsfaktorn μ_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:

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

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

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 κ_f . För prefabricerade betongpålar får denna faktor κ_f ersättas med reduktion med faktorn μ_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 förutsättas 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 ickelinjär 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:

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

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

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 ε_{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:

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

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

Gränslasten för plåtmaterialet 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 plåtvärsnittets area och μ_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 plåtar som står delvis fria i luft eller vatten studeras även plåtarnas lastkapacitet vid instabilitet enligt SS-EN 1993-1-1 avsnitt 6.3.

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

Supplement nr 1 till Pålkommisionen rapport 84a

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 λ 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 axiellast.

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.