

PÅLKOMMISSIONEN
Commission on Pile Research

Utgåva 2011-06-22

Supplement nr 2 till rapport 96:1

**Dimensioneringsprinciper
för pålar**

Lastkapacitet

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

Eurocode-anpassning av Rapport 96:1

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 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

Generellt

Det här supplementet ska tillsammans med Rapport 96:1 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 96:1 med supplement 1 tillämpas i sin helhet. I detta supplementet finns beräkningsexempel för betongpålar och stålplålar redovisade se bilaga 1.

Rapport 96:1 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 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 beskriven i Pålkommisionens rapporter 81, 84a och 96:1. I avsnitt 5.3.3 (5) redovisas dessutom en förenklad metod, dock starkt begränsad.

Läsanvisningar och sammanfattning

Avsnittet gäller i princip i sin helhet. Beträffande reduktion av materialhållfasthet med avseende på slagningsarbetet så behandlas den frågan lite annorlunda enligt Eurocod. Detta beskrivs i kapitel 3.2.

Beteckningar

Beteckningar i Rapport 96:1 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.

BEGREPP

Avsnittet kompletteras med följande.

Notera att pålars lastkapacitet (strukturella bärförmåga) skall dimensioneras i brottgränstillstånd STR medan den geotekniska bärförmågan dimensioneras i brottgränstillstånd GEO, se SS-EN 1990-1, paragraf 6.4.1 och SS-EN 1997-1, paragraf 2.4.7.1. Vidare så skall lastkapaciteten dimensioneras med dimensioneringssätt 3 (DA3) medan geotekniska bärförmågan ska dimensioneras

Supplement nr 2 till Pålkommissionen rapport 96:1

med dimensioneringssätt 2 (DA2), se SS-EN 1997-1, paragraf 2.4.7.3.4 och nationella anpassningar i bilaga NA. För dimensioneringssätt och de olika brottgränstillstånden se även IEG Rapport 2:2008, TD-Grunder och IEG Rapport 8:2008, TD-Pålar.

KAPITEL 2, LASTEFFEKT, LASTKAPACITET OCH LASTER – ALLMÄNNA FÖRHÅLLANDEN OCH PRINCIPER

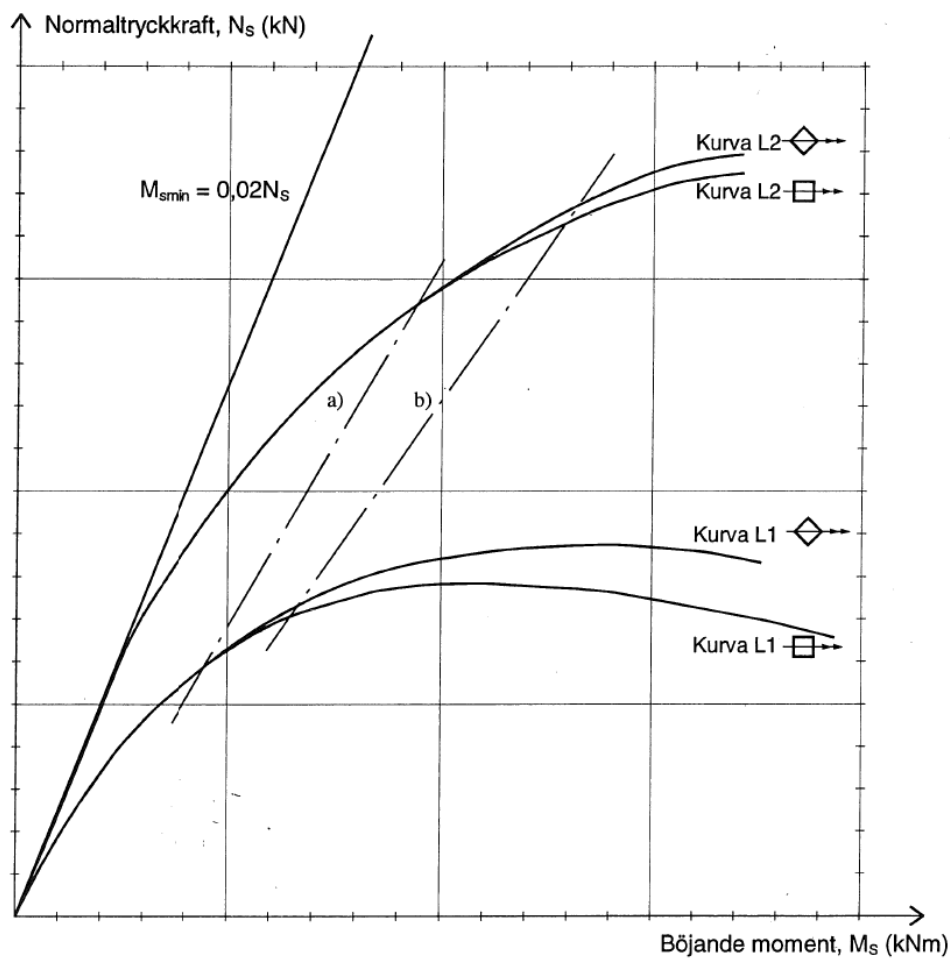
2.1.2 Belastad påle

Avsnittet fram till och med figur 2.1.2a kvarstår.

Stycket under figur 2.1.2a och framåt ersätts av följande:

Sambanden mellan lasteffekterna normalkraft och böjande moment i en påle kan redovisas grafiskt med s k lasteffektkurvor. Dessa kurvor beror bl a på pålens material, tvärsnitt, styvhet och krokighet samt jordens sidomotstånd. I *figur 2.1.2b* redovisas principiellt dessa lasteffektkurvor för en betongpåle.


Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1




Figur 2.1.2b. Lasteffektkurvor för en betongpåle i brottgränstillstånd.
Samband mellan tryckande normalkraft, N_s , och böjande moment, M_s för en betongpåle.

Kurva L1: Lös jord

Kurva L2: Medelfast jord

a) Gränskurva för jordens begynnande plasticering för böjning parallellt med en sida. 

b) Gränskurva för jordens begynnande plasticering för böjning diagonalt över pålens tvärsnitt 

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

2.2.1 Principer för verifiering

Avsnittet behålls förutom övre stycket på sid 23 som utgår och andra stycket på sid 22 som ersätts med följande:

Lastkapacitet för axiellt belastade betongpålar enligt SS-EN 12794 med dimensionerande axiell lasteffekt max 605* kN för SP1** och max 825* kN för SP2** och SP3**, som uppfyller förutsättningar enligt Pålkommisionens rapport 94 kan verifieras enligt rapport 94. Metoden att verifiera lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga upp till dessa nivåer är att betrakta som hävdvunnen metod, se även IEG Rapport 8:2008, TD-Pålar.

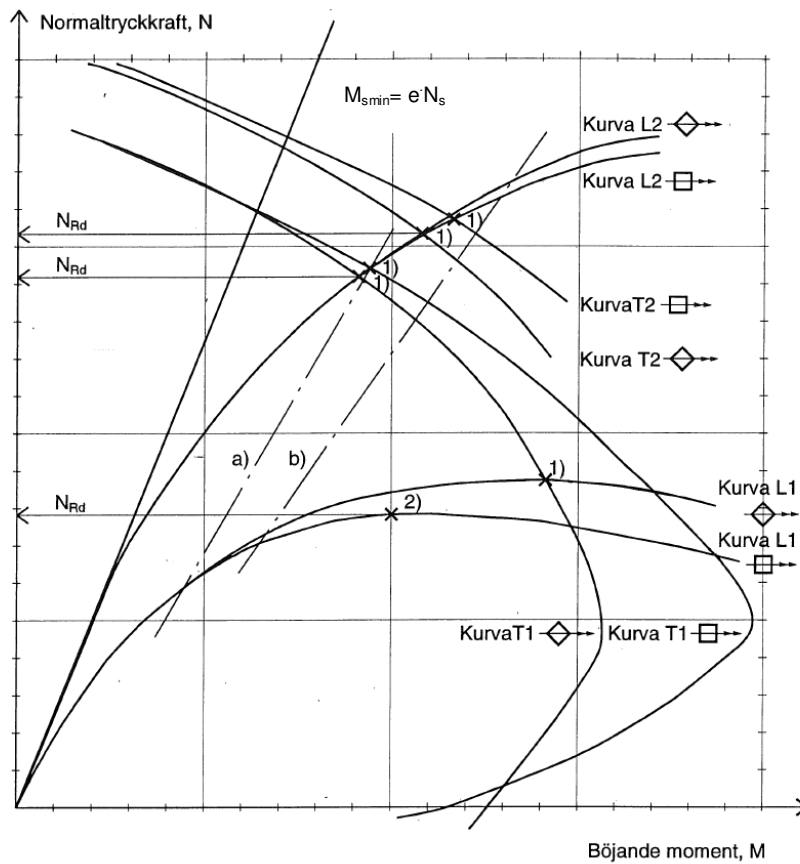
*) Max lasteffekt enligt Rapport 94 för säkerhetsklass 1.

**) Benämningar på påltyper som fanns med i den utgångna standarden SS 811103.

2.2.2 Verifiering genom beräkning

Figur 2.2.2b och tillhörande bildtext ersätts enligt nedan, övriga avsnitt kvarstår.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1




Figur 2.2.2b. Begrepp i samband med lastkapacitet

Lasteffektkurvor L: Betongpåle

Kurva L1: Lös jord

Kurva L2: Medelfast jord

Tvärnittskapacitetskurvor T: BetongpåleKurva T1: Installationens inverkan, $\mu_{cc}=\mu_{sc}=\mu_{st}=0,8$ Kurva T2: Installationens inverkan, $\mu_{cc}=\mu_{sc}=\mu_{st}=0,9$ **X 1)** Brottmod materialbrott (medelfast jord)**X 2)** Brottmod knäckning/instabilitet (lös jord)a) Gränskurva för jordens begynnande plasticering för böjning parallellt med en sida. b) Gränskurva för jordens begynnande plasticering för böjning diagonalt över pålens tvärsnitt 

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

2.2.3 Verifiering genom provning

Andra stycket utgår och ersätts med:

Verifiering av lastkapacitet (STR) genom provning kan utföras enligt SS-EN 1990, Bilaga D. Viss vägledning kan även fås i Pålkommisionens rapport 59 och IEG Rapport 8:2008, TD-Pålar.

Övriga stycken kvarstår.

2.2.4 Redovisning

Avsnittet utgår

2.3 Laster på påle

Hela kapitel 2.3 kvarstår.

Se även SS-EN 1997-1 kapitel 7 samt utförandestandarderna SS-EN 12699 – Massundanträngande pålar, SS-EN 14199 - Mikropålar och SS-EN 1536 - Grävpålar.

KAPITEL 3, DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

3.2.1 Materialvärden och arbetskurvor

Andra stycket utgår och ersätts med:

Begagnat material får användas endast:

- efter särskild utredning som visar att materialets hållfasthet, seghet, beständighet och dimensioner utmed hela pålens längd uppfyller de krav som dimensioneringen baseras på och
- om beställaren godkänt användning av begagnat material.

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

3.2.2 Installationens inverkan

Hela avsnittet kvarstår och kompletteras enligt nedan.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

Betongens hållfasthet skall enligt SS-EN 1992-1-1, 2.4.2.5 (fotnot 2) beaktas genom att partialkoefficienten γ_c multipliceras med en faktor k_f . Faktorn k_f bestäms enligt:

$$k_f = \frac{1}{\mu_c}$$

Beträffande beaktande av installationens inverkan på lastkapaciteten se även SS-EN 1997-1, 7.4.2.

Beträffande utvärdering av reduktionsfaktorn μ se även Supplement 1.

3.3 Jordmaterialens egenskaper

3.3.1 Materialvärden och arbetskurvor

Avsnitten fram till och med figur 3.3.1 kvarstår och kompletteras med följande:

Bestämning av c_{ud} utförs enligt IEG Rapport 2:2008 (TD-Grunder) kapitel 8 och 9, samt IEG Rapport 8:2008 (TD-Pålar), avsnitt 4.3. Se även paragraf 6.3.3 i SS-EN 1990, ekvation 6.3 och SS-EN 1997-1, paragraf 2.4.6.2 och bilagorna A och NA.

Följande avsnitt utgår:

- **Dimensionerande bäddmodul, k_d [MN/m³]**
- **Dimensionerande gränstryck q_{bd} [MN/m²]**
- **Val av partialkoefficient γ_{mk} för bäddmodul respektive gränstryck**

Avsnitten om Normalkonsoliderad kohesionsjord på sid 38 och friktionsjord på sid 39 utgår och ersätts med:

- **Kohesionsjord**

Sidomotstånd mot axialbelastade pålar

Vid beräkning av materialvärden enligt nedan skall kohesionsjordens odränerade skjuvhållfasthet användas. Bestämning av c_{ud} utförs enligt IEG Rapport 2:2008 (TD-Grunder) kapitel 8 och 9, samt IEG Rapport 8:2008 (TD-Pålar), avsnitt 4.3.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

Jordens dimensionerande bäddmodul k_d [N/m^3] kan sättas till:

50 c_{ud} / d för långtidsförhållanden
 200 c_{ud} / d för korttidsförhållanden

där d är pålens tvärmått utböjningsriktningen

Med långtidsförhållanden avses en varaktighet hos lasten större än ca en vecka.

Jordens dimensionerande gränstryck q_{bd} [Pa] kan sättas till:

6 c_{ud} för långtidsförhållanden
 9 c_{ud} för korttidsförhållanden

Vid laster med olika varaktighet får mellanliggande värden på bäddmodul och gränstryck tas fram genom interpolering. Detta ger mer generella uttryck för bäddmodul och gränstryck:

$$k_d = \frac{200}{1 + a_{lt} \cdot 3} \cdot \frac{c_{ud}}{d}$$

$$q_{bd} = 9 \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot a_{lt}\right) \cdot c_{ud}$$

där a_{lt} är andelen långtidslast, $P_{lf} / \Sigma P$

Sambandet mellan bäddmodul och gränstryck kan skrivas som (se även Pålkommisionen Rapport 84a, kapitel 6):

$$k_d = \frac{q_{bd}}{y_{bd}} = \frac{q}{y} \quad \text{för } y \leq y_{bd}$$

y_{bd} är dimensionerande gränsvärdet för sidoförskjutningen då gränstrycket uppnås

Se även figur 3.3.1.

- **Friktionsjord**

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

Korttids- och långtidsförhållanden

$$k_k = \frac{n_h \cdot z}{d} \quad [\text{N/m}^3]$$

n_h är tillväxtfaktor enligt tabell 3.3.1a

z är jorddjup

d är påles tvärmått i utböjningsriktningen

Tabell 3.3.1a Värden på n_h [MN/m³]

Relativ fasthet	mycket låg	låg	medel- hög	hög	mycket hög
över grundvattenytan	2,5	4,5	7,0	12,0	18,0
under grundvattenytan	1,5	3,0	4,5	7,5	11,0

För överlagrande jord med lägre tunghet än friktionsjord minskas jorddjupet i proportion till kvoten mellan de effektiva tungheterna.

Värdet $k_k \cdot d$ begränsas till värden enligt tabell 3.3.1b.

$$q_k = 3 \cdot K_{pk} \cdot \sigma'_v$$

där

K_{pk} är jordens passiva jordtryckskoefficient beräknad enligt klassisk jordtrycksteori med karakteristisk inre friktionsvinkel och

σ'_v är jordens effektiva vertikalspänning.

Tabell 3.3.1b Maximalt värde för $k_k \cdot d$ över grundvattenytan¹

Jordart	$k_k \cdot d$ [MN/m ²]
Morän	30
Grus	25
Sand	12
Silt	6
Packad sprängstensfyllning	50
Packad morän	30

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

Packad friktionsjord	30
Packad finjord	10

Värdena i tabellen avser medelhög relativ fasthet hos naturligt lagrad jord. Vid annan relativ fasthet kan proportionering göras med hjälp av tabell 3.3.1a. Under grundvattenytan multipliceras värdena med 0,6.

Dimensionerande värden bestäms enligt IEG Rapport 8:2008, TD-Pålar avsnitt 4.3.2, ekvation 4.14.

Avsnittet:

- **Inverkan av jordens plasticering – reducerad ekvivalent bäddmodul**

kvarstår.

3.4 Initialkrokighet hos installerad påle

Kvarstår, se även SS-EN 1997-1, paragraf 7.4.2 och SS-EN 1993-5, paragraf 5.3.3.

3.4.1 Dimensionerande initialkrokighet

Avsnittet kvarstår och kompletteras enligt:

Anmärkning 2 i tabell 3.4.1a, kompletteras med:
SS 811103 har utgått och ersatts av SS-EN 12794, krav på vinkelavvikelse i skarv är oförändrad (se avsnitt 4.3.1.3 i SS-EN 12794).

Tabell 3.4.1b kompletteras med en anmärkning om att SS 811103 utgått och ersatts av SS-EN 12794.

3.5 Dimensioneringsförutsättningar för betongpålar

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

3.5.1 Betongens uppsprickning

Sista stycket utgår och ersätts med:

Vid beräkning av pålens böjstyvhet skall uppsprickningens inverkan beaktas. Uppsprickningen kan beaktas med nominell styvhet enligt SS-EN 1992-1-1, avsnitt 5.8.7.

I de fall hela tvärsnittet är tryckt får böjstyvheten 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).

3.5.2 Lasters varaktighet – betongens krypning

Utgår och ersätts med ny rubrik och nytt innehåll enligt nedan.

3.5.2 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 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.

3.5.3 Betongens krympning

Utgår

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

3.6 Dimensioneringsförutsättningar för stålplålar

3.6.1 Egenspanningar i stålplålar

Egenspanningar för fri knäckning hanteras i SS-EN 1993-1-1, se avsnitt 2.4.2, 5.3 och 6.3.1. Enligt SS-EN 1993-1-1 skall egenspanningar beaktas. Beräkning av knäckning av en konstruktion i ett elastiskt medium hanteras inte. Egenspanningar kan hanteras i enlighet med SS-EN 1993-1-1 genom att räkna om knäcklängden i omgivande jord till ekvivalent fri knäcklängd. Metoden beskriven i Rapport 96:1 är en etablerad metod som kan användas tillsammans med EC3 varför avsnittet kvarstår i sin helhet.

3.6.2 Lokal buckling

Avsnittet kvarstår och kompletteras med:

Beräkningen kan utföras enligt SS-EN 1993-1 1, avsnitt 6.3, ekvation 6.47. Notera att bucklingen skall beaktas för ett tvärsnitt reducerat med dimensionerande rostmån.

3.7 Dimensioneringsförutsättningar för träplålar

Inverkan av lasters varaktighet och fuktigheten hos omgivande miljö på elasticitetsmodul och hållfasthet hos träplålar skall beaktas, se vidare gällande SS-EN 1995-1-1, avsnitten 2.3.1.2 – 3, 2.3.2 samt kapitel 3 med tabellerna 3.1 och 3.2.

Träplålar av solitt timmer bör därvid förutsättas vara i kimatklass 3, fuktig miljö (RH > 85 %). Hållfasthetsklasser skall vara enligt gällande SS-EN 338 och SS-EN 14081-1. För rundvirke kan hållfasthetsklass C30 användas.

3.7.1 Lasters varaktighet –träets krympning

Utgår

3.7.2 Lasters varaktighet –träets hållfasthet

Utgår

3.7.3 Fuktinverkan

Utgår

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

3.8 Dimensioneringsförutsättningar för pålar av flera material

Avsnittet kvarstår och kompletteras med:

Samverkan behandlas i SS-EN 1994-1-1.

3.8.1 Samverkan i stålrörspålar

Avsnittet kvarstår och kompletteras med:

Se även Pålkommisionen rapport 98, Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar.

3.8.2 Samverkan i stålkärnepålar

Avsnittet kvarstår och kompletteras med:

Se även Pålkommisionen rapport 97, Stålkärnepålar - Anvisningar för projektering, dimensionering, utförande och kontroll.

3.9 Beständighetskrav

Stycket kvarstår så när som på andra meningen utgår – det finns ingen del Beständighet. Stycket kompletteras med följande.

Beständighetskraven framgår av SS-EN 1990 avsnitt 2.4 samt kapitel 4 i respektive materialdel, SS-EN 1992-1-1, SS-EN 1993-1-1 och SS-EN 1995-1-1.

▪ Betongpålar

Avsnittet kvarstår och kompletteras med:

Se även SS-EN 206-1, SS 13 70 03 och SS 13 70 10.

▪ Stålpålar

Avsnittet kvarstår och kompletteras med:

Värden på rostmån i tabeller i SS-EN 1993-5 är inte tillämpbara för svenska förhållanden. För rostmån på stålsfont och pålar i jord och vatten se Pålkommisionen rapport 93, Korrosion och korrosionsskydd av stålpålar och stålsfont i jord och vatten, rapport 98, Dimensioneringsanvisningar för slagna

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

slanka stålplålar och rapport 105, Stålplålar beständighet mot korrosion i jord. Rapport 98 innehåller även information om korrosionsskydd.

▪ Träplålar

Avsnittet kvarstår och kompletteras med:

För krav på säkerställande av grundvattennivåer, se vidare IEG rapport 5:2008. För skarvar av stål mellan betong- och träplåle, eller trä- och träplåle gäller krav på avrostning enligt Pålkommisionen, teknisk PM 1:2008, Utredning av dimensioneringsprinciper för bergskor och skarvar till plålar.

KAPITEL 4, BERÄKNING AV LASTEFFEKT I PÅLE

Hänvisningar till BRO 94 och BBK 94 gäller ej. Innehållet gäller dock även utan de aktuella hänvisningarna varför hela kapitel 4 kvarstår.

Avsnitt 4.3 kompletteras med följande:

Se även Pålkommisionen rapport 101, Transversalbelastade plålar- statiskt verkningssätt och dimensioneringsanvisningar.

KAPITEL 5, DIMENSIONERING I BROTTRÄNSTILLSTÅND

5.2 Dimensioneringskrav och dimensioneringsförutsättningar

Punkt 2.2 i tabell 5.2 kan utgå. Innebär att även anmärkning 1 under tabellen utgår. Övrigt under avsnitt 5.2 kvarstår.

5.3 Tvärsnittskontroll

Kvarstår

Supplement nr 2 till Pålskommissionen rapport 96:1

5.3.1 Normaltryckkraft och böjande moment

Kvarstår

▪ **Betongpålar**

Kvarstår

▪ **Stålpålar**

Avsnittet kvarstår med följande förändring:

Hänvisningen till BSK ersätts med hänvisning till SS-EN 1993-1-1, avsnitt 6.2. Tvärsnittets kapacitet kontrolleras enligt ekvation 6.2 i SS-EN 1993-1-1. Notera att påle som delvis står fritt i luft eller vatten skall dimensioneras enligt SS-EN 1993-1-1, avsnitt 6.3.

▪ **Träpålar**

Avsnittet utgår och ersätts med:

För träpålar skall lastkapaciteten beräknas enligt SS-EN 1995-1-1, avsnitt 6.3, med interaktionsformel 6.23.

5.3.2 Minsta moment av normalkraft

▪ **Betongpålar**

Avsnittet utgår och ersätts med:

Enligt SS-EN 1992-1-1, avsnitt 6.1 (4) förutsätts tvärsnittet ha en minsta excentricitet $e_0 = h/30$, dock minst 20 mm (h är tvärsnittets höjd).

▪ **Stål- och träpålar**

Kvarstår, gäller även för SS-EN 1993-1-1 och SS-EN 1995-1-1.

5.4 Knäckningskontroll

5.4.1 Normaltryckkraft och böjande moment

- **Kontroll med avseende på centrisk tryckkraft – Anm 1 till**

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

tabell 5.21

Avsnittet utgår.

5.5 Lastkapacitet för pålskarvar

- **Verifiering genom provning**

Sista meningen i stycket, hänvisningen till Boverkets ”Dimensionering genom provning”, utgår och ersätts med:

Se även SS-EN 1990, avsnitt 5.2 och Bilaga D.

5.6 Lastkapacitet för bergskor

Andra och tredje stycket utgår och ersätts med:

Vid dimensionering av bergskor för slagna pålar får lastens excentricitet i anläggningen mellan berg och dubb sättas till $\varnothing_{\text{dubb}}/10$ under följande förutsättningar:

- Dubbens diameter är 30-120 mm
- Dubben utformas med egg och hårdhet enligt SS 811192
- Materialet i dubben har en sträckgräns på minst 800 MPa
- Pålen stoppslås för en dimensionerande bärförmåga större än vad som motsvarar en tryckspänning på dubbens hela tvärsnittsarea lika med 300 MPa

- **Verifiering genom beräkning**

Näst sista stycket utgår och ersätts med:

För betongpåle skall pålspetsen utföras med erforderlig spjälkarmering för att förhindra spjälkning vid eventuell lokal belastning av betongtvärsnittet. Spjälkkrafter och armeringsbehov kan beräknas enligt SS-EN 1992-1-1 paragraf 6.7 och paragraf 9.8.4.

- **Verifiering genom provning**

Sista meningen i stycket, hänvisningen till Boverkets ”Dimensionering genom provning” utgår och ersätts med:

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

Se även SS-EN 1990, avsnitt 5.2 och Bilaga D.

5.6 Dimensionering för utmattningslast

Avsnittet kvarstår, se även avsnitt om utmattning i respektive materialdel, SS-EN 1992-1-1 och SS-EN 1993-1-1.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

KAPITEL 6, DIMENSIONERING I BRUKSGRÄNSTILLSTÅND

6.2 Dimensioneringskrav och dimensioneringsförutsättningar

Notera att Anm 2 under tabell hänvisar till BKR och eventuell föreskrift i annan gällande norm. I SS-EN 1992-1-1 finns inte heller något krav på minsta excentricitet i bruksgränstillstånd varför hela tabellen inklusive anmärkningarna kan bibehållas.

6.3 Dimensionering av betongpålar

6.3.1 Begränsning av betongtryckspänningar

Näst sista stycket utgår och ersätts med:

Under följande förutsättningar

- betongklass lägst C40/50
- kantryckpåkänningen i betongen begränsas till 60% av f_{ck} reducerat med hänsyn till slagningsarbetet
- 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, paragraf 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.

Om dessa förutsättningar inte är uppfyllda skall kantryckspänningen begränsas till 45% av f_{ck} reducerat med hänsyn till slagningsarbetet, se SS-EN 1992-1-1, paragraf 3.1.4.

Övriga stycken kvarstår.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1

6.3.2 Sprickbredds begränsning

Andra stycket utgår och ersätts med:

Begränsning av sprickbredd utförs enligt SS-EN 1992-1-1, avsnitt 7.3.

Övriga stycken kvarstår.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

Supplement nr 2, bilaga 1

Beräkning

Pålelement betongpåle SP2

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

Innehållsförteckning

Betongpålar	3
Allmän beskrivning.....	3
Beräkningsförutsättningar	3
Generella krav	3
Teknisk livslängd.....	3
Exponeringsklasser	3
Basmått avseende täckande betongskikt.....	3
Materialvärden	3
Pålelement	3
Armering	4
Inverkan av slagning.....	4
Jordmaterial.....	4
Laster	5
 Pålens lastkapacitet m h t knäckning i omgivande jord.....	5
Brottgränstillstånd.....	5
Böjstyvhet	5
Gränstryck	7
Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd.....	7
Tvärsnittskontroll.....	8
Bruksgränstillstånd	11
Böjstyvhet	11
Gränstryck	12
Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd.....	13
Tvärsnittskontroll.....	14
Tvärsnittskontroll.....	16

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

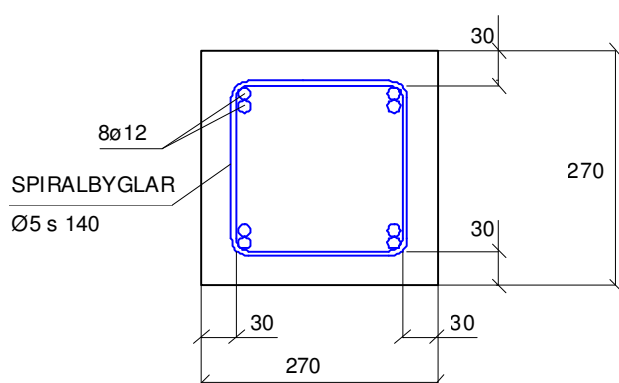
Betongpålar

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 ($v_{ct} \leq 0,40$) framgår av tabell nedan.

Tabell 1: Materialvärden betong

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

Krytpal $\varphi = 1,6$ 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 Pålkommision Rapport 96:1 – Supplement nr 1, tabell 3.2.2a och b. Vid beräkning av pålelementets 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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

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 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.

Eftersom pälens böjmotstånd är lika vid böjning parallellt som vid böjning över diagonalen och pälens 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

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

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

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

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

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

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

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:

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

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

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

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

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

Ytterligare några iterationer ger:

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

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

Supplement nr 2 till Pålskommissionen rapport 96:1
Bilaga 1

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:

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

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

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

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

Supplement nr 2 till Pålskommissionen rapport 96:1
Bilaga 1

y_0 [mm]	30,0	38,7
EI [kNm ²]	2888	2888
$k_d \cdot d$ [kPa]	500	500
δ_0 [mm]	32,5	32,5
y_b [mm]	32,4	32,4
y_b/y_0	1,08	0,84
$\alpha(y_b/y_0)$	1,57	0,99
$\Phi(y_0)$	1,00	0,99
P [kN]	1154	1300
M [kNm]	36,0	46,3

Iterera med avseende på tillskottsutböjningen y_0 till dess att beräknad axiellast 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.

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

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

\Rightarrow 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 $k_2 = 0,20$

Supplement nr 2 till Pålskommissionen rapport 96:1
Bilaga 1

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

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

Bäddmodul:

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

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

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

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

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

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

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 axiellasten 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:

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

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

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

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

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

y_0 [mm]	40,0	45,4
EI [kNm ²]	2935	2935
$k_d \cdot d$ [kPa]	500	500
δ_0 [mm]	32,6	32,6
y_b [mm]	32,4	32,4
y_b/y_0	0,81	0,71
$\alpha(y_b/y_0)$	0,94	0,79
$\Phi(y_0)$	0,98	0,96
P [kN]	1325	1380
M [kNm]	48,1	53,8

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.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

Bruksgränstillstånd

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)

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

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

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

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

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

Antag $N_d = 1000 \text{ kN}$

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

Antag $k_2 = 0,15$

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

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

Bäddmodul:

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

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

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

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

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

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

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

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

Tillskottsutböjning vid plasticering av omgivande jord är

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

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 ²]	2284

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

$k_d d$ [kPa]	650
δ_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 axiellast 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.

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

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

\Rightarrow 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 $k_2 = 0,10$

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

Supplement nr 2 till Pålskommissionen rapport 96:1
Bilaga 1

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

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

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

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

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

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:

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

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

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]	22,2
EI [kNm ²]	2338
$k_d \cdot d$ [kPa]	650
δ_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.

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

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

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

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

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 1

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

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.

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

Supplement nr 2, bilaga 2

Beräkning

Stålrörspåle $\varnothing 115 \times 6,3$ med stål SS-EN 10219 S420J2H

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

Innehållsförteckning

Stålrörspåle Ø114,3x6,3	3
Allmän beskrivning.....	3
Generella krav	3
Teknisk livslängd.....	3
Exponeringsklasser	3
Materialvärden	3
Pålelement	3
Inverkan av slagning.....	4
Jordmaterial.....	4
Laster	4
Geometri	4
Tvärsnitt	4
Tvärsnittskonstanter.....	5
Pålens lastkapacitet m h t knäckning i omgivande jord.....	6
Brottgränstillstånd.....	6
Gränstryck	7
Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd.....	8
Tvärsnittskontroll.....	8
Tvärsnittskapacitet och tvärsnittskontroll	8
Bruksgränstillstånd	9
Gränstryck	10
Lasteffekt i påle med beaktande av jordens sidomotstånd.....	11
Tvärsnittskapacitet och tvärsnittskontroll	11

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

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 S420J2H 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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

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

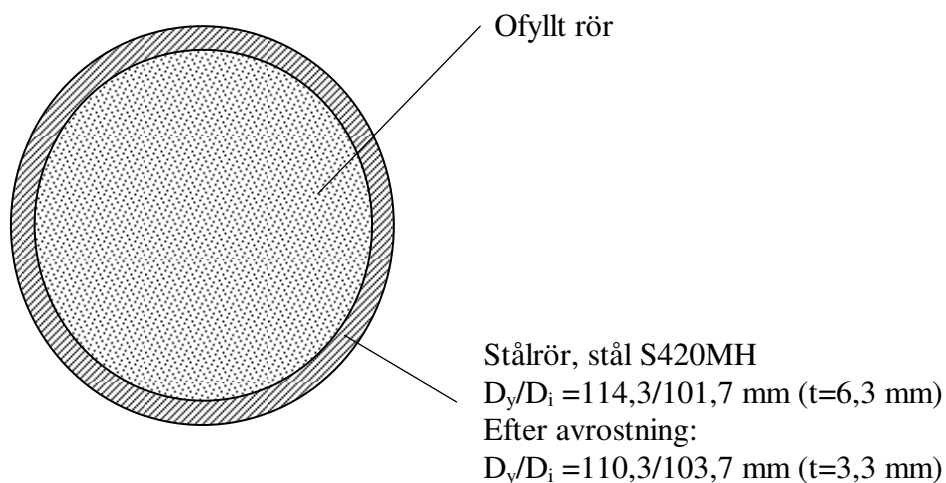
För bestämning av dimensionerande värden på skjuvhållfastheten i brott och bruksgränstillstånd, avsnitt 3.3.1 i detta supplement och IEG Rapport 2:2008, TD-grunder och Rapport 8:2008, TD-Pålar.

Laster

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

Geometri

Tvärsnitt



Supplement nr 2 till Pålskommissionen rapport 96:1
Bilaga 2

Tvärsnittskonstanter

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 η begränsas till 1,25 för tvärsnittsklass TK1

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

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:

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

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

Initialkrokighet

Initialkrokighet i pålelement: $l_k/600$

Antal skarvar inom en knäcklängd (6 m elementlängd)

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

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:

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

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

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

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

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:

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

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

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

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

y_0 [mm]	5	10	14,2	20	25
EI [kNm ²]	300				
$k_d \cdot d$ [kPa]	350				
δ_0 [mm]	19				
y_b [mm]	13,2				
y_b/y_0	2,64	1,32	0,93	0,66	0,53
$\alpha(y_b/y_0)$	1,57	1,57	1,19	0,72	0,56
$\Phi(y_0)$	1,00	1,00	1,00	0,93	0,85
P [kN]	135	223	277	321	340
M [kNm]	1,6	3,2	4,6	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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

Tvårsnittskapacitet 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 pålelement: $l_k/600$

Antal skarvar inom en knäcklängd (6 m elementlängd)
 $n_j = l_k/l_c = 3,02/6 = 0,503$ (avrundas uppåt till 1 skarv inom knäcklängden)

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

Karakteristisk initialkrokighet:

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

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

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:

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

Krökningradie 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

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

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	9,6
EI [kNm ²]	300		
$k_d \cdot d$ [kPa]	500		
δ_0 [mm]	17,4		
y_b [mm]	13,2		
$\Phi(y_0)$	1,00	1,00	1,00
P [kN]	173	222	275
M [kNm]	1,9	2,7	3,7

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 η sätts till 1,0.

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

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

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

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

Supplement nr 2 till Pålkommisionen rapport 96:1
Bilaga 2

∴ Lastkapaciteten i bruksgränstillstånd för långtidslast är $N_{Red} = 275 \text{ kN}$