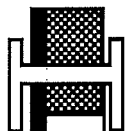




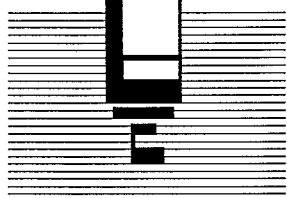
PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research



Dimensioneringsprinciper för pålar

Lastkapacitet



Linköping 1998

rapport 96:1

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

rapport 96:1

Dimensioneringsprinciper för pålar

Lastkapacitet

Linköping 1998

Rapport	Pålkommisionen 581 93 Linköping
Beställning	Statens geotekniska institut Biblioteket Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 14 e-post: info@geotek.se internet: http://www.byggforum.com/pk
ISSN	0347-1047
ISRN	IVA/PAL/R--98/96--SE
Redigering och layout	Statens geotekniska institut
Upplaga	400 ex
Tryck	Roland Offset AB, Linköping, april 1998

Förord

Föreliggande rapport är en delrapport i Pålkommissionens projekt ”Gemensamma dimensioneringsprinciper för pålar”. En kortfattad beskrivning av bakgrund, syfte, omfattning och planerad fortsatt rapportering från projektet finns i en inledande beskrivning av projektet i denna rapport.

Denna delrapport om lastkapacitet har skrivits av Gunnar Ehnåge, VBK Konsulterande ingenjörer, Göteborg, efter ett första utkast från Gunnar Holmberg, Skanska Teknik AB, Göteborg. Den slutliga rapporten är helt omarbetad och kompletterad med flera avsnitt.

Rapporten har tagits fram i samråd med den styrgrupp som leder projektet ”Gemensamma dimensioneringsprinciper för pålar”. Styrgruppen har följande ledamöter:

Åke Bengtsson	ELU Konsult, projektledare
Per Löfling	Vägverket
Björn Dehlbom	Banverket
Mats Green	Pålentreprenörföreningen
Connie Olsson	Pålkommissionen, sekr

Rapporten har i olika skeden remissbehandlats av sakkunniga inom ämnesområdet. Värdefulla synpunkter har härvid inkommit, förutom från styrgruppen, från Gunnar Holmberg, Claes Alén, Anders Fredriksson, Håkan Bredenberg och Torsten Höglund.

Utredningen har finansierats över Pålkommissionens budget med särskilda bidrag från Banverket och Vägverket.

Rapporten har redigerats av Jan Lindgren, Statens geotekniska institut.

Linköping i mars 1998

Innehåll

Förord	
Läsanvisningar och sammanfattning	7
Summary	8
Dimensioneringsprinciper för pålar	9
Beteckningar	11
Begrepp	15
1. Grundprinciper	18
2. Lasteffekt, lastkapacitet och laster - allmänna förhållanden och principer	19
2.1 Lasteffekt	19
2.1.1 Obelastad påle	
2.1.2 Belastad påle	
2.2 Lastkapacitet	22
2.2.1 Principer för verifiering	
2.2.2 Verifiering genom beräkning	
2.2.3 Verifiering genom provning	
2.2.4 Redovisning	
2.3 Laster på påle	28
2.3.1 Maximal last på påle	
3. Dimensioneringsförutsättningar	30
3.1 Sammanställning	30
3.2 Pålmaterialens egenskaper	32
3.2.1 Materialvärden och arbetskurvor	
3.2.2 Installationens inverkan	
3.3 Jordmaterialens egenskaper	35
3.3.1 Materialvärden och arbetskurvor	
3.3.2 Installationens inverkan	
3.4 Initialkrokighet hos installerad påle	40
3.4.1 Dimensionerande initialkrokighet	
3.5 Dimensioneringsförutsättningar för betongpålar	44
3.5.1 Betongens uppsprickning	
3.5.2 Lasters varaktighet - betongens krypning	
3.5.3 Betongens krympning	

3.6 Dimensioneringsförutsättningar för stålplåtar	45
3.6.1 Egenspanningar i stålplåtar	
3.6.2 Lokal buckling	
3.7 Dimensioneringsförutsättningar för träplåtar	46
3.7.1 Lasters varaktighet - träets krypning	
3.7.2 Lasters varaktighet - träets hållfasthet	
3.7.3 Fuktinverkan	
3.8 Dimensioneringsförutsättning för plåtar av flera material	47
3.8.1 Samverkan i stålörörplåtar	
3.8.2 Samverkan i stålörörplåtar	
3.9 Beständighetskrav	48
4. Beräkning av lasteffekt i påle	49
4.1 Allmänna förhållanden och principer	49
4.2 Metoder för enbart axialbelastad påle	51
4.3 Metoder för axial- och transversal- och/eller böjmomentbelastad påle	51
5. Dimensionering i brottgränstillstånd	54
5.1 Allmänna förhållanden och principer	54
5.2 Dimensioneringskrav och dimensioneringsförutsättningar	54
5.3 Tvärsnittskontroll	55
5.3.1 Normaltryckkraft och böjande moment	
5.3.2 Minsta moment av normalkraft	
5.3.3 Övriga lastkapaciteter	
5.4 Knäckningskontroll	56
5.4.1 Normaltryckkraft och böjande moment	
5.5 Lastkapacitet för pålskarvar	57
5.6 Lastkapacitet för bergskor	57
5.7 Dimensionering för utmattningslast	58
6. Dimensionering i bruksgränstillstånd	59
6.1 Allmänna förhållanden och principer	59
6.2 Dimensioneringskrav och dimensioneringsförutsättningar	59
6.3 Dimensionering av betongplåtar	60
6.3.1 Begränsning av betongtryckspänningar	
6.3.2 Sprickbredds begränsning	
6.4 Dimensionering av stål- och träplåtar	61
6.4.1 Begränsning av spänningar till elastiska förhållanden	
7. Utförandekontroll av pålning	62
7.1 Utförandekontroll av pålning med avseende på lastkapacitet	62
7.1.1 Grundprinciper	
7.1.2 Kontroll av förutsättningar för valda värden på reduktionsfaktorn μ	
7.1.3 Kontroll av påles integritet	
7.1.4 Kontroll av förutsatt raket/största initialkrokighet	
7.1.5 Kontroll av förutsatt sidomotstånd mot påle	
7.1.6 Kontroll av förutsatt fri pållängd i luft och/eller vatten	
Bilaga I	
Schablon för beräkning av reduktionsfaktorn μ_{lcc} för betongplåtar	66

Läsanvisningar och sammanfattning

Rapporterna inom projektet "Gemensamma dimensioneringsprinciper för pålar" har "normkaraktär" och syftar primärt till att redovisa principer för hur pålar skall dimensioneras. För att tydligt visa vad som är principer och vad som är kommentarer, förtydliganden och hänvisningar har följande skrivsätt tillämpats i rapporten:

fet stil i löptext = text som beskriver principer

rak text i löptext = kommentarer, förtydliganden, hänvisningar

Skrivsättet har valts i likhet med andra byggregler, så att verbet "skall" använts för principtext och verben "bör" eller "kan" använts för kommentarer, förtydliganden och hänvisningar

Sammanfattning

Rapporten beskriver inledningsvis allmänna förhållanden beträffande lasteffekt, lastkapacitet, verifieringsprinciper och laster på pålar.

Dimensioneringsförutsättningar för bestämning av pålars lastkapacitet redovisas utifrån pålmaterialens och jordmaterialens egenskaper, initialkrokighet hos installerad påle samt med hänsyn till beständighetsaspekter. Härvid beaktas bl a installationens inverkan, lasters varaktighet, jordens plasticering och egenspanningar hos stålplålar. Även dimensioneringsförutsättningar för stålörspålar med betongkärna och stålärnepålar behandlas.

En metod att ta hänsyn till installationens inverkan med en reduktionsfaktor (μ) lagd på materialegenskapernas karakteristiska värden redovisas. Värdet på μ beräknas enligt en ny metod utifrån slagningens inverkan, jord- och bergförhållanden och eventuell kontroll av pålens integritet.

Dimensionerande initialkrokighet för olika påltyper och fiktiv initialkrokighet för olika typer av stålplålar anges.

I ett särskilt avsnitt redovisas principer för hur lasteffekt på pålar skall beräknas.

Principer för dimensionering av pålar i brottgräns- och bruksgränstillstånd redovisas. Brottgränsdimensioneringen omfattar tvärsnittskontroll och knäckningskontroll för pålelement, kontroll av kapacitet hos pålskarvar och pålskor samt principer för dimensionering för utmattningslast. Bruksgränsdimensioneringen omfattar kontroll av spänningar och sprickbredder.

I ett avslutande avsnitt redovisas principer för utförandekontroll med avseende på pålars lastkapacitet.

I bilaga redovisas schablon för val av μ_1 -värde (reduktionsfaktor för inverkan av slagning) för tryckhållfasthet hos betongplålar.

Summary

Common Design Principles for Piles – Load Capacity

The project entitled “Design Principles for Piles” is designed as a set of standards or codes. The aim of this work is to present principles rather than detailed information on design methods for piles. The project consists of a number of sections. This report describes principles for the handling and verification of load effects and load capacity of piles. The forthcoming sections deal with installation and resistance to environmental effects.

The design prerequisites for determining the load capacity of a pile are described on the basis of the characteristics of the pile material and soil, the initial curvature of the installed pile and the inherent stresses of steel piles, in addition to influence of pile installation, duration of loading, plastic strains in the soil and durability aspects. Design prerequisites for tubular steel piles with concrete cores and piles with steel cores are also described.

The report includes a method for taking into account the influence of pile installation using a reduction factor (μ) applied to the characteristic values for the material properties. The value of μ is calculated according to a new method based on the influence of piledriving, soil and rock conditions and integrity tests of the piles.

Design initial curvature is described for various types of piles and fictive initial curvature for various types of steel piles.

A special section describes principles for calculating load effects on piles.

Design principles for piles in ultimate limit state and serviceability limit state are described. Ultimate limit state design comprises checks on cross-section and buckling of the pile element, checks on the capacity of pile joints and pile shoes, and principles for calculating fatigue load. Serviceability limit state design comprises determination of stresses and crack widths.

The concluding section describes principles for on-site inspection with regard to the load capacity of piles.

An appendix describes a method of choosing the value of μ_1 (a reduction factor to allow for the influence of piledriving) with regard to the compressive strength of concrete piles.

Dimensioneringsprinciper för pålar

Våren 1992 startade en diskussion inom Pålkommisionen om behovet av gemensamma dimensioneringsprinciper för pålar. Vid kommissionens årsmöte **1993** bestämdes att området skulle prioriteras. Utredningsdirektiv för arbetet formulerades. I **april 1994** redovisades en behovsanalys med programförslag, syftesbeskrivning och begränsningar enligt följande:

Utredningen skall formulera principiella regler som skall vara tillämpbara som "paraplyregler". Detaljregler för enskilda påltyper skall ej ingå i utredningen. Ett huvudsyfte är att skapa enhetliga regler för lastkapacitet och bärförmåga för pålar med olika funktion och material. Utredningen skall omfatta pålelement av betong, stål och trä samt även pålskarvar och pålskor. Dock skall utredningen begränsas till förtillverkade, slagna pålar. Grävpålar eller andra platstillverkade pålar skall ej behandlas.

Programmet innehöll också ett förslag till struktur för arbetet, som tagits fram av en arbetsgrupp med sakkunniga inom kommissionen. Programförslaget blev i **oktober 1994** preciserat och uppdelat på följande delar:

- Dimensioneringsprinciper
- Hantering
- Installation
- Lasteffekter, geotekniska laster
- Lastkapacitet
- Geoteknisk bärförmåga
- Beständighet
- Kontroll

Kommissionen engagerade följande utredningsmän till att ta fram textförslag till de olika delarna:

DIMENSIONERINGSPRINCIPER	Claes Alén, Lars Hellman
HANTERING	Gunnar Ehnåge
INSTALLATION	Gunnar Holmberg
LASTEFFEKTER, GEOTEKNISKA LASTER	Claes Alén, Lars Hellman
LASTKAPACITET	Gunnar Holmberg
GEOTEKNISK BÄRFÖRMÅGA	Connie Olsson
BESTÄNDIGHET	Ulf Bergdahl
KONTROLL	Gunnar Ehnåge

Vid kommissionens vårmöte i **maj 1996** redovisades samtliga delavsnitt i koncept som rapporter i kommissionens interna rapportserie. Diskussionen vid vårmötet visade att koncepten måste struktureras och bearbetas ytterligare för att få önskad funktion som principiella regler för dimensionering av pålar. Det bestämdes att två av avsnitten - "Lastkapacitet" och "Beständighet" skulle bearbetas vidare i ett första steg. Dessa avsnitt skulle sedan få fungera som mönsteravsnitt. Gunnar Ehnåge utsågs till utredningsman för lastkapacitetsavsnittet och Ulf Bergdahl för beständighetsavsnittet.

I **september 1997** beslutade Pålkommisionens styrelse att ge ut de olika delarna i projektet successivt allt eftersom de kommer fram och inte vänta med publicering till hela projektet färdigställt. Delrapporterna remissbehandlas i detta skede hos en mindre grupp sakkunniga. I takt med att utgivna rapporter används och nya delar framkommer kan det finnas behov av att revidera tidigare utgivna delrapporter.

Det har diskuterats att i projektets slutskede sammanfatta samtliga delrapporter i ett dokument. I en sådan sammanfattande rapport kan det bli aktuellt att kondensera materialet från de olika delrapporterna.

Närmast i tur för publicering efter delrapporten om lastkapacitet är delarna om beständighet och installation.

Parallellt med ovan beskrivet arbete har kommissionen inom ramen för arbetet med "Gemensamma dimensioneringsprinciper för pålar" i **januari 1996** publicerat rapport 94; Standardpålar av betong – lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga.

Beteckningar

E_c	dimensionerande värde på betongs elasticitetsmodul, MPa
E_d	dimensionerande värde på elasticitetsmodul, MPa
E_{ef}	dimensionerande värde på betongs effektiva elasticitetsmodul, MPa
E_s	dimensionerande värde på ståls elasticitetsmodul, MPa
H	transversallast, MN
I	sektionens yttröghetsmoment, m^4
M	moment, MNm
M_d	dimensionerande moment, MNm
N	normalkraft, MN
N_d	dimensionerande normalkraft, MN
N_{Rd}	dimensionerande lastkapacitet för normalkraft
N_i	det antal belastningscykler som ger utmattningsbrott vid konstant spänningsamplitud σ_i
P	axiallast, MN
P_k	elastisk knäcklast, MN
R	krökningsradie, m
c_u	lerans odränerade skjuvhållfasthet, MPa
c_{ud}	dimensionerande värde på lerans odränerade skjuvhållfasthet, MPa
c_{uk}	karaktéristiskt värde på lerans odränerade skjuvhållfasthet, MPa
d	påles tvärmått vinkelrätt utböjningsriktningen, m

$e_{\min}$	minsta icke avsedd excentricitet hos normalkraften i ett tvärsnitt, m
e_o	icke avsedd initialkrokighets största värde, m
f_{cc}	dimensionerande värde på betongs tryckhållfasthet, MPa
f_{cck}	karakteristiskt värde på betongs tryckhållfasthet, MPa
f_{cckr}	reducerat karakteristiskt värde på betongs tryckhållfasthet, MPa
f_d	dimensionerande värde på en materialegenskap, MPa
f_k	karakteristiskt värde på en materialegenskap, MPa
f_{kr}	reducerat karakteristiskt värde på en materialegenskap, MPa
f_{sc}	dimensionerande värde på ståls och armerings tryckhållfasthet, MPa
f_{sckr}	reducerat karakteristiskt värde på ståls och armerings tryckhållfasthet, MPa
f_{st}	dimensionerande värde på ståls och armerings draghållfasthet, MPa
f_{stkr}	reducerat karakteristiskt värde på ståls och armerings draghållfasthet, MPa
f_{yk}	karakteristiskt värde på ståls och armerings hållfasthet, MPa
f_{ykr}	reducerat karakteristiskt värde på ståls och armerings hållfasthet, MPa
f_{yd}	dimensionerande värde på ståls och armerings hållfasthet, MPa
k	bäddmodul för sidoförskjutning av påle, MN/m ³
k_d	dimensionerande värde på bäddmodul, MN/m ³
k_{de}	ekvivalent dimensionerande värde på bäddmodul, MN/m ³
k_{def}	effektivt dimensionerande värde på bäddmodul, MN/m ³
k_k	karakteristiskt värde på bäddmodul, MN/m ³
l	längd, m
l_c	Eulerknäcklängd, m
l_k	elastisk knäcklängd, m
l_m	mätlängd, m
n_i	aktuella antalet belastningscykler med konstant spänningsamplitud σ_i

q	sidomotstånd (sidotryck) mot påle, MPa
q_b	gränstryck (brottryck) vid horisontalförskjutning av påle, MPa
q_{bd}	dimensionerande värde på gränstryck vid horisontalförskjutning av påle, MPa
q_{bk}	karakteristiskt värde på gränstryck vid horisontalförskjutning av påle, MPa.
y	påles tillskottsutböjning, m
y_{bd}	dimensionerande gränsvärde för påles sidoförskjutning, då gränstrycket uppnås, m
y_H	påles tillskottsutböjning av transversallast, m
γ_m	partialkoefficient som beaktar osäkerheten i en materialegenskap
γ_{mk}	partialkoefficient som beaktar osäkerheten i bäddmodul
γ_{mq}	partialkoefficient som beaktar osäkerheten i gränstryck
γ_n	partialkoefficient som beaktar säkerhetsklass
γ_δ	partialkoefficient som beaktar osäkerheten i pilhöjd
δ	påles initialkrokighet angiven som pilhöjd, m
δ_d	dimensionerande värde på påles pilhöjd, m
δ_f	fiktiv pilhöjd för att beakta egenspanningar i stålplåtar, m
δ_H	fiktiv initialkrokighet för att beakta tillskottsutböjning av transversallast och/eller böjande moment, m
δ_k	karakteristiskt värde på påles totala pilhöjd, m
$\delta_{kpåle}$	karakteristiskt värde på oskarvat pålelements pilhöjd, m
δ_{kskarv}	karakteristiskt värde på tillskott till pilhöjden till följd av skarvars vinkelavvikelse, m
δ_m	uppmätt karakteristisk pilhöjd, m
δ_{max}	största acceptabla pilhöjd, m
δ_0	pilhöjdens största värde, m
δ_2	reduktionsterm för materialegenskap med hänsyn till jord- och berg-förhållanden
δ_3	reduktionsterm för materialegenskap med hänsyn till förekommande integritetskontroll
ϵ_{cs}	betongs krympning

φ	kryptal för betong
φ_j	kryptal för jord
φ_{ef}	effektivt kryptal för betong
φ_{jef}	effektivt kryptal för jord
η	formfaktor
μ	reduktionsfaktor för materialegenskap med hänsyn till installationens inverkan
μ_{cc}	reduktionsfaktor för betongs tryckhållfasthet med hänsyn till installationens inverkan
μ_{ct}	reduktionsfaktor för betongs draghållfasthet med hänsyn till installationens inverkan
μ_{cE}	reduktionsfaktor för betongs elasticitetsmodul med hänsyn till installationens inverkan
μ_{sc}	reduktionsfaktor för ståls och armerings tryckhållfasthet med hänsyn till installationens inverkan
μ_{st}	reduktionsfaktor för ståls och armerings draghållfasthet med hänsyn till installationens inverkan
μ_{sE}	reduktionsfaktor för ståls och armerings elasticitetsmodul med hänsyn till installationens inverkan
μ_{wc}	reduktionsfaktor för träs tryckhållfasthet med hänsyn till installationens inverkan
μ_{wt}	reduktionsfaktor för träs draghållfasthet med hänsyn till installationens inverkan
μ_{wE}	reduktionsfaktor för träs elasticitetsmodul med hänsyn till installationens inverkan
μ_1	reduktionsfaktor för materialegenskap med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1cc}	reduktionsfaktor för betongs tryckhållfasthet med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1ct}	reduktionsfaktor för betongs draghållfasthet med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1cE}	reduktionsfaktor för betongs elasticitetsmodul med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1sc}	reduktionsfaktor för ståls och armerings tryckhållfasthet med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1st}	reduktionsfaktor för ståls och armerings draghållfasthet med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1sE}	reduktionsfaktor för ståls och armerings elasticitetsmodul med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1wc}	reduktionsfaktor för träs tryckhållfasthet med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1wt}	reduktionsfaktor för träs draghållfasthet med hänsyn till slagningens inverkan
μ_{1wE}	reduktionsfaktor för träs elasticitetsmodul med hänsyn till slagningens inverkan

Begrepp

Förklaring av i denna del använda grundläggande begrepp.

Böjande moment enligt 2:a ordningens teori

En teori som beaktar deformationernas = tillskottutböjningarnas inverkan på kraft- och momentfördelningen i konstruktionen eller konstruktionsdelen.

Bärförmåga

Det lägsta av lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga.

Delskada

Kvoten n_i / N_i där n_i är antalet lastcykler vid en konstant cyklisk spänningsamplitud σ_i och N_i är antalet cykler till brott vid σ_i .

Delskadehypotes enligt Palmgren-Miner

$\sum_i n_i / N_i \leq 1,0$ där n_i och N_i är beteckningar enligt ”delskada”.

Elastisk knäcklast, P_k

Den teoretiska idealelastiska knäcklasten.

För en initiiellt rak och spänningsfri påle i ett idealelastiskt medium blir $P_k = 2\sqrt{k_d \cdot d \cdot E_d \cdot I}$

För pelare kan knäcklasten skrivas

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E_d \cdot I}{l_c^2}$$

Elastisk knäcklast benämnes här ibland enbart knäcklast. (Elastisk knäcklast benämnes i annan litteratur ibland elastisk knäckningslast och ibland även kritisk last).

Elastisk knäcklängd, l_k

Det teoretiska avståndet mellan knäckningsfigurens inflektionspunkter.

För en initiiellt rak och spänningsfri påle i ett idealelastiskt medium blir $l_k = \pi\sqrt{E_d \cdot I / (k_d \cdot d)}$

Elastisk knäcklängd benämnes här ibland enbart knäcklängd.

Eulerknäcklängd, l_c

Med påles Eulerknäcklängd menas $l_c = \pi \sqrt{E_d \cdot I / P_k}$

För en initieellt rak och spänningsfri påle i ett idealelastiskt medium blir $l_c = l_k / \sqrt{2}$

Eulerknäcklängden användes vid beräkning av knäckningskapaciteten för pelare och av jord inte sidostöttad påle.

(Eulerknäcklängd benämnes i annan litteratur ibland även teoretisk knäcklängd, fiktiv knäckningslängd eller enbart knäckningslängd.)

Geoteknisk bärförmåga

Omgivande jords och/eller bergs förmåga att motstå påförd lasteffekt från pålen (längs manteln och/eller spetsen) i olika gränstillstånd utan att motsvarande gränstillståndskrav med avseende på jord och/eller berg överskrides.

Knäckningskapacitet för påle

Den maximala lastkapaciteten som leder till instabilitet varvid pålen som helhet okontrollerat böjer ut.

Laster på påle

Laster från uppburen konstruktion eller konstruktionsdel och från omgivande jord och/eller vatten (krafter, moment och påtvingade deformationer) inklusive laster verkande direkt på pålen (krafter, moment och påtvingade deformationer).

Laster på pålar kan vara lasteffekt från konstruktionens överbyggnad eller stomme, av direkta och indirekta laster verkande på denna, samt direkta och indirekta laster verkande direkt på grundläggningen eller på pålarna.

Lasteffekt i påle

All inverkan som (olika kombinerade) laster verkande på pålen i olika gränstillstånd före, under och efter installation har på pålens alla delar och snitt. Med lasteffekt i en påle avses sålunda stödreaktioner (krafter och moment), snittstorheter (krafter och moment) och deformationer (translationer och rotationer).

Med lasteffekt i en påle i denna del menas, där inte annat anges, lasteffekt för installerad påle.

Lasteffektkurva

En kurva som sammanbinder samhörande värden på lasteffekten avseende normalkraft och böjande moment.

Lastkapacitet för påle

Påles konstruktiva bärförmåga, d v s dess förmåga att motstå lasteffekt i alla snitt i olika gränstillstånd före, under och efter installation utan att motsvarande gränstillståndskrav med avseende på pålen överskrids.

Med påles lastkapacitet i denna del menas, där inte annat anges, lastkapacitet för installerad påle.

Med påles lastkapacitet för normaltryckkraft i brottgränstillstånd menas det lägsta av pålens tvärsnittskapacitet och knäckningskapacitet.

Lastkapacitetskurva

En kurva som sammanbinder samhörande värden på påles lastkapacitet och jordens skjuvhållfasthet.

Påle

Påles alla delar som pålelement, pålskarv och bergsko.

Tvärsnittskapacitet

Påltvärsnittets lastkapacitet i olika gränstillstånd.

Tvärsnittskapacitetskurva

En kurva som sammanbinder samhörande värden på tvärsnittskapaciteten avseende böjande moment och normalkraft för ett givet tvärsnitt.

Utmattningslast

Last med så många och stora lastvariationer att utmattningsbrott kan uppträda. (I annan litteratur användes ibland cyklisk last i samma betydelse).

Kapitel 1.

Grundprinciper

Lastkapaciteten för påles alla delar och snitt skall i såväl brott- som bruksgränstillstånd vara större än eller lika med lasteffekten.

Lastkapaciteten skall verifieras, då så bedöms behövt.

Vid dimensionering skall hänsyn tas till förhållanden av betydelse, som bl a följande:

- **installationens inverkan på materialegenskaperna, se avsnitt 3.2**
- **jordens sidomotstånd mot påle, se avsnitt 3.3**
- **påles initialkrokighet, se avsnitt 3.4**

Kapitel 2.

Lasteffekt, lastkapacitet och laster – allmänna förhållanden och principer

2.1 LASTEFFEKT

2.1.1 Obelastad påle

En installerad obelastad påle skall alltid antagas vara initialkrokig men kan normalt betraktas som spänningsfri med undantag av egenspanningar.

En i jorden installerad påle kan betraktas som en av jorden sidostöttad pelare.

En installerad påle kan aldrig betraktas som helt rak utan dess tyngdpunktslinje har alltid en viss initialkrokighet redan i obelastat tillstånd. Denna beror på initialkrokigheten hos den icke installerade pålen och på den tillskottskrokighet som slagningen i jorden kan ha orsakat. Se vidare avsnitt 3.4.

Pålens ökade krokighet på grund av slagningen kan svara mot ett tvångslasttillstånd mellan jord och påle som ger lasteffekter och spänningar i pålen. Dessa kan normalt försummas, eftersom den ytterligare ökning av krokigheten, som axialbelastningen orsakar, innebär en avlastning av tvångslasterna.

Valsning och svetsning av stålpålar orsakar egenspanningar i dessa. Inverkan av egenspanningar i stålpålar kan beaktas enligt anvisningar i avsnitt 3.6.1.

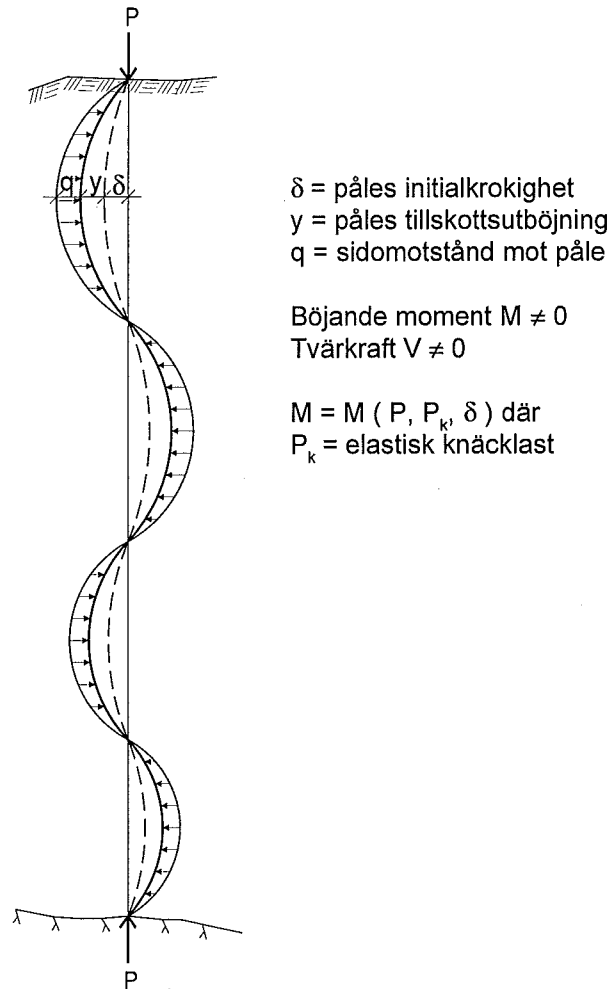
2.1.2 Belastad påle

Påle belastad med enbart axiellt riktad tryckande last får alltid lasteffekt bestående av normaltryckkraft i kombination med böjande moment och tvärkraft.

Lasteffekten i en påle kan avse olika inverkningar, som t ex normaltryckkraft, normaldragkraft, böjande moment, tvärkraft, vridande moment och kombinationer av dessa.

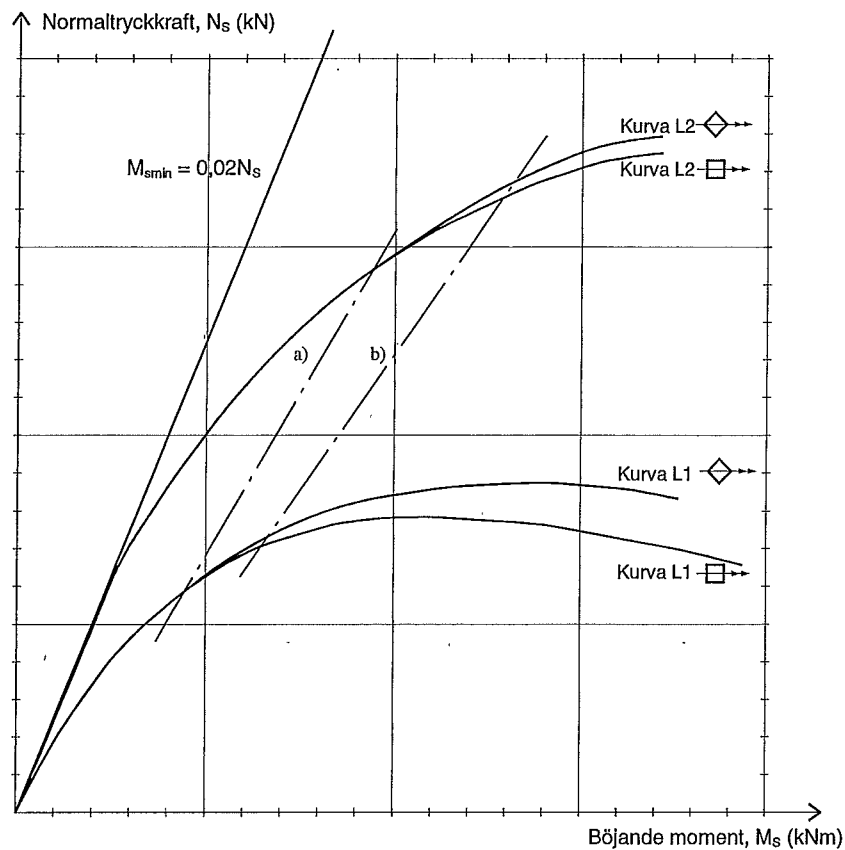
När påle belastas med tryckande axiallast uppstår alltid lasteffekten normaltryckkraft och böjande moment samt tvärkraft i pålen på grund av att pålen har viss initialkrokighet. Den initialkrokiga pålen får även en tillskottsutböjning i jorden. Denna tillskottsutböjning förorsakar sidomotstånd från jorden mot pålen. Sidomotståndet har dimensionen tryck och dess storlek beror på jordens egenskaper och på påltvärsnittets bredd vinkelrätt mot utböjningsriktningen. Se *figur 2.1.2a*. Se vidare avsnitt 3.3.

Böjmomenten i pålen ökar icke linjärt med ökande axiallast. Då påles sidoförskjutning lokalt överskrider gränsvärdet, för vilket jorden börjar att plasticeras, skall detta beaktas. Härfter ökar det böjande momentet i pålen allt snabbare. Beträffande beräkning av lasteffekt i påle se vidare avsnitt 4.



Figur 2.1.2a. Axiellt tryckbelastad påle.

Sambandet mellan lasteffekterna normalkraft och böjande moment i en påle kan redovisas grafiskt med s k lasteffektkurvor. Dessa kurvor beror bl a på påles material, tvärsnitt, styvhet och krokighet samt jordens sidomotstånd. I *figur 2.1.2b* visas lasteffektkurvor för betongpålar i jordar med olika sidomotstånd.



Figur 2.1.2b. Lasteffektkurvor i brottgränstillstånd.

Samband mellan normaltryckkraft, N_s , och böjande moment, M_s , för skarvad betongpåle SP3, Säkerhetsklass 2.

Kurva L1: Lös jord, $c_{ud} = 3,0$ kPa

Kurva L2: Medelfast jord, $c_{ud} = 12,0$ kPa

a) Gränskurva för jordens begynnande plasticering $\square \rightarrow$

b) Gränskurva för jordens begynnande plasticering $\diamond \rightarrow$

2.2 LASTKAPACITET

En påles lastkapacitet med avseende på normaltryckkraft reduceras alltid vid samtidigt uppträdande böjande moment och måste alltid beräknas ihop med inverkan av detta.

Lastkapaciteten för en påle kan avse olika mekaniska egenskaper (inverkningar) som t ex normaltryckkraft, normaldragkraft, böjande moment, tvärkraft, vridande moment och kombinationer av dessa.

Med påles lastkapacitet i dagligt tal menas normalt dess lastkapacitet för normaltryckkraft i brottgränstillstånd.

För en enbart axiellt belastad påle kan lastkapaciteten anges enbart som en normalkraft. Det samtidigt uppträdande böjande momentet har då beaktats och beräknats utifrån bl a pålens initialkrokighet och styvhet samt sidomotståndet från jorden.

För axialbelastad påle påverkad av transversallast och/eller böjande moment (t ex vid påltoppen) kan påles lastkapacitet för normalkraft anges enbart ihop med värden på samtidigt uppträdande transversallast och böjande moment.

2.2.1 Principer för verifiering

Påles lastkapacitet skall verifieras i brott- och bruksgränstillstånd, då så bedöms behövligt. Med verifiering avses åtgärd som innebär bekräftelse av att påle uppfyller ställda krav. Behov av verifiering skall anses föreligga då så bedöms inte uppenbart obehövligt.

För påle oavsett material gäller det generella dimensioneringskravet att

$$\text{dimensionerande lasteffekt} \leq \begin{cases} \text{dimensionerande lastkapacitet} \\ \text{dimensionerande geoteknisk bärförmåga} \end{cases}$$

Verifiering av påles lastkapacitet (dimensionering av påle) skall ske genom beräkning, provning eller genom någon kombination därav.

Verifiering skall omfatta påles alla delar såsom pålelement, pålskarvar och bergsko samt alla möjliga kritiska snitt i dessa.

Påles alla möjliga utböjningsriktningar skall beaktas.

Installationens inverkan på materialegenskaperna skall beaktas. Se vidare avsnitt 3.2.2.

Verifiering i brottgränstillstånd avser att säkerställa påles lastkapacitet så att säkerheten mot materialbrott och instabilitet i form av knäckning av pålen är betryggande.

Verifiering i bruksgränstillstånd avser att säkerställa påles lastkapacitet med avseende på god funktion och beständighet. Kraven i bruksgränstillstånd kan avse begränsning av spänningar, sprickbildning och deformationer.

Enligt t ex BKR 94 gäller i geoteknisk klass 1 att axiellt belastade, oskarvade, spetsbärande betongpålar enligt SS 811103 med dimensionerande lasteffekt max 300 kN inte erfordrar verifiering.

Lastkapacitet för axiellt belastade betongpålar enligt SS 811103 med dimensionerande axiell lasteffekt max 550 kN för SP1 och max 750 kN för SP2 och SP3 i SK2, som uppfyller förutsättningar enligt Pålkommisionens rapport 94, kan verifieras enligt denna.

Typgodkända pålar, som uppfyller förutsättningar enligt typgodkännandet, kan verifieras enligt detta.

2.2.2 Verifiering genom beräkning

Lastkapaciteten för påle, som påverkas av normaltryckkraft och böjande moment, skall kontrolleras med avseende på två olika s k brottmoder, d v s ”typer av brott”:

- **Materialbrott - tvärsnittkontroll**
- **Instabilitet/knäckning - knäckningskontroll**

Påles lastkapacitet för normaltryckkraft är det lägsta av påles tvärsnittskapacitet och knäckningskapacitet.

Brottnoden knäckning av påle helt i jord kan bara inträffa om jorden runt pålen plasticeras på en större del av knäcklängden.

Se vidare avsnitt 3.3.1.

För påle med normaldragkraft och böjande moment erfordras endast tvärsnittskontroll.

■ Tvärsnittskontroll

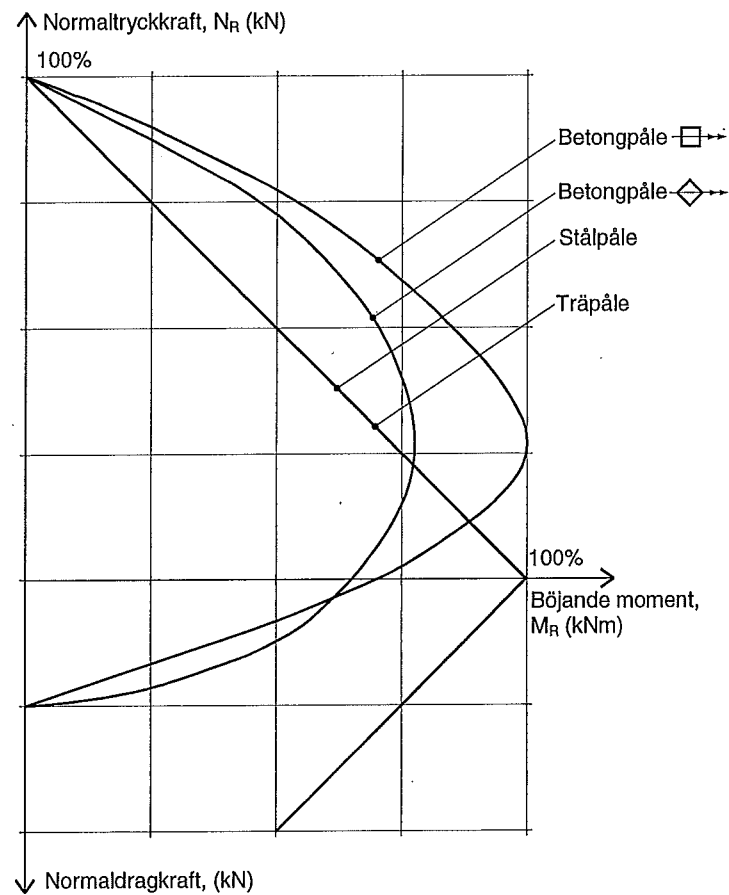
Tvärsnittskontroll innebär kontroll av att det mest ansträngda påltvärsnittet klarar lasteffekten utan att påles tvärsnittskapacitet överskrids.

Pålars tvärsnittskapacitet för normalkraft och böjande moment kan redovisas grafiskt med s k tvärsnittskapacitetskurvor.

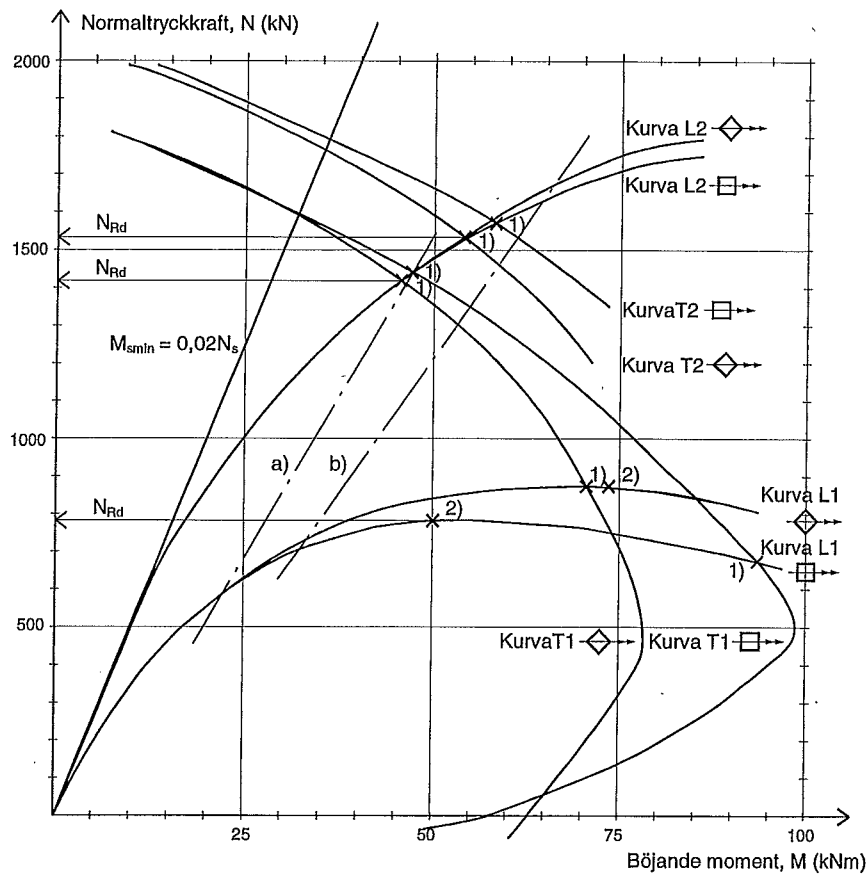
Tvärsnittskapacitetskurvor i brottgränstillstånd för pålar av olika material visas i *figur 2.2.2a*.

Brottnoden materialbrott sägs inträffa då tvärsnittskapaciteten uppnås. Om påles lasteffekt begränsas av tvärsnittskapaciteten är brottnoden materialbrott dimensionerande, se *figur 2.2.2b*.

Beträffande tvärsnittskontroll av pålar av olika material se avsnitt 5.3.



Figur 2.2.2a. Tvärsnittskapacitetskurvor i brottgränstillstånd.
 Samband mellan normalkraft, N_R , och böjande moment, M_R .
 Principiellt utseende för pålar av olika material (utan inbördes relationer mellan dessa).



Figur 2.2.2b Begrepp i samband med lastkapacitet.

Lasteffektkurvor, L: Skarvad betongpåle SP3, Säkerhetsklass 2

Kurva L1: Lös jord, $c_{ud} = 3,0$ kPa

Kurva L2: Medelfast jord, $c_{ud} = 12,0$ kPa

Tvärsnittskapacitetskurvor, T:

Skarvade betongpålelement SP3, Säkerhetsklass 2

Kurva T1: Installationens inverkan, $\mu = \mu_{cc} = \mu_{sc} = \mu_{st} = 0,8$

Kurva T2: Installationens inverkan, $\mu = \mu_{cc} = \mu_{sc} = \mu_{st} = 0,9$

X 1) Brottmod materialbrott (medelfast jord)

X 2) Brottmod knäckning / instabilitet (lös jord)

a) Gränskurva för jordens begynnande plasticering $\square \rightarrow$

b) Gränskurva för jordens begynnande plasticering $\diamond \rightarrow$

■ Knäckningskontroll

Knäckningskontroll innebär kontroll av att pålen som helhet är stabil, det vill säga klarar lasteffekten av normaltryckkraft och böjande moment utan att pålens knäckningskapacitet överskrids.

Brottmoden knäckning sägs inträffa då knäckningskapaciteten uppnås, varvid pålen blir instabil och som helhet okontrollerat böjer ut, knäcker. Om påles lasteffekt begränsas av knäckningskapaciteten utan att tvärsnittskapaciteten uppnås är brottmoden knäckning dimensionerande, se *figur 2.2.2b*.

Knäckningskapaciteten är alltid beroende av tillhörande böjande moment och är egentligen alltid en böjknäckningskapacitet.

Knäckningskontroll kan utföras genom att kontrollera om påles lasteffektkurva har ett maximalvärde utan att tvärsnittskapaciteten utnyttjas, se *figur 2.2.2b*.

Om påle står fritt i luft eller vatten skall hänsyn tas till fri, av jorden inte sidostöttad, pållängd. Härvid skall påles Eulerknäcklängd beräknas. Denna beräkning kan utföras t ex enligt handboken BYGG G13:32.

Beträffande knäckningskontroll av pålar av olika material se 5.4.

2.2.3 Verifiering genom provning

Vid verifiering av påles eller påldels lastkapacitet genom provning skall denna utföras och utvärderas på sådant sätt att pålen eller påldelen får samma tillförlitlighet med hänsyn till relevanta lasteffekter och gränstillstånd som om dimensioneringen utförts genom beräkning. Installationens inverknings på materialegenskaper skall härvid beaktas.

Verifiering av lastkapacitet genom provning kan utföras enligt Boverkets häfte ”Dimensionering genom provning”. Se även Pålkommissionens rapport 59.

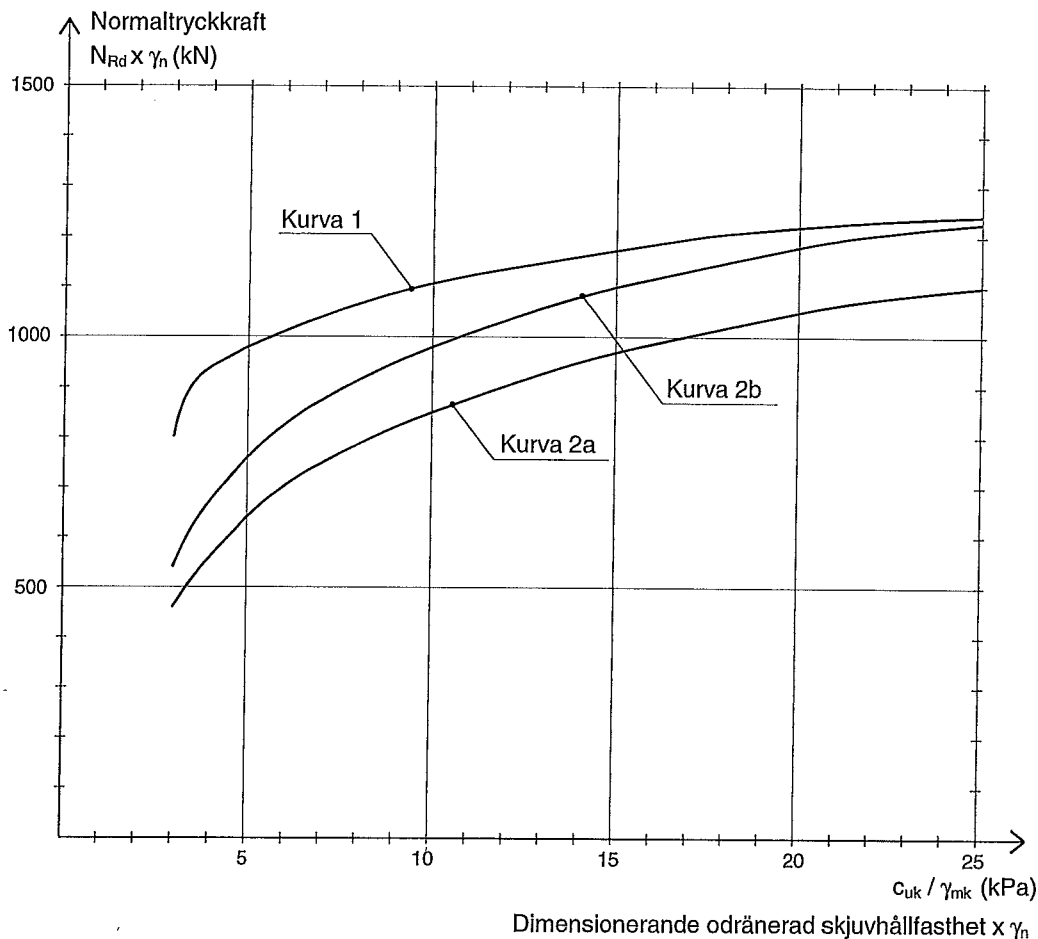
Pålelements lastkapacitet verifieras normalt inte genom provning.

Beträffande provning av pålskarvar och bergskor, se avsnitt 5.5 respektive 5.6.

2.2.4 Redovisning

Påles lastkapacitet kan redovisas grafiskt med s k lastkapacitetskurvor. Dessa kurvor beror bl a på påles material, tvärsnitt, styvhet och krokighet samt jordens sidomotstånd och installationens inverkan.

Lastkapacitetskurvor för normaltryckkraft i brottgränstillstånd för pålelement av olika material visas i *figur 2.2.4*.



Figur 2.2.4. Lastkapacitetskurvor i brottgränstillstånd. Normaltryckkraft för enbart axiellt belastade pålelement (enligt Pålkommisionens rapport 84a).

Kurva 1:

Betongpålelement SP3

270x270mm

Betong K55

Armering 8 ϕ 16 Ks60

30mm täcksikt till längsarmeringen

Skarvad påle

Initialkrokighet $l_k/150$

Installationens inverkan $\mu=\mu_{cc}=\mu_{sc}=\mu_{st}=0,6$

Effektivt krytval $\phi_{ef}=1,3$

Sidomotstånd ur ekvivalent arbete

Kurva 2a:

Krysspålelement

Valsad X-påle 180x24mm

1mm avrostning runt om

Karakteristisk tryckhållfasthet $f_{yk}=330\text{MPa}$

Partialkoefficient för tryckhållfasthet $\gamma_m=1,0$

Formfaktor för böjning $\eta=1,25$

Skarvad påle

Krökningsradie (för geometrisk initialkrokighet)

$R=100\text{m}$

Egenspänningsgrupp I

Installationens inverkan $\mu=\mu_{sc}=\mu_{st}=0,8$

Sidomotstånd ur ekvivalent arbete

Kurva 2b:

Krysspålelement

Valsad X-påle 180x24mm lika kurva 2a dock

Krökningsradie (för geometrisk initialkrokighet)

$R=150\text{m}$

2.3 LASTER PÅ PÅLE

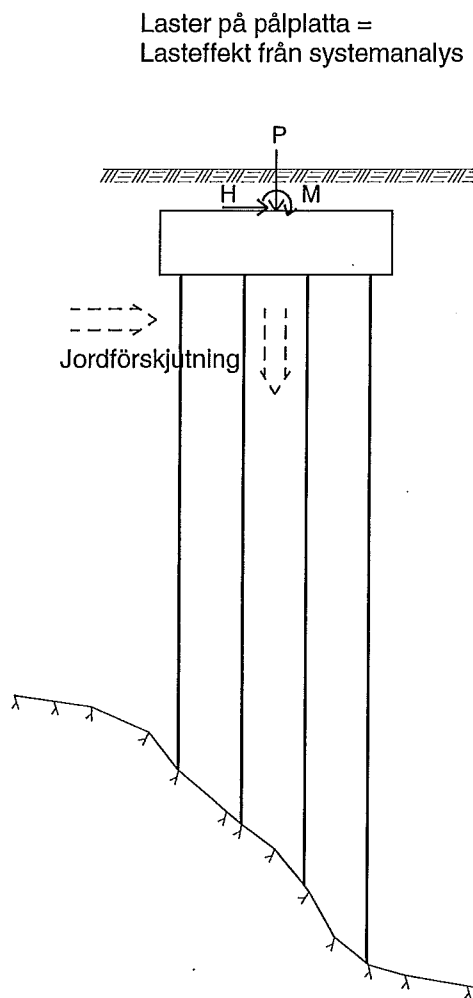
Laster på en påle kan bestå av laster från uppburen konstruktion eller konstruktionsdel och från omgivande jord och/eller vatten inklusive laster verkande direkt på pålen.

Vid systemberäkning av byggnadsverk skall hänsyn tas till samverkan mellan överbyggnad och undergrund. .

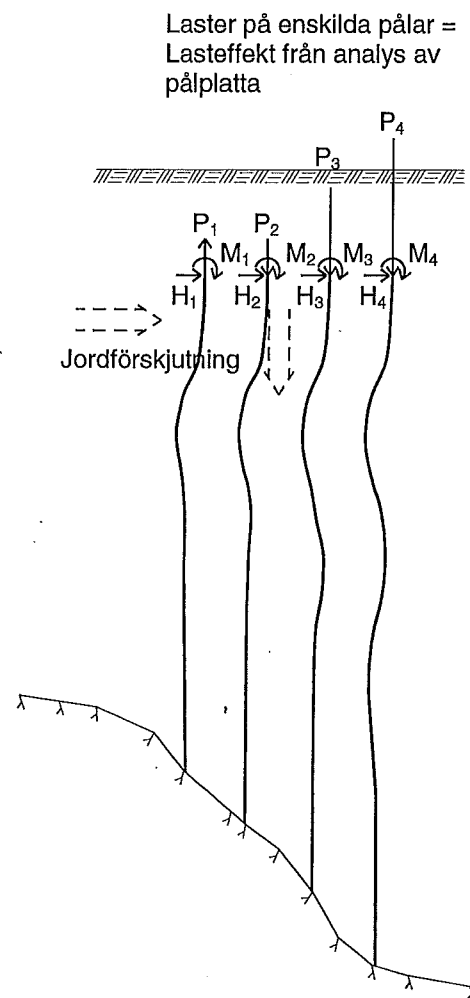
De på en grundkonstruktion verkande lasterna är ofta lasteffekter från en systemberäkning av byggnadsverkets överbyggnad och stomme. Vid grundkonstruktioner med pålplattor kan inverkan av laster på dessa transformeras till lasteffekter verkande på de enskilda pålarna. Härvid kan inverkan av variationer i pållängd i pålar i en pålgrupp behöva beaktas. Vid analys av enskild påle behandlas dessa lasteffekter som laster på pålen. Exempel se *figur 2.3*.

Dimensionerande laster på en påle skall beräknas med beaktande av verkliga förhållanden av betydelse. Härvid skall bl a hänsyn tas till att dimensionerande laster på pålar alltid skall innehålla inverkan av felslagning av pålar inom givna toleranser.

Laster på en påle förorsakar lasteffekt i pålen, se vidare avsnitt 4.



Figur 2.3a. Laster på pålplatta.



Figur 2.3b. Laster på enskilda pålar.

2.3.1 Maximal last på påle

Maximal last på påle bestäms indirekt av det generella dimensioneringskravet att

$$\text{Dimensionerande lasteffekt} \leq \begin{cases} \text{Dimensionerande lastkapacitet} \\ \text{Dimensionerande geoteknisk bärförmåga} \end{cases}$$

För det vanliga fallet enbart axiellt belastad påle finns ett entydigt samband mellan lasteffekt i påle och last på påle. För detta fall kan maximal dimensionerande axiell last på påle anges som ett lastvärde lika med det lägsta av påles dimensionerande lastkapacitet och dimensionerande geotekniska bärförmåga för normalkraft.

För transversal- och/eller böjmomentbelastad påle finns inget entydigt samband mellan lasteffekt i påle och last på påle. Det finns dock alltid ett entydigt samband mellan last på påle och lasteffekt. För detta fall kan maximal dimensionerande axiell last på påle anges enbart som lastvärde för normalkraft i kombination med uppgift om samtidigt uppträdande transversallast och/eller böjande moment. Lastvärdet för normalkraft är härvid lika med det lägsta av påles dimensionerande lastkapacitet och dimensionerande geotekniska bärförmåga.

Kapitel 3.

Dimensioneringsförutsättningar

3.1 SAMMANSTÄLLNING

Vid bestämning av pålars lastkapacitet skall hänsyn tas till förhållanden av betydelse.

Dessa dimensioneringsförutsättningar kan avse pålars materialegenskaper, jordens materialegenskaper och pålars geometriska parametrar och har sammanställts i *tabell 3.1*.

Tabell 3.1. Sammanställning av dimensioneringsförutsättningar att beakta vid bestämning av installerade pålars lastkapacitet.

I. Pålmaterialets egenskaper med avseende på hållfasthet och styvhet	Pålmateriäl			Hänvisning Avsnitt
	Betong/ armering	Stål	Trä	
I.1 Materialvärden och arbetskurvor för pålmateriäl	x	x	x	3.2.1
I.2 Installationens inverkan	x	x	x	3.2.2
I.3 Betongens uppsprickning	x	-	-	3.5.1
I.4 Lasters varaktighet med avseende på pålmaterialets styvhet - krypning	x	-	x	3.5.2 resp 3.7.1
I.5 Lasters varaktighet med avseende på pålmaterialets hållfasthet	-	-	x	3.7.2.
I.6 Betongens krympning	x	-	-	3.5.3
I.7 Egenspanningar i stålpålar	-	x	-	3.6.1
I.8 Fuktinverkan	x	-	x	3.5.2-3 resp 3.7.3

2. Jordmaterialens egenskaper med avseende på sidomotstånd mot pålar	Jordmaterial		Hänvisning Avsnitt
	Kohesions- material	Friktions- material	
2.1 Materialvärden och arbetskurvor för jordmaterial	x	x	3.3.1
2.2 Materialparametrar i olika utböjningsriktningar	x	x	3.3.1
2.3 Lasters varaktighet med avseende på jordmaterialens egenskaper	x	-	3.3.1
2.4 Jordens relativa fasthet och grundvattenytans läge	-	x	3.3.1
2.5 Jordens plasticering - reducerad ekvivalent bäddmodul	x	x	3.3.1
2.6 Installationens inverkan	x	x	3.3.2

3. Pålars geometriska parametrar	Pålmaterial			Hänvisning Avsnitt
	Betong/ armering	Stål	Trä	
3.1 Initialkrokighet hos installerad påle				
3.1.1 Oskarvad påle	x	x	x	3.4
3.1.2 Skarvad påle	x	x	x	3.4
3.2 Fiktiv initialkrokighet på grund av egenspanningar i stålpålar	-	x	-	3.6.1
3.3 Toleranser för tvärsnittsmått	x	x	x	Gällande normer
3.4 Toleranser för armeringens läge och täckskikt	x	-	-	Gällande normer
3.5 Toleranser för pålskarvar och pålskor	x	x	x	Gällande ritningar
3.6 Pål tvärsnittets geometriska parametrar i olika utböjningsriktningar	x	x	x	Handboken BYGG A22 och Byggtabeller
3.7 Lokal buckling	-	x	-	3.6.2
3.8 Fri pållängd	x	x	x	2.2.2
3.9 Beständighetskrav med hänsyn till miljön (betongkvalitet och täckskikt)	x	-	-	3.9
3.10 Beständighetskrav med hänsyn till miljön (rostmån)	x ¹⁾	x	x ¹⁾	3.9
3.11 Beständighetskrav med hänsyn till miljön (grundvatten)	-	-	x	3.9

Anm 1 Gäller pålskarvar och bergskor av stål

3.2 PÅLMATERIALENS EGENSKAPER

3.2.1 Materialvärden och arbetskurvor

Materialvärden, partialkoefficienter och arbetskurvor för ingående material skall baseras på gällande normer.

Används tidigare utnyttjat, utmattningspåverkat stålmaterial, som t ex räls, bör detta materials egenskaper bestämmas genom lämplig provning.

3.2.2 Installationens inverkan

■ Grundprinciper

Installationens inverkan på materialegenskaperna skall beaktas. Detta gäller i såväl brott- som bruksgränstillstånd och påles alla delar, d v s pålelement, pålskarvar och bergsko.

För slagna pålar gäller att de upprepade och stora lasteffekter som en påle kan utsättas för under slagningen, vid drivning och stoppslagning, kan innebära en viss utmattning av pålmaterialet. Denna effekt måste beaktas vid bestämning av lastkapaciteten hos den installerade pålen.

För betong har konstaterats en hållfasthetsnedsättning till följd av lastväxlingar under slagningen. Denna tycks vara beroende av den s k delskadan, som uppkommer till följd av dessa lastväxlingar.

För stål gäller enligt gängse teori att en s k delskada inte innebär någon hållfasthetsreduktion för icke utmattande last.

Nedsättningen av materialegenskaperna är alltså olika för olika material och kan skilja sig åt för egenskaperna tryckhållfasthet, draghållfasthet och elasticitetsmodul. Beroende av reflexionsförhållandena vid spetsen kan reduktionsfaktorn vara olika för olika delar av en påle.

Installationens verkliga inverkan på påles materialegenskaper är svår att bestämma och till stora delar okänd. Bestämningen är osäker och resultaten beroende av en mängd faktorer.

■ Metod

Följande metod skall, där inte annat påvisas riktigare, tillämpas i avvaktan på tillförlitligare underlag och metoder.

Installationens inverkan skall beaktas genom att ett reducerat karakteristiskt värde, f_{kr} , på en materialegenskap beräknas enligt

$$f_{kr} = \mu \cdot f_k \quad (3.2.2a)$$

där f_k är karakteristiskt värde på en (av installationen opåverkad) materialegenskap och μ är en reduktionsfaktor som beaktar installationens inverkan på materialegenskapen

Reduktionsfaktorn μ skall ta hänsyn till:

- 1) slagningens inverkan (μ_1)
- 2) jord- och bergförhållanden av betydelse (δ_2)
- 3) förekommande integritetskontroll av pålen (δ_3)

Reduktionsfaktorn μ skall, där inte annat påvisas riktigare, beräknas enligt

$$\mu = \mu_1 - \delta_2 + \delta_3 \quad (3.2.2b)$$

där reduktionsfaktorn μ_1 , med hänsyn till slagningens inverkan, skall bestämmas enligt .1 och reduktionstermerna δ_2 och δ_3 , med hänsyn till jord- och bergförhållanden respektive förekommande integritetskontroll skall bestämmas enligt .2.

.1 Bestämning av reduktionsfaktorn μ_1

Reduktionsfaktorn μ_1 , som anger slagningens inverkan, skall bestämmas med avseende på antal slag och fallhöjd, uppträdande lasteffekter under slagningen och pålmaterialens hållfasthet.

Reduktionsfaktorn μ_1 skall bestämmas genom schablon, beräkning eller provning.

Övre gränsvärden på reduktionsfaktorn μ_1 skall, där inte annat påvisas riktigare, väljas enligt *tabell 3.2.2a*.

Schablon

Schablonvärden för reduktionsfaktorn μ_{1cc} för tryckhållfasthet för betongpålar skall väljas enligt bilaga 1.

Beräkning

Beräkning av reduktionsfaktorn μ_1 skall utföras som en analys baserad på

- linjär delskadehypotes enligt Palmgren-Miner: $\sum_i n_i / N_i \leq 1,0$, för att bestämma antal lastcykler till brott och
- linjär delskadeberäkning, för att bestämma hållfasthetsreduktionen.

Provning

Provning för bestämning av reduktionsfaktorn μ_1 skall utföras på slagningspåverkad påle eller påddel.

Tabell 3.2.2a. Övre gränsvärden på reduktionsfaktorn μ_1 med hänsyn till slagningens inverkan.

Material	Tryckhållfasthet		Draghållfasthet		Elasticitetsmodul	
Betong	μ_{1cc}	0,9	μ_{1ct}	- 1) 2)	μ_{1cE}	1,0 3)
Stål ⁴⁾ och armering	μ_{1sc}	0,9 5)	μ_{1st}	0,9 5)	μ_{1sE}	1,0 6)
Trä	μ_{1wc}	0,9 5)	μ_{1wt}	0,9 5)	μ_{1wE}	1,0 6)

Anm 1 Draghållfasthet (och elasticitetsmodul, se dock Anm 3) för betong i hållfasthetsklass KXX med reduktionsfaktor μ_1 för tryckhållfasthet $= \mu_{1cc}$ kan, i avvaktan på resultat från mer omfattande provningar, antagas som för betong i hållfasthetsklass K ($\mu_{1cc} \cdot XX$). (Betongens draghållfasthet utnyttjas bl a vid beräkning av förankring av armering).

Anm 2 Slagna betongpålar skall betraktas som uppspruckna.

Anm 3 Faktorn för elasticitetsmodul för tryck för betong kan vara lägre än 1,0, se Anm 1. Effekten av denna reduktion är dock liten. I avvaktan på mer tillförlitligt provningsresultat kan antas $\mu_{1cE} = 1,0$.

Anm 4 Användes stålmaterial som redan utsatts för utmattningslast, som t ex begagnad räls, bör reduktionsfaktorn μ_{1s} väljas lägre.

Anm 5 Faktorn för tryck- och draghållfasthet för stål och armering (för vilket en delskada enligt gängse teori inte innebär någon hållfasthetsreduktion för icke utmattande last) samt trä kan vara lägre än 1,0. Med hänsyn till osäkerheter vid slagning och installation och i avvaktan på mer tillförlitlig provning skall väljas $\mu_{1sc} = \mu_{1st} = \mu_{1wc} = \mu_{1wt} = 0,9$.

Anm 6 Faktorn för elasticitetsmodul för stål och armering samt trä kan vara lägre än 1,0. Effekten av denna reduktion är dock liten. I avvaktan på mer tillförlitligt provningsresultat och i överensstämmelse med tidigare praxis kan antagas $\mu_{1sE} = \mu_{1wE} = 1,0$.

.2 Bestämning av reduktionstermerna δ_2 och δ_3

Reduktionstermerna δ_2 och δ_3 , med hänsyn till jord- och bergförhållanden respektive förekommande integritetskontroll, skall bestämmas på basis av dessa förhållanden.

Reduktionstermerna δ_2 och δ_3 skall för påles tryckhållfasthet bestämmas enligt *tabell 3.2.2b*. Härvid gäller: $\delta_3 \leq \delta_2$.

Reduktionstermerna δ_2 och δ_3 för påles draghållfasthet och elasticitetsmodul kan normalt väljas = 0.

Tabell 3.2.2b. Värden för beräkning av reduktionstermerna δ_2 och δ_3 för påles tryckhållfasthet.

Förhållanden	Gynnsamma förhållanden	Reduktion	Ogynnsamma förhållanden	Reduktion
Jord- och bergförhållanden	.1 Verifierat sten- och blockfri jord	$\delta_2 = 0$	.1 Sten och block i jorden	$\delta_2 = 0,1$ per pkt dock max 0,2
	.2 Gynnsam jordlagerföljd		.2 Ogynnsamt varierande jordlagerföljd	
	.3 Stoppslagning mot ej lutande bergyta		.3 Stoppslagning mot lutande bergyta	
	.4 Kraftig (böjstyv) påle		.4 Slank (böjvek) påle	
Integritetskontroll	.1 Påles integritet efter slagningen kontrollerad genom integritetskontroll och befunnen intakt	$\delta_3 \leq 0,2$ (dvs en ökning)	.1 Ingen kontroll av påles integritet efter slagningen	$\delta_3 = 0$

Beträffande integritetskontroll se avsnitt 7.1.

3.3 JORDMATERIALENS EGENSKAPER

3.3.1 Materialvärden och arbetskurvor

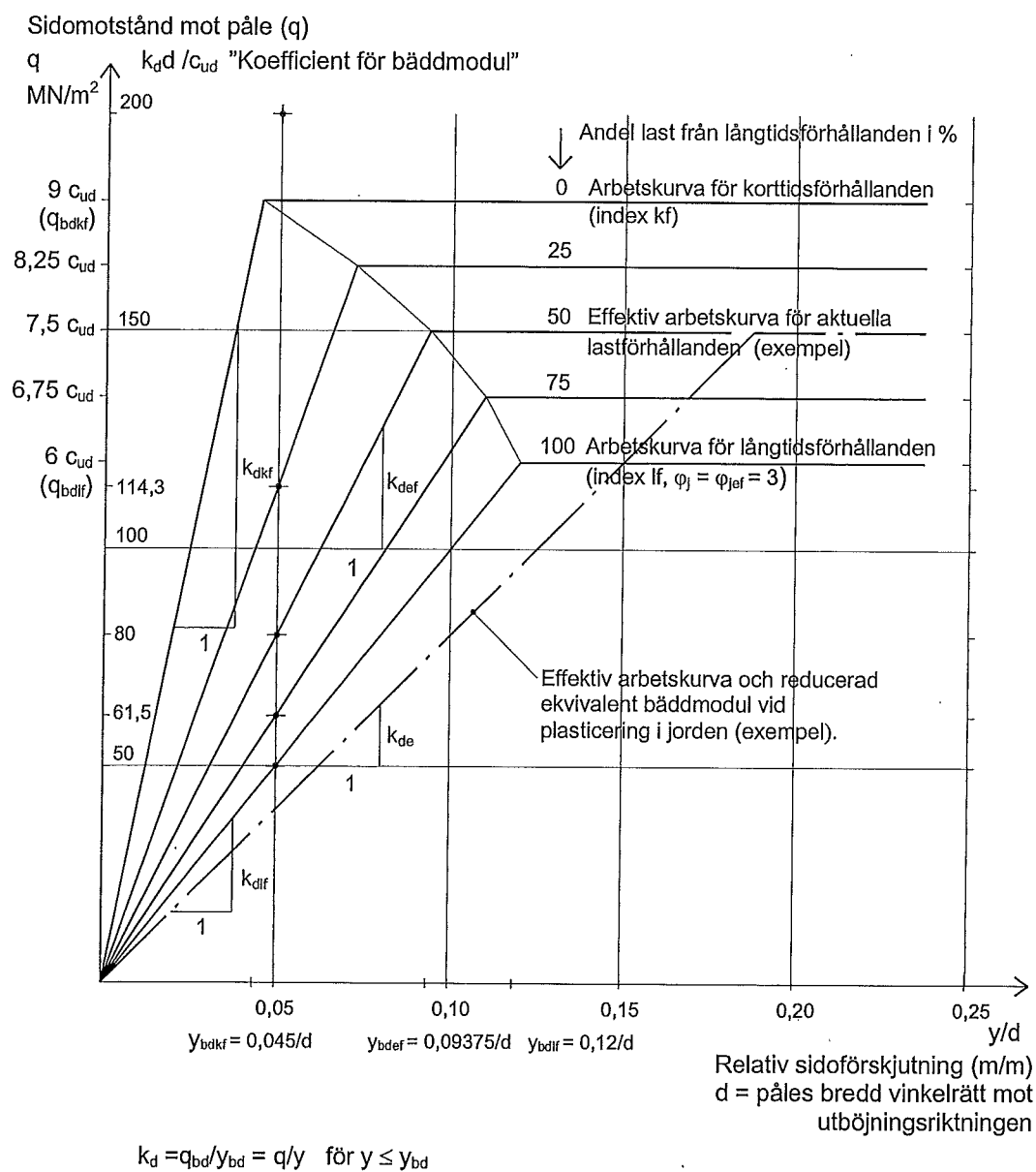
Materialvärden, partialkoefficienter och arbetskurvor för jordmaterial kring pålar skall baseras på gällande normer. Materialvärden skall härvid vara representativa för materialen i jorden kring pålarna.

Realistisk arbetskurva för jordens sidomotstånd mot pålar skall användas. Inverkan av lasters varaktighet och jordens plasticering skall beaktas. Härvid skall klassificering av lasters varaktighet utföras med avseende på jordmaterialens tidsberoende egenskaper.

Med arbetskurva avses sambandet mellan sidoförskjutning och sidomotstånd mot påle.

En elastisk-plastisk modell av jorden skall användas. Härvid skall såväl bäddmodul, k [MN/m³], som gränstryck, q_b [MN/m²], väljas med hänsyn till aktuella förhållanden.

För en elastisk-idealplastisk modell av jorden enligt figur 3.3.1 gäller:



k_d = dimensionerande bäddmodul för sidoförskjutning (MN/m³)
 q_{bd} = sidomotståndets dimensionerande gränstryck (MN/m²)
 y_{bd} = dimensionerande gränsvärde för sidoförskjutning (m), då gränstrycket uppnås.

Figur 3.3.1. Elastisk-idealplastisk modell av jorden - normalkonsoliderad kohesionsjord.
Arbetskurvor för korttids- och långtidsförhållanden samt lastförhållanden med 25, 50 resp 75 % last från långtidsförhållanden.

■ Dimensionerande bäddmodul, k_d [MN/m³]

$$k_d = \frac{k_k}{\gamma_{mk} \cdot \gamma_n} = \frac{q_{bd}}{y_{bd}} = \frac{q}{y} \quad \text{för } y \leq y_{bd} \quad (3.3.1a)$$

där k_k är karakteristisk bäddmodul för sidoförskjutning

γ_{mk} är en partialkoefficient som beaktar osäkerheten i karakteristisk bäddmodul k_k

q_{bd} är dimensionerade gränstryck och

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

■ Dimensionerande gränstryck, q_{bd} [MN/m²]

$$q_{bd} = \frac{q_{bk}}{\gamma_{mq} \cdot \gamma_n} \quad (3.3.1b)$$

där q_{bk} är karakteristiskt gränstryck och

γ_{mq} är en partialkoefficient som beaktar osäkerheten i karakteristiskt gränstryck

Bäddmodulen är beroende av påltvärsnittets sidomått vinkelrätt utböjningsriktningen, d , och minskar med ökande värden på detta mått. Vid utböjning av påle i olika riktningar blir därför bäddmodulen för t ex kvadratiska och korsformade påltvärsnitt olika stor. Produkten $k_d \cdot d$, som bland annat ingår i formler för beräkning av elastisk knäcklast och elastisk knäcklängd, är däremot lika för dessa pålars olika utböjningsriktningar.

■ Val av partialkoefficient γ_{mk} och γ_{mq} för bäddmodul respektive gränstryck

Partialkoefficienten γ_{mk} och γ_{mq} skall väljas enligt gällande normer med ledning av aktuella förhållanden.

Vid dimensionering enligt t ex BKR 94 avser angivna partialkoefficienter γ_m de materialegenskaper som bestämts genom provning.

Vid beräkning av bäddmodul, k , och gränstryck, q_{bd} , utifrån jordens skjuvhållfasthet skall partialkoefficienten γ_m för denna användas för både bäddmodul och gränstryck.

Vid bestämning av bäddmodulen genom provning får den lägre partialkoefficienten för modul användas. I förenklande syfte och på säkra sidan får även då den högre partialkoefficienten för skjuvhållfasthet och gränstryck som tillhör "övriga hållfasthetsparametrar" användas.

Någon reduktion av partialkoefficienterna, enligt t ex BKR 94 avsnitt 4:31, bör normalt, och på säkra sidan, inte ske, eftersom risken för utknäckning av påle huvudsakligen bestäms av ett lokalt värde inom knäcklängden på bäddmodul och gränstryck.

Partialkoefficienter och karakteristiska värden för jordmaterialens egenskaper bör anges i geotekniskt projekteringsunderlag. Där bör redovisas koefficienter och värden giltiga för olika typer av belastningar på pålar, som t ex för axialbelastning respektive transversalbelastning.

■ Normalkonsoliderad kohesionsjord

Sidomotstånd mot axialbelastade pålar

Vid beräkning av materialvärden enligt nedan skall användas kohesionsjordens odränerade skjuvhållfasthet. Vid bestämning av denna utifrån vingsondering och/eller fallkonförsök skall skjuvhållfastheten korrigeras med hänsyn till lerans konflytgräns, enligt t ex SGI Information 3.

Långtidsförhållanden

För långtidsförhållanden skall k_d och q_{bd} , där inte annat påvisas riktigare, beräknas enligt t ex BRO 94, 3. Grundläggning, bilaga 3-5.21.

Långtidsförhållanden avser härvid last med varaktighet större än ca en vecka.

Dessa värden gäller för långtidsförhållanden med avseende på jordmaterialens tidsberoende egenskaper och inkluderar effekter av lerans konsolidering och krypning.

Korttidsförhållanden

För korttidsförhållanden skall k_d och q_{bd} , där inte annat påvisas riktigare, beräknas enligt t ex BRO 94, 3. Grundläggning, bilaga 3-5.22.

Korttidsförhållanden avser härvid last med varaktighet mindre än ca en vecka.

Laster med olika varaktighet

Vid flera samverkande laster med olika varaktighet kan s k effektiv arbetskurva med s k effektiva värden för bäddmodul, gränstryck och gränsvärde för sidoförskjutningen, då gränstrycket uppnås, bestämmas. Detta kan ske genom avläsning i figur 3.3.1. Alternativt kan effektivt dimensionerande värde på bäddmodulen beräknas enligt

$$k_{\text{def}} = \frac{c_{ud}}{d} \cdot (k_d d / c_{ud})_{kf} \cdot \frac{1}{1 + \varphi_{\text{jef}}} \quad (3.3.1.c)$$

$$\text{där } \varphi_{\text{jef}} = \frac{P_{lf}}{\Sigma P} \cdot \varphi_j \quad (3.3.1.d)$$

$$\text{där } \varphi_j = \frac{(k_d d / c_{ud})_{kf}}{(k_d d / c_{ud})_{lf}} - 1 = \frac{200}{50} - 1 = 3$$

och där index kf = korttidsförhållanden
och index lf = långtidsförhållanden

■ Friktionsjord

Sidomotstånd mot axialbelastade pålar

Långtids- och korttidsförhållanden

För långtids- och korttidsförhållanden skall k_d och q_{bd} , där inte annat påvisas riktigare, beräknas enligt t ex BRO 94, 3. Grundläggning, bilaga 3-5.3.

■ Inverkan av jordens plasticering - reducerad ekvivalent bäddmodul

Då påles sidoförskjutning lokalt överskrider gränsvärdet för vilket jorden börjar att plasticeras skall detta beaktas. Härvid kan en reducerad ekvivalent bäddmodul användas. Denna ger minskad elastisk knäcklast och större elastisk knäcklängd.

Reducerad ekvivalent bäddmodul skall beräknas enligt principen för ekvivalent arbete.

Enligt principen för ekvivalent arbete beräknas reducerad ekvivalent bäddmodul under antagande att arbetet (= energin) är lika. Denna princip redovisas och används i Pålkommissionens rapport 84a.

Gränsvärdet för sidoförskjutningen, då gränstrycket uppnås, y_{bd} , kan beräknas enligt

$$y_{bd} = \frac{q_{bd}}{k_d} \quad (3.3.1e)$$

Gränsvärdet, y_{bd} , är beroende av påltvärsnittets sidomått vinkelrätt utböjningsriktningen och ökar med ökande värde på detta mått. Vid utböjning av påle med kvadratiska och korsformade påltvärsnitt i olika riktningar blir därför gränsvärdet, y_{bd} , olika stort.

3.3.2 Installationens inverkan

Installationens inverkan på materialegenskaperna skall beaktas.

■ Kohesionsjord

Pålslagningens inverkan

Vid pålslagning i lera, liksom ofta vid lerpropptagning, reduceras lerans odränerade skjuvhållfasthet i en zon närmast pålen respektive lerproppröret.

Efter slagningen rekonsoliderar leran runt pålen. Det kan förutsättas att leran efter slagningen återtar sin ursprungliga hållfasthet, om den är normalkonsoliderad. Är leran överkonsoliderad kan antagas att den efter rekonsolideringen blir normalkonsoliderad.

Denna hållfasthetsåterhämtning brukar anses vara uppnådd efter ca

- 2 månader för träpålar
- 4 månader för betongpålar
- 6 månader för stålpålar

Lerpropptagningens inverkan

Vid lerpropptagning med tvärsnittsyta, som inte överstiger pålens, och där den borttagna lervolymen understiger pålens volym, kan antagas att pålen på hela sin mantelyta är sidostötad av lera. Vid markförhållanden, där fastare lera överlagrar lösare, bör antagas att den lösa leran kan komma att fylla ett eventuellt utrymme runt pålen i den fastare leran.

■ Friktionsjord

Vid pålning i friktionsjord erhålles ofta en viss sammanpackning av friktionsjorden. Detta är en gynnsam effekt med avseende på sidomotstånd mot påle som, efter utredning, kan beaktas. Normalt, och på säkra sidan, beaktas inte denna effekt.

3.4 INITIALKROKIGHET HOS INSTALLERAD PÅLE

Inverkan av påles initialkrokighet skall beaktas. Härvid skall hänsyn tas till den mest ogynnsamma initialkrokigheten hos installerad påle. Detta innebär att en initialutböjning affin med, d v s med samma form som, påles utknäkningskurva skall användas.

För skarvad påle skall inverkan av vinkelavvikelse i skarvar hos installerad påle beaktas. Härvid skall hänsyn tas till antalet skarvar inom knäcklängden, dock minst en.

En påles initialkrokighet efter installation beror bl a på pålens initialkrokighet före installation, pålens styvhet, förekomst av skarvar och deras konstruktion, jordlagerföljden, förekomst av pålningshinder och av slagningen. Se även avsnitt 2.1.1.

En påles verkliga initialkrokighet beskriver en kurva i jordrymden och kan anges som en pilhöjd på viss mätlängd. En påles krokighet, angiven som pilhöjd, är det största värdet på pilhöjden mätt i rymden på pålen när mätlängden förskjuts längs denna.

En påles initialkrokighet antages ofta ha en cirkulär form med konstant krökningsradie, R . Pilhöjden, δ , för initialkrokigheten på mätlängden, l , kan då tecknas

$$\delta = \frac{l^2}{8R} \quad (3.4a)$$

3.4.1 Dimensionerande initialkrokighet

Vid beräkning av lasteffekt i påle skall dimensionerande total initialkrokighet (pilhöjd), δ_d , på den aktuella knäcklängden, l_k , användas.

Dimensionerande pilhöjd, δ_d , på den aktuella knäcklängden skall beräknas enligt

$$\delta_d = \gamma_\delta \cdot \delta_k \quad (3.4.1a)$$

- där δ_k är total karakteristisk pilhöjd enligt ekvation (3.4.1b) beroende av pålmaterial och knäcklängd samt förekomst av skarvar och γ_δ är en partialkoefficient som beaktar osäkerheten i pilhöjd. Härvid gäller:
- Vid rakhetskontroll av alla pålar vid produktionspålning: $\gamma_\delta = 1,0$.
 - Utan rakhetskontroll av pålar vid produktionspålning: $\gamma_\delta = 2,0$.

Dimensionerande pilhöjd, δ_d , skall, vid utförande utan rakhetskontroll, dock inte väljas mindre än minsta initialkrokighet för pelare av respektive material enligt tillämpad norm.

Vid beräkning av lasteffekt i stålplålar skall till den geometriska initialkrokigheten enligt ovan adderas en fiktiv initialkrokighet. Se vidare avsnitt 3.6.1 och 4.

Påles totala karakteristiska pilhöjd, δ_k , på den aktuella knäcklängden skall beräknas enligt

$$\delta_k = \delta_{kpåle} + \delta_{kskarv} \quad (3.4.1b)$$

där $\delta_{kpåle}$ är det oskarvade pålelementets karakteristiska pilhöjd och δ_{kskarv} är karakteristiskt tillskott till pilhöjden till följd av skarvars vinkelavvikelse

Vinkelavvikelse i skarvar beror bl a på skarvars konstruktion, styvhet och tillverkningstoleranser med avseende på vinkelavvikelse i skarvar.

Tillskottet till pilhöjden, δ_{skarv} , till följd av vinkelavvikelse i skarv, 1:X, kan vid en skarv inom knäcklängden beräknas enligt

$$\delta_{skarv} = \frac{l_k}{4X} \quad (3.4.1c)$$

Vid fler än en skarv inom knäcklängden blir pilhöjden, δ_{skarv} , beroende av de enskilda pålelementens längd och av antal skarvar inom knäcklängden.

Påles initialkrokighet, inklusive vinkelavvikelse i skarvar, kan vid beräkning av lasteffekt enligt analytisk beräkningsmodell approximeras med en motsvarande sinusformad initialkrokighet, med lika stor pilhöjd δ . Se vidare avsnitt 4.

Dimensionerande initialkrokighet hos installerad påle skall bestämmas genom schablon eller genom provning och är beroende av förekommande rakhetskontroll vid produktionspålningen.

■ Initialkrokighet genom schablon

Schablonvärden för dimensionerande initialkrokighet grundar sig på rakhetsmätningar på installerade pålar, installerade under olika betingelser och i olika jordar med olika pålningshinder. Schablonvärden, speciellt de för initialkrokighet utan rakhetskontroll, skall ligga på säkra sidan.

I Pålkommisionens rapport 84a redovisas rakhetsmätningar utförda i rörpålar av olika dimension och skarvavstånd vid olika geotekniska förhållanden.

Utan rakhetskontroll

Schablonvärden för dimensionerande initialkrokighet för installerad påle utan rakhetskontroll skall, där inte annat påvisas riktigare, väljas enligt *tabell 3.4.1a*.

Tabell 3.4.1a. Schablon för dimensionerande initialkrokighet för installerad påle, δ_d , utan rakhetskontroll.

Pålar	utan skarv	med en skarv inom knäcklängden
1. Betongpålar enligt SS 811103	$l_k / 300^{1)}$	$l_k / 150^{2)}$
2. Normala stålplålar såsom X-plålar och stålrörspålar m fl	$l_k / 300^{3)}$	$l_k / 200^{4)}$
3. Normala träpålar av timmer	$l_k / 300^{5)}$	$l_k / 150^{6)}$

Anm 1 $l_k / 300 = 1,0$ gånger minsta initialkrokighet för betongpelare.

Anm 2 Vinkelavvikelse i skarv hos slagen betongpåle förutsättes $\geq$ vinkelavvikelse i skarv hos icke slagen betongpåle. Denna förutsättes (i enlighet med krav enligt SS 811103) ha en vinkelavvikelse som är högst 1:75.

Anm 3 $l_k / 300 = 2,0$ gånger minsta initialkrokighet för stålpelare.

Anm 4 Vinkelavvikelse i skarv hos slagen stålplåle förutsättes $\geq$ vinkelavvikelse i skarv hos icke slagen stålplåle. Denna förutsättes ha en vinkelavvikelse som är högst 1:150.

Anm 5 $l_k / 300 = 1,0$ gånger minsta initialkrokighet för träpelare.

Anm 6 Jämför Anm 2

Med rakhetskontroll

Värden för dimensionerande initialkrokighet för installerad påle med föreskriven rakhetskontroll får väljas fritt. Värden skall väljas med hänsyn till aktuella förhållanden, så att valda värden inte överskrider vid rakhetskontrollen.

Schablonvärden för MINSTA dimensionerande initialkrokighet för installerad påle med godkänd rakhetskontroll av påle kan, där inte annat påvisas riktigare, väljas enligt *tabell 3.4.1b*.

Beträffande rakhetskontroll se avsnitt 7.1.

Tabell 3.4.1b. Schablon för dimensionerande MINSTA initialkrokighet för installerad påle, δ_d , med godkänd rakhetskontroll av påle

Pålar	utan skarv	med en skarv inom knäcklängden
1. Betongpålar enligt SS 811103	$l_k / 500^{1)}$	$\leq l_k / 200^{2)}$
2. Normala stålplålar såsom X-plålar och stålörspålar m fl	$l_k / 600^{3)}$	$\leq l_k / 400^{4)}$
3. Normala träpålar av timmer	-	-

Anm 1 $l_k / 500 = 1,0$ gånger högsta tillåtna initialkrokighet för icke slagen betongpåle enligt SS 811103. Högsta initialkrokighet för icke slagen betongpåle kan dock förutsättas vara $\leq l_k / 500$.

Anm 2 Jfr Anm 2 till Tabell 3.4.1a. Högsta vinkelavvikelse i skarv kan dock förutsättas vara $\leq 1:75$.

Anm 3 $l_k / 600 = 1,0$ gånger minsta initialkrokighet för stålplålar. Högsta initialkrokighet för stålplålar kan dock förutsättas vara $\leq l_k / 600$.

Anm 4 Vinkelavvikelse i skarv hos slagen stålplåle förutsättes $\geq$ vinkelavvikelse i skarv hos icke slagen stålplåle. Denna kan förutsättas ha en högsta vinkelavvikelse som är $\leq 1:300$.

■ Initialkrokighet genom provning

Bestämning av karakteristisk initialkrokighet hos installerad påle genom provning skall utföras genom rakhetsmätning vid provpålning.

Rakhetsmätning skall utföras med sådan metod att påles initialkrokighet kan bestämmas. Rakhetsmätning kan utföras med inklinometer, med laser eller med annan lämplig metod.

Provpålar skall fördelas över pålningsområdet så att variationer i jordförhållanden beaktas.

Bestämning av initialkrokighet genom provning skall i övrigt utföras enligt av respektive myndighet utfärdad handbok eller anvisning.

Vid bestämning av pilhöjden genom mätning kan karakteristisk pilhöjd, δ_k , på knäcklängden, l_k , vid antagen cirkulärt formad initialkrokighet, beräknas enligt

$$\delta_k = \delta_m \frac{l_k^2}{l_m^2} \quad (3.4.1d)$$

där δ_m är uppmätt karakteristisk pilhöjd på mätlängden och l_m är mätlängden.

3.5 DIMENSIONERINGSFÖRESÄTTNINGAR FÖR BETONGPÅLAR

3.5.1 Betongens uppsprickning

Slagna betongpålar skall betraktas som uppspruckna, såvida inte annat säkert kan påvisas.

Vid beräkning av sprucken betong skall betongen normalt förutsättas inte uppta dragkrafter. Se vidare gällande normer.

Vid beräkning av böjstyvhet för påltvärsnitt skall uppsprickningens inverkan beaktas. I de fall hela påltvärsnittet kontrolleras ha enbart tryckpåkänningar får böjstyvheten beräknas som för osprucken betong. Se vidare gällande normer.

3.5.2 Lasters varaktighet - betongens krypning

Inverkan av betongens krypning skall beaktas. Se vidare gällande normer.

Vid bestämning av betongens krypning skall hänsyn tas till bl a den relativa luftfuktigheten i påles omgivning.

■ Långtidslast

Kryptalet, ϕ , skall för långtidslast, där inte annat påvisas riktigare, väljas till 1,3 under förutsättning att pålar inte belastas innan de uppnår fordrad tryckhållfasthet och att kanttryckspänningen av enbart långtidslast inte överstiger $0,6 f_{ckr}$. Detta värde gäller för långtidslast för pålar i fuktig miljö (RH ca 90 %). I mycket fuktig miljö (RH $\geq$ 95 %) kan kryptalet vara lägre. Se vidare gällande normer.

■ Laster med olika varaktighet

Vid flera samverkande laster med olika varaktighet kan krypdeformationens inverkan beräknas med ett sk effektiv kryptal, ϕ_{ef} . Se vidare gällande normer.

3.5.3 Betongens krympning

Inverkan av betongens krympning skall beaktas i torr miljö. Se vidare gällande normer.

Vid bestämning av betongens krympning skall hänsyn tas till bl a den relativa luftfuktigheten i påles omgivning.

Betongens krympning, ϵ_{cs} , kan i mycket fuktig miljö (RH $\geq$ 95 %), där inte annat påvisas riktigare, antagas ha värdet $\epsilon_{cs} = 0,1 \cdot 10^{-3}$. Vid spänningsberäkning i bruksgränstillstånd är inverkan av betongens krympning med detta värde av marginell betydelse.

3.6 DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR STÅLPÅLAR

3.6.1 Egenspanningar i stålplålar

Inverkan av egenspanningar i stålplålar skall beaktas.

Följande skall tillämpas, där inte annat påvisas riktigare.

Egenspanningar i stålplålar skall vid analytisk beräkningsmodell tas hänsyn till genom att dels räkna med en fiktiv krokighet, som adderas till den geometriska, dels räkna med 10 % reducerad elasticitetsmodul.

Den fiktiva initialkrokigheten, δ_f , skall väljas enligt *tabell 3.6.1a*, där grupptillhörighet bestäms av gruppindelning enligt handboken BYGG K18:56, tabell K18:56. Dessa egenspanningsgrupper 1-3 är skilda från tvärsnittsgrupperna a-d, för bestämning av reduktionsfaktorn ω_c för böjknäckning, enligt t ex BSK 94 och oberoende av utböjningsriktning.

Tabell 3.6.1a Fiktiv initialkrokighet, δ_f , för att beakta egenspanningen i stålplålar.

Egenspanningsgrupp enligt BYGG K18:56 tabell K18:56	Fiktiv initialkrokighet, δ_f
1	$0,0003 l_k$
2	$0,0013 l_k$
3	$0,0025 l_k$

där l_k är den elastiska knäcklängden

Egenspanningsgrupp för olika typer av stålplålar skall, där inte annat påvisas riktigare, väljas enligt *tabell 3.6.1b*.

Tabell 3.6.1b Egenspanningsgrupp för olika typer av stålplålar avseende fiktiv initialkrokighet.

Stålplåletyp Ej avspänningsglödlat material	Egenspanningsgrupp enligt tabell 3.6.1a
Varmformade cirkulära rör	$t \leq 40 \text{ mm}$ 1
Längdsvetsade och spiralsvetsade cirkulära rör	$t \leq 40 \text{ mm}$ 2
Valsade krysspålar	$t \leq 40 \text{ mm}$ 1
Valsade cirkulära stål kärnepålar	$\phi \geq 80 \text{ mm}$ 2
Valsade rälsplålar	$\begin{cases} t_{\text{fläns}} \leq 40 \text{ mm} \\ t_{\text{rälshuvud}} \leq 100 \text{ mm} \end{cases}$ 2
Valsade H-profiler	$t_{\text{fläns}} \leq 40 \text{ mm}$ 2

där t betecknar godstjocklek och ϕ betecknar diameter

Vid överskridande av angivna godstjocklekar skall närmast högre egenspanningsgrupp väljas. Gäller dock inte valsade cirkulära stål kärnepålar.

3.6.2 Lokal buckling

Inverkan av lokal buckling av stålpålar med tunnväggigt tvärsnitt skall beaktas. Detta gäller stålpålar med tvärsnittsdelar med slankhet så stor att buckling inträffar vid en spänning som är mindre än sträckgränsen.

Beräkningen kan utföras t ex enligt metod angiven i handboken BYGG K18:34.

3.7 DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR TRÄPÅLAR

3.7.1 Lasters varaktighet - träets krypning

Inverkan av lasters varaktighet på elasticitetsmodulen för träpålar skall beaktas. Se vidare gällande normer.

Denna inverkan kan tas hänsyn till genom särskilda omräkningsfaktorer, som kan anges med hänsyn till olika lasttyper med avseende på lasters varaktighet. Se vidare t ex BKR 94 5:312 Tabell a och 5:322 Tabell a.

Träpålar av timmer kan härvid antagas motsvara konstruktionsvirke i hållfasthetsklass K12 och bör förutsättas vara i klimatklass 3, fuktig miljö ($RH > 80 \%$) vilket är på säkra sidan i övriga fall.

3.7.2 Lasters varaktighet - träets hållfasthet

Inverkan av lasters varaktighet på hållfastheten för träpålar skall beaktas. Se vidare gällande normer.

Denna inverkan kan tas hänsyn till genom särskilda omräkningsfaktorer. Se avsnitt 3.7.1.

Beträffande träpålar av timmer se avsnitt 3.7.1.

3.7.3 Fuktinverkan

Inverkan av fuktighet på styvhet och hållfasthet för träpålar skall beaktas. Se vidare gällande normer.

Denna inverkan kan tas hänsyn till genom särskilda omräkningsfaktorer, som kan anges för olika klimatklasser. Se vidare t ex BKR 94.

3.8 DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR PÅLAR AV FLERA MATERIAL

Rubriken syftar på bl a stålrörspålar och stålkärnepålar.

Stålrörspålen kan utföras utan eller med betongigjutning, av vilka den senare behandlas i detta avsnitt.

Stålkärnepålen är en påltyp som förutsätter foderrör, vilket oftast installeras genom borrhning. Själva stålkärnan stoppslås eller ingjuts.

3.8.1 Samverkan i stålrörspålar

Samverkan mellan stålrör och betongkärna med avseende på stålrörspåles böjstyvhet kan tillgodoräknas. Detta kan ske genom addition av de båda delarnas bidrag. Även samverkan med avseende på påles lastkapacitet kan tillgodoräknas vid förutsättningar enligt nedan. Stålrörets avrostning skall härvid beaktas.

För samverkan mellan stålrör och betongkärna med avseende på lastkapacitet fordras att lasteffekten kan fördelas på stålrör och betongkärna.

Med avseende på normaltryckkraft är fördelningen beroende på bl a stålrörets och betongkärnans axialstyvhet, hur pållasten införs vid pålhuvudet och hur den överförs till jord och/eller berg. Härvid kan erfordras lastöverförande förbindningar mellan stålrör och betongkärna.

Med avseende på böjande moment får antas att detta fördelas på stålrör och armerad betongkärna. Härvid kan erfordras lastöverförande förbindningar mellan stålrör och betongkärna.

3.8.2 Samverkan i stålkärnepålar

Samverkan mellan foderrör, injekteringsbruk och stålkärna med avseende på stålkärnepåles böjstyvhet kan tillgodoräknas. Detta kan ske genom addition av de tre delarnas bidrag. Foderrörets avrostning skall härvid beaktas.

Med avseende på lastkapacitet bör samverkan inte tillgodoräknas för normalkraft. Detta bör inte ske eftersom lasteffekten inte säkert kan fördelas på det oftast tunnväggiga oarmerade injekteringsbruket och foderröret. Normaltryckkraften införs vid pålhuvudet huvudsakligen enbart på stålkärnan och det är också enbart denna som ingjutes eller stoppslås mot berget.

Med avseende på lastkapacitet för böjande moment får antas att detta fördelas på foderrör och stålkärna. Foderrörets avrostning skall härvid beaktas.

3.9 BESTÄNDIGHETSKRAV

Pålar skall vara beständiga eller skyddas och underhållas under byggnadsverkets förväntade livslängd.

Pålars beständighet behandlas i del - Beständighet.

Sammanfattningsvis gäller följande för pålar av olika material:

■ Betongpålar

För betongpålar tas hänsyn till beständigheten genom val av betongkvalitet med avseende på frost- och korrosionsbeständighet och genom val av minsta täckande betongskikt för armeringen.

■ Stålpålar

För stålpålar tas hänsyn till beständigheten genom korrosionsskydd av pålen och/eller genom att ståltvärsnittet dimensioneras med rostmå för förväntad avrostning.

■ Träpålar

För träpålar tas hänsyn till beständigheten genom att bl a tillse att dessa under förväntad livslängd står i rent grundvatten under lägsta framtida grundvattenyta.

Kapitel 4.

Beräkning av lasteffekt i påle

I detta avsnitt behandlas lasteffekter i installerad påle på grund av laster på denna.

4.1 ALLMÄNNA FÖRHÅLLANDEN OCH PRINCIPER

■ Laster på påle

Se avsnitt 2.3.

■ Lasteffekt i påle

Se även avsnitt 2.1.

I såväl generellt som enbart axiellt tryckbelastad påle uppkommer alltid normalkraft, tvärkraft och böjande moment. Se figur 2.1.2a.

För tryckbelastad påle skall böjande moment beräknas enligt 2:a ordningens teori. Härvid skall hänsyn tas till bl a inverkan av initialkrokighet och egenspanningar hos den i jorden installerade pålen samt jordens sidomotstånd mot pålen. Se vidare avsnitt 4.2.

För dragbelastad påle kan böjande moment beräknas enligt 1:a ordningens teori.

Det skall påpekas att lasteffekter vid drivning och stoppslagning inklusive slagning vid stöt-vågmätning ofta är dimensionerande.

■ Beräkning i brottgränstillstånd

I brottgränstillstånd skall beräkning av krafter och moment baseras på elasticitetsteori eller på gränslastteori. För tillämpning av gränslastteori gäller villkor enligt gällande normer.

I brottgränstillstånd skall partialkoefficienter för ingående materialparametrar väljas som för brottgränstillstånd.

Vid varierande belastning med upprepade på- och avlastning skall risken för tillväxt- och växelflytbrott i systemet påle-jord beaktas. Detta gäller framför allt transversalbelastade pålar, för vilka sidomotstånd mot pålar enligt BRO 94 bilaga 3-5 inte heller gäller.

Vid olyckslast får partialkoefficienter för ingående materialparametrar väljas som för olycks-
last. I förenklande syfte, och på säkra sidan, kan dock lasteffekterna beräknas med material-
parametrar lika som för brottgränstillstånd i allmänhet.

Vid olyckslast enligt t ex BBK 94 behöver moment av icke avsedd initialkrokighet inte för-
utsättas uppträda samtidigt med moment av olyckslast.

■ Beräkning i bruksgränstillstånd

I bruksgränstillstånd skall beräkning av krafter och moment utföras enligt elasticitetsteori.

**I bruksgränstillstånd skall råda elastiska förhållanden både med avseende på pålmate-
rial och jordmaterial inklusive sidomotstånd mot pålar. I bruksgränstillstånd skall så-
lunda jordmaterialens gränsvärden för sidoförskjutningen, då gränstrycket uppnås,
inte överskridas.**

I bruksgränstillstånd får partialkoefficienter för ingående materialparametrar väljas som för
bruksgränstillstånd. I förenklande syfte, och på säkra sidan, kan dock lasteffekten beräknas
med materialparametrar enligt brottgränstillstånd.

■ Beräkning av lasteffekt enligt 2:a ordningens teori

**Vid beräkning av lasteffekt i installerad, av jorden sidostöttad påle enligt
2:a ordningens teori, skall hänsyn tas till förhållanden av betydelse.**

Bland förhållanden av betydelse kan nämnas:

- Arbetskurva för respektive pålmaterial.
- Arbetskurva för jordens sidomotstånd mot pålen.
- Styvhet för påle inklusive skarvar.
- Hänsynstagande till initialkrokighet inklusive vinkelavvikelse i skarvar och därav förör-
sakade tillskottsutböjningar.
- Inverkan av egenspanningar i stålplåtar.

Dessa förhållanden finns redovisade i avsnitt 3.

Dessutom skall hänsyn tas till bl a fri pållängd i luft och/eller vatten.

Vid beräkning av lasteffekter kan man välja att modellera systemet påle-jord enligt modell
typ A eller typ B.

Vid MODELL TYP A modelleras hela systemet påle-jord med finita element eller finita diffe-
rensmetoder. Vid modell typ A kan

- jordens egenskaper varierar längs pålen
- pålens styvhet varierar längs pålen
- skarvars egenskaper tas med
- verkliga egenspanningar i pålmaterialet tas med
- plasticering i pålmaterialet tas med

- godtycklig initialkrokighet och godtycklig vinkeländring i skarvar tas med
- inverkan av flytleder i pålen tas med

Vid MODELL TYP B görs vissa förenklingar för att erhålla analytiska lösningar.

Vid modell typ B antas att

- jordens egenskaper är konstanta längs pålen
- påle inklusive skarvar är jämnstöv
- inverkan av egenspanningar och plasticering tas med på ett approximativt sätt
- initialkrokighet inklusive vinkeländring i skarvar är kontinuerlig, t ex sinusformad.

4.2 METODER FÖR ENBART AXIALBELASTAD PÅLE

Vid enbart axiellt tryckbelastad påle kan en analytisk beräkningsmetod som presenteras i Pålkommisionens rapport 84a användas. Metoden bygger på en beräkningsmodell typ B och behandlar påldelar genom "lös" lera, varmed avses lera med $c_{uk} \leq 25$ kPa. Metoden kan användas även vid påldelar i friktionsjord.

4.3 METODER FÖR AXIAL- OCH TRANSVERSAL- OCH/ELLER BÖJMOMENTBELASTAD PÅLE

Vid påle med axiellast samt transversallast och/eller böjande moment skall effekten av dessa laster beaktas.

För lutande påle i jord skall hänsyn tas till böjande moment som kan uppkomma på grund av sättningar i jorden.

För lutande påle i vatten skall hänsyn tas till böjande moment, som kan uppkomma bl a på grund av pålens egentyngd.

Beräkning av lasteffekt kan utföras enligt metod 1 eller metod 2.

■ Metod 1

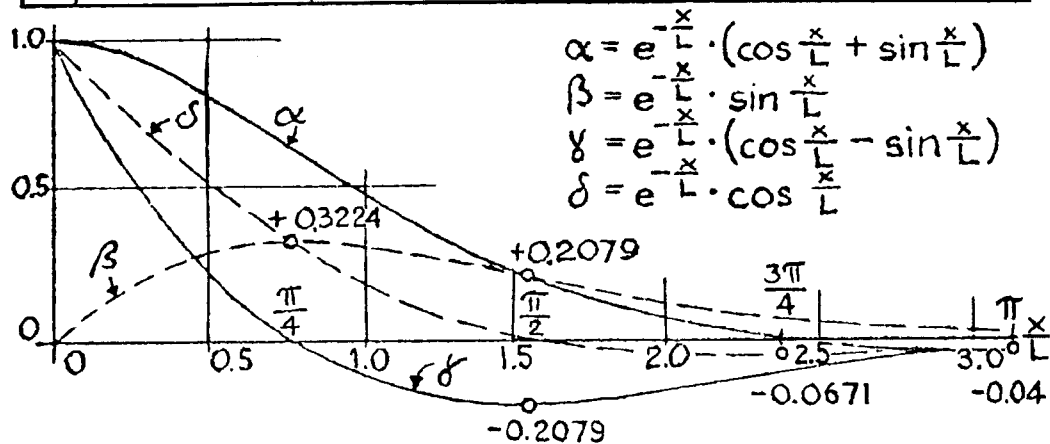
Vid metod 1, som bygger på en beräkningsmodell typ A, utförs beräkningarna enligt 2:a ordningens teori i dator med ramberäkningsprogram. Jordens sidomotstånd mot pålen måste kunna modelleras så att hänsyn tas till jordens plasticering.

■ Metod 2

Vid metod 2, som är en något approximativ metod och bygger på analytiska beräkningar av en beräkningsmodell typ B, utnyttjas Pålkommisionens rapport 84a och elementarfall för moment och deformationer för balk på fjädrande underlag belastad med punktlast och moment, se *figur 4.3a*.

Enligt metoden beräknas inverkan av axiellast samt transversallast och/eller böjande moment var för sig enligt följande (se *figur 4.3b - 4.3f*):

y	$\frac{P}{2cbL} \cdot \alpha$ $= \frac{PL^3}{8EJ} \cdot \alpha$	$\frac{M}{cbL^2} \cdot \beta$ $= \frac{ML^2}{4EJ} \cdot \beta$	$\frac{2P}{cbL} \cdot \delta$ $= \frac{PL^3}{2EJ} \cdot \delta$	$-\frac{2M}{cbL^2} \cdot \gamma$ $= -\frac{ML^2}{2EJ} \cdot \gamma$
y'	$-\frac{P}{cbL^2} \cdot \beta$ $= -\frac{PL^2}{4EJ} \cdot \beta$	$\frac{M}{cbL^3} \cdot \gamma$ $= \frac{ML}{4EJ} \cdot \gamma$	$-\frac{2P}{cbL^2} \cdot \alpha$ $= -\frac{PL^2}{2EJ} \cdot \alpha$	$\frac{4M}{cbL^3} \cdot \delta$ $= \frac{ML}{EJ} \cdot \delta$
M	$\frac{PL}{4} \cdot \gamma$	$-\frac{M}{2} \cdot \delta$	$-PL \cdot \beta$	$M \cdot \alpha$
R_x	$-\frac{P}{2} \cdot \delta$	$-\frac{M}{2L} \cdot \alpha$	$-P \cdot \gamma$	$-\frac{2M}{L} \cdot \beta$
y				
y'				
M				
R_x				



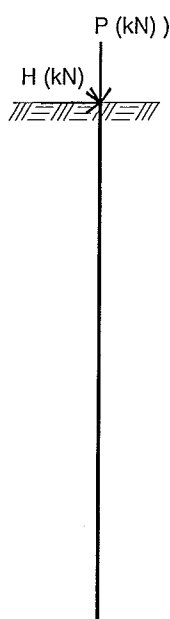
Balk på fjädrande underlag.

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{cb}}$$

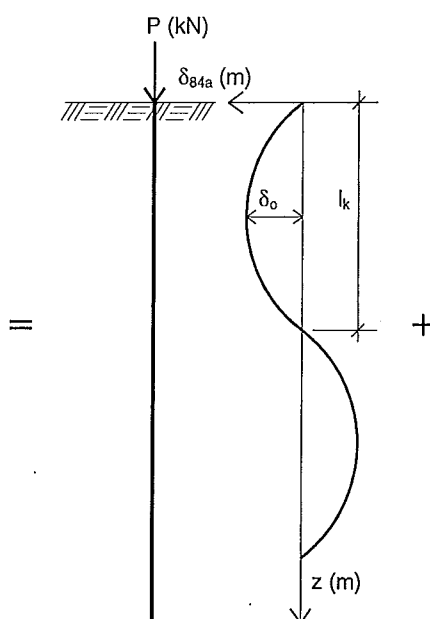
Figur 4.3a. Elementarfall för balk på fjädrande underlag belastad med punktlast och moment.

Fiktiv initialkrokighet, δ_H , orsakad av tillskottsutböjning av t ex transversallast (se figur 4.3d) adderas till initialutböjningen (se figur 4.3c) och används som förstord initialkrokighet vid beräkning enligt rapport 84a. Det på detta sätt erhållna momentet (se figur 4.3e) skall sedan adderas till momentet av transversallasten (se figur 4.3f). Detta moment utgör tillsammans med normalkraft och tvärkraft lasteffekten på pålen.

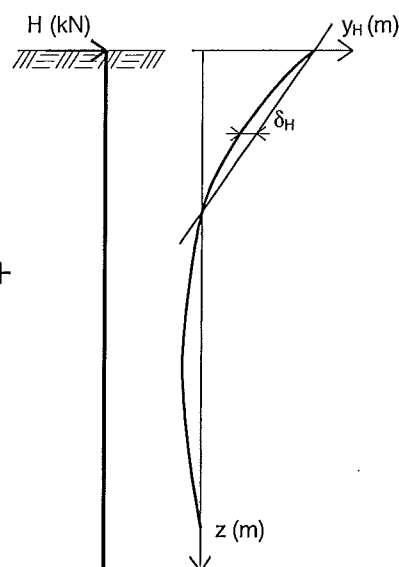
Om pålens inspänning i pålplattan utnyttjas, måste också själva inspänningsnittet dimensioneras för aktuellt inspänningsmoment beräknat med hänsyn till 2:a ordningens teori.



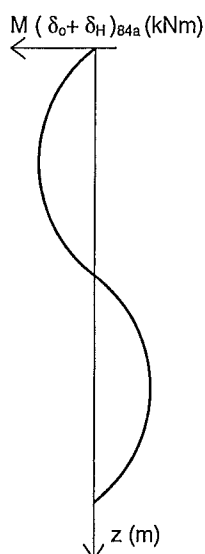
Figur 4.3b.



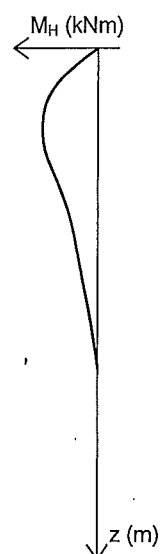
Figur 4.3c.



Figur 4.3d.



Figur 4.3e.



Figur 4.3f.

Figur 4.3b – 4.3f. Metod 2 för axial- och transversal- och/eller böjmomentbelastad påle.

Kapitel 5.

Dimensionering i brottgränstillstånd

Brottgränstillstånd i detta avsnitt avser, där ej annat anges, brottgränstillstånd i allmänhet.

5.1 ALLMÄNNA FÖRHÅLLANDEN OCH PRINCIPER

Se även avsnitt 2.2.

Vid dimensionering i brottgränstillstånd skall partialkoefficienter för ingående materialparametrar väljas som för brottgränstillstånd.

Vid dimensionering för olyckslast får partialkoefficienter för ingående materialparametrar väljas som för olyckslast.

I brottgränstillstånd får lastkapaciteten beräknas med arbetskurvor för respektive material och med hänsyn till plasticering.

5.2 DIMENSIONERINGSKRAV OCH DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Vid dimensionering gäller för pålar av olika material olika krav på förutsättningar för och utförande av tvärsnitts- och knäckningskontroll. Dessa krav och förutsättningar har sammanställts i tabell 5.2.

Tabell 5.2. Sammanställning av dimensioneringskrav och dimensioneringsförutsättningar för tvärsnitts- och knäckningskontroll för olika pålmaterial.

		Pålmaterial			Hänvisning
		Betong	Stål	Trä	Avsnitt
1	Tvärsnittskontroll/Materialbrott				5.3
1.1	Normalkraft och böjande moment inklusive inverkan av initialkrokighet	x	x	x	5.3.1 och 5.3.3
1.2	Minsta moment av normalkraft (p g a minsta excentricitet)	x	-	-	5.3.2
2	Knäckningskontroll/Knäckning				5.4
2.1	Kontroll om maximalvärde för normaltryckkraften erhålles utan att tvärsnittskapaciteten utnyttjas	x	x ²⁾	x	5.4.1
2.2	Kontroll m a p centrisk tryckkraft vid axiellt tryckbelastad påle	- ¹⁾	-	-	5.4.1

Anm 1 Kontroll m a p centrisk tryckkraft enligt t ex BBK 94 (ekvation 6.3.3.2.a) erfordras inte.
Se vidare avsnitt 5.4.1

Anm 2 Se avsnitt 5.4.1

5.3 TVÄRSNITTSKONTROLL

Se även avsnitt 2.2.

5.3.1 Normaltryckkraft och böjande moment

Tvärsnittskontroll för tryckt och böjd påle skall utföras för dimensionerande lasteffekt enligt avsnitt 4.

Beträffande minsta moment av normalkraft se avsnitt 5.3.2 nedan.

■ Betongpålar

För betongpålar skall lastkapaciteten beräknas som för ett armerat betongtvärsnitt. Härvid skall hänsyn tas till minsta moment av normalkraft enligt gällande normer.

■ Stålpålar

För stålpålar skall lastkapaciteten beräknas med interaktionsformler. Härvid skall dessa ha exponenterna för i ekvationerna ingående N/N_d - och M/M_d -termer, enligt t ex BSK 94 6:251, lika med 1,0.

■ Träpålar

För träpålar skall lastkapaciteten beräknas med interaktionsformler. Härvid skall dessa ha exponenterna för i ekvationerna ingående termer, enligt t ex BKR 94 5:3127 ekvation (a) och (b), lika med 1,0.

5.3.2 Minsta moment av normalkraft

■ Betongpålar

För betongpålar gäller att normalkraften skall förutsättas ha en minsta excentricitet enligt gällande normer.

Normalkraften i ett tvärsnitt av betong skall enligt flertalet normer förutsättas ha en minsta icke avsedd excentricitet $= e_{\min}$. T ex anger BKR 94 att normalkraften i ett betongtvärsnitt i brottgränstillstånd skall antas ha en minsta excentricitet $e_{\min} = h/30$ där h är tvärmåttet i respektive huvudtröghetsriktning. Som generellt råd anges $e_{\min} \geq 20$ mm.

För industriellt förtillverkade installerade betongpålar (och betongpelare) kan normalkraftens minsta excentricitet förväntas vara mindre.

■ Stål- och träpålar

För stål- och träpålar får inverkan av icke avsedd excentricitet hos normalkraften enligt flertalet normer anses vara beaktad genom förutsättningen om viss initialkrokighet.

5.3.3 Övriga lastkapaciteter

Lastkapaciteten för övriga lasteffekter som bl a normaldragkraft, normaldragkraft med böjande moment, tvärkraft och vridande moment skall beräknas enligt gällande normer.

5.4 KNÄCKNINGSKONTROLL

Se även avsnitt 2.2.

5.4.1 Normaltryckkraft och böjande moment

Knäckningskontroll för tryckt och böjd påle skall utföras för dimensionerande lasteffekt enligt avsnitt 4.

■ Kontroll med avseende på centrisk tryckkraft - Anm 1 till tabell 5.2.

Då betongpåles lastkapacitet med avseende på normalkraft och böjande moment bestämts enligt i denna rapport angiven metod, behöver lastkapaciteten inte kontrolleras med avseende på centriskt tryck enligt t ex BBK 94 ekvation (6.3.3.2a).

Ekvationen för centriskt tryck enligt t ex BBK 94 bygger på en mindre noggrann beräkningsmetod än den i rapporten angivna. Begränsning av betongpåles lastkapacitet med avseende på centriskt tryck enligt angiven ekvation saknar därför saklig grund.

■ Speciell kontroll av stål- och träpålar med enkelsymmetriskt H-tvärsnitt - Anm 2 till tabell 5.2.

Vid beräkning av stål- och träpålar med enkelsymmetriskt H-tvärsnitt med avseende på moment som ger utböjning i pålens styva led och där flänsarna kan böja ut i sidled skall också en böjvridknäckningskontroll genomföras.

Denna kontroll skall baseras på knäcklängden med hänsyn till utböjning i pålens sidled och kan utföras t ex enligt BSK 94 ekvation 6:253b.

5.5 LASTKAPACITET FÖR PÅLSKARVAR

Vid dimensionering av en påles lastkapacitet skall eventuella skarvar beaktas. Lasteffekten skall beräknas i pålskarvens snitt. Härvid skall jorden och dess sidomotstånd på detta djup användas. För spetsbärande pålar är skarvens läge ofta osäkert.

Det skall påpekas att skarvar, som vanligen har mindre tvärsnittskapacitet än pålelementet, ofta blir dimensionerande för påles lastkapacitet. Detta är fallet även vid lasteffekt med axiell dragkraft.

■ Verifiering genom beräkning

Vid beräkning av skarvar skall alla möjliga kritiska snitt kontrolleras.

För betongpåle med skarv typ ABB, Herkules eller annan (liknande) skarv skall följande snitt kontrolleras:

- Snitt genom pålelementets betongtvärsnitt med enbart skarvens förankringsstål
- Snitt genom förankringsstålens infästning i skarvbeslaget
- Snitt genom kraftöverförande delar i skarvbeslaget

För stålpåle med svetsad skarv skall svetsförbandet kontrolleras.

■ Verifiering genom provning

Vid bestämning av skarvars lastkapacitet genom provning skall provningen utföras på skarvad påle utsatt för minst lika stora och många lasteffekter som den skarvade pålen förväntas få utstå under installationen. Skarven skall provas för de kombinationer av normalkraft, moment och i förekommande fall tvärkraft som den avses att användas för. I övrigt se Boverkets häfte "Dimensionering genom provning".

5.6 LASTKAPACITET FÖR BERGSKOR

Vid dimensionering av en påles lastkapacitet skall eventuell bergsko beaktas. Lasteffekten skall beräknas i bergskons snitt.

Normalkraftens excentricitet i själva bergskon skall beaktas. Härvid skall normalkraftens excentricitet vid bergdubb med fullgod inmejsling, där inte annat påvisas vara riktigare, antas ha en minsta excentricitet $e_{\min} = \varnothing_{\text{dubb}}/4$, där $\varnothing_{\text{dubb}}$ är dubbens diameter.

Under installationen, vid själva inmejslingen av bergdubben, kan större excentricitet uppkomma.

■ Verifiering genom beräkning

Vid beräkning av bergskor skall alla möjliga kritiska snitt kontrolleras.

Vid dimensionering av bergsko enligt SS 811196, eller annan liknande sko, skall följande snitt kontrolleras:

- Snitt genom bergdubb
- Snitt genom hylsa för bergdubb
- Snitt genom hylsa och fjädrar inklusive snitt genom svetsfogar
- Snitt genom platta i bergsko inklusive snitt genom svetsfogar
- Snitt genom förankringsstålens infästning i plattan
- Snitt genom pålelementets betongtvärsnitt med enbart bergskons förankringsstål
- Snitt genom pålelementets betongtvärsnitt vid platta i bergsko (kontroll med avseende på lokalt tryck i betongpåle)
- Snitt genom pålelementets betongtvärsnitt ovan anslutning till platta i bergsko (kontroll med avseende på spjälkning i betongpåle)

För betongpåle skall erforderlig spjälkarmering i pålspets beräknas enligt t ex BBK 94 avsnitt 3.10.

Stabilitetskontroll av bergdubb behöver normalt inte utföras.

■ Verifiering genom provning

Vid bestämning av bergskors lastkapacitet genom provning skall provningen utföras på bergsko utsatt för minst lika stora och många lasteffekter som pålen förväntas få utstå under installationen. Bergskon skall provas för de kombinationer av normalkraft, moment (och i förekommande fall tvärkraft) som den avses att användas för. I övrigt se Boverkets häfte "Dimensionering genom provning".

5.7 DIMENSIONERING FÖR UTMATTNINGSLAST

Vid dimensionering med hänsyn till utmattning skall laster och partialkoefficienter för laster och ingående materialparametrar väljas med hänsyn till utmattning enligt gällande konstruktionsregler. Dimensionering för utmattning sker definitionsmässigt i brottgränstillstånd.

Lastkapacitet med avseende på lasteffekt av utmattningslast skall beräknas enligt principer i denna rapport och enligt för aktuella pålmaterial gällande konstruktionsregler. Installerad påles lastkapacitet skall reduceras med hänsyn till utmattningslaster under slagningen.

Kapitel 6.

Dimensionering i brukgränstillstånd

6.1 ALLMÄNNA FÖRHÅLLANDEN OCH PRINCIPER

Se även avsnitt 2.2.

Vid dimensionering i bruksgränstillstånd skall partialkoefficienter för ingående materialparametrar väljas som för bruksgränstillstånd.

I bruksgränstillstånd skall beräkningar utföras enligt elasticitetsteori.

I bruksgränstillstånd skall råda elastiska förhållanden både med avseende på pålmaterial och jordmaterial inklusive sidomotstånd mot pålar. Se även avsnitt 4.1.

6.2 DIMENSIONERINGSKRAV OCH DIMENSIONERINGS FÖRUTSÄTTNINGAR

Vid dimensionering gäller för pålar av olika material olika krav på förutsättningar för och utförande av bruksgränskontrollen. Dessa krav och förutsättningar har sammanställts i tabell 6.2.

Tabell 6.2. Sammanställning av dimensioneringskrav och dimensioneringsförutsättningar för olika pålmaterial.

		Pålmaterial			Hänvisning
		Betong	Stål	Trä	Avsnitt
1	Betongpålar				
	1.1 Begränsning av tryckspänningar vid långtidslast	x	-	-	6.3.1
	1.2 Sprickbredds begränsning för långtidslast	x ¹⁾	-	-	6.3.2
	1.3 Minsta moment av normalkraft (p g a minsta excentricitet)	x ²⁾	-	-	
2	Stål- och träpålar				
	2.1 Begränsning av spänningar till elastiska förhållanden	-	x	x	6.4.1
3	Jordmaterial				
	3.1 Begränsning av jordens sidomotstånd mot pålar till elastiska förhållanden	x	x	x	4.1

Anm 1 Sprickbredds begränsning avser pålar i armeringsaggressiva miljöer.

Anm 2 Enligt t ex BKR 94 ställs i bruksgränstillstånd inget krav på minsta excentricitet hos normalkraften. Eventuell föreskrift enligt annan gällande norm skall beaktas.

6.3 DIMENSIONERING AV BETONGPÅLAR

Dimensionering skall utföras för dimensionerande lasteffekt i bruksgränstillstånd enligt avsnitt 4.

6.3.1 Begränsning av betongtryckspänningar

Om hög tryckspänning uppkommer i betongen vid långtidslast, erfordras enligt flertalet normer särskild utredning av krypdeformationernas storlek och deras inverkan.

En sådan utredning är relativt komplicerad och inverkan av krypdeformationernas storlek är relativt ogynnsam.

I de fall betongtryckspänningen vid långtidslast begränsas enligt i gällande konstruktionsregler angivna villkor erfordras ingen särskild undersökning enligt ovan.

Vid dimensionering enligt t ex BBK 94 anges i avsnitt 4.4.1 krav på begränsning av medeltryckspänningen eller kanttryckspänningen. Kanttryckspänningen av långtidslast skall härvid understiga $0,6 f_{ckr}$.

Betongpålars tvärsnittskapacitet för normalkraft och böjande moment, beräknad med avseende på begränsad kanttryckspänning, kan anges med tvärsnittskapacitetskurvor (jfr avsnitt 2.2.2).

6.3.2 Sprickbredds begränsning

Beräknad sprickbredd skall högst uppgå till i gällande konstruktionsregler angiven begränsning.

Vid dimensionering enligt t ex BBK 94 ställs krav på begränsning av beräknad sprickbredd för långtidslast enligt avsnitt 4.5.4. Kraven är olika i måttligt, mycket respektive extremt armeringsaggressiv miljö för korrosionskänslig respektive föga korrosionskänslig armering i livslängdsklass L1 respektive L2.

Betongpålars tvärsnittskapacitet för normalkraft och böjande moment, beräknad med avseende på begränsad sprickbredd, kan anges med tvärsnittskapacitetskurvor (jfr avsnitt 2.2.2).

6.4 DIMENSIONERING AV STÅL- OCH TRÄPÅLAR

Dimensionering skall utföras för dimensionerande lasteffekt i bruksgränstillstånd enligt avsnitt 4.

6.4.1 Begränsning av spänningar till elastiska förhållanden

Spänningar i pålar av stål och trä skall i bruksgränstillstånd begränsas till elastiska förhållanden.

Spänningarna skall beräknas enligt traditionell elasticitetsteori och högst uppgå till reducerad karakteristisk hållfasthet f_{ykr} .

Stål- och träpålars tvärsnittskapacitet för normalkraft och böjande moment, beräknad enligt elasticitetsteori med avseende på reducerad karakteristisk hållfasthet f_{ykr} , kan anges med tvärsnittskapacitetskurvor (jfr avsnitt 2.2.2).

Kapitel 7.

Utförandekontroll av pålning

7.1 UTFÖRANDEKONTROLL AV PÅLNING MED AVSEENDE PÅ LASTKAPACITET

7.1.1 Grundprinciper

Utförandekontroll av pålning skall utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna är uppfyllda.

Utförandekontroll av pålning skall avse de för en påles lastkapacitet mest väsentliga dimensioneringsförutsättningarna. Kontrollen skall utföras i erforderlig omfattning.

I en projektspecifik kontrollplan skall bl a anges vad som skall kontrolleras samt hur och i vilken omfattning kontrollen skall utföras.

Utförandekontroll av pålning kan omfatta bl a:

1. Förutsättningar för valda värden på reduktionsfaktorn μ avseende installationens inverkan på påles materialegenskaper
2. Förutsatt integritet
3. Förutsatt rakhet/största initialkrokighet
4. Förutsatt sidomotstånd mot påle
5. Förutsatt fri pållängd i luft och/eller vatten

7.1.2 Kontroll av förutsättningar för valda värden på reduktionsfaktorn μ

Kontroll av förutsättningar för valda värden på reduktionsfaktorn μ , enligt avsnitt 3.2.2, skall utföras. Härvid skall förutsättningar för slagningens inverkan (μ_1) och jord- och bergförhållanden (δ_2) kontrolleras samt förutsatt integritetskontroll (δ_3) utföras.

■ Handlingars innehåll

I handlingarna för ett pålningsprojekt skall anges dels beräknat värde på reduktionsfaktorn μ inklusive de värden på reduktionsfaktorn μ_1 och reduktionstermerna δ_2 och δ_3 , som detta baseras på, dels de förutsättningar inklusive integritetskontroll, som dessa baseras på.

I kontrollplanen skall även anges att pålentreprenören skall kontrollera och verifiera att förutsättningarna för valda värden uppfylls. Där skall även anges om pålentreprenören skall utföra integritetskontroll. Där kan även anges erforderliga åtgärder vid eventuella avvikelser från antagna förutsättningar.

7.1.3 Kontroll av påles integritet

Integritetskontroll skall utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna beträffande påles integritet är uppfyllda.

Med integritet avses påles funktionsduglighet efter installation.

Integritetskontroll skall utföras med sådan metod att påles integritet kan bestämmas.

Integritetskontroll kan utföras genom stötvågsmätning eller annan lämplig metod.

Vid stötvågsmätning av skarvade pålar, och i övrigt då så bedöms erforderligt, skall metoden med tung hejare (high strain) användas. I övriga fall kan metoden med lätt hammare (low strain) användas.

Integritetskontroll skall omfatta alla pålar för vilka har förutsatts $\delta_3 > 0$, se avsnitt 3.2.2.

■ Handlingars innehåll

I handlingarna för ett pålningsprojekt skall anges förutsatta krav på påles integritet.

I kontrollplanen skall även anges om pålentreprenören skall utföra integritetskontroll och verifiera att förutsättningarna uppfylls. Där kan även anges erforderliga åtgärder vid eventuella avvikelser från antagna förutsättningar.

7.1.4 Kontroll av förutsatt raket/största initialkrokighet

Rakhetskontroll skall utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna beträffande påles raket är uppfyllda.

Rakhetskontroll skall utföras med sådan metod att påles initialkrokighet kan konstateras inte överstiga förutsatta värden.

Rakhetskontroll kan utföras med inklinometer, med tolk eller med annan lämplig metod.

Rakhetskontroll skall omfatta alla pålar för vilka har förutsatts partialkoefficienten $\gamma_\delta = 1,0$, se avsnitt 3.4.1.

Vid rakhetskontroll av påle kan största acceptabla pilhöjd, $\delta_{\max}$, på mätlängden, l_m , vid antagen cirkulärt formad initialkrokighet, beräknas enligt

$$\delta_{\max} = \delta_d \frac{l_m^2}{l_k^2} \quad (7.1.4)$$

där δ_d är dimensionerande pilhöjd på den aktuella knäcklängden enligt ekvation (3.4.1a) och l_k är aktuell knäcklängd.

■ Handlingars innehåll

I handlingarna för ett pålningsprojekt skall anges förutsatt största initialkrokighet (pilhöjd) för oskarvad respektive skarvad installerad påle i de fall dessa avviker från schablonvärden. I övriga fall bör de aktuella värdena anges i handlingarna för projektet.

I kontrollplanen skall även anges om pålentreprenören skall utföra rakhetskontroll och verifiera att förutsättningarna uppfylls. Där kan även anges erforderliga åtgärder vid eventuella avvikelser från antagna förutsättningar.

7.1.5 Kontroll av förutsatt sidomotstånd mot påle

Kontroll av jordens sidomotstånd mot påle kan behöva utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna beträffande jordens sidomotstånd är uppfyllda.

Jordens egenskaper kan verifieras genom geoteknisk undersökning.

Kontroll av att jorden sluter tätt an mot påles sidor kan bli aktuell vid pålning i lerpropphål.

7.1.6 Kontroll av förutsatt fri pållängd i luft och/eller vatten

Kontroll av påles fria längd i luft och/eller vatten skall utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna beträffande påles fria längd är uppfyllda.

■ Handlingars innehåll

I handlingarna för ett pålningsprojekt skall anges förutsatt längsta pållängd i luft och/eller vatten.

I kontrollplanen skall även anges att pålningsentreprenören skall kontrollera och verifiera att förutsättningarna uppfylls. Där kan även anges erforderliga åtgärder vid eventuella avvikelser från antagna förutsättningar.

BILAGA I

**Schablon för beräkning av
reduktionsfaktorn μ_{Icc} för betongpålar**

Schablon för beräkning av reduktionsfaktorn μ_{icc} för betongpålar

Tabell 1. Schablon för reduktionsfaktorn $\mu_{icc} = 0,9, 0,8$ och $0,7$ för tryckhållfasthet för betongpålar vid begränsat slagningsarbete avseende maximalt antal slag och fallhöjd vid slagning med frifalls-hejare med hejarvikt 3-4 ton.

Påltyp	Reduktions-faktor μ_{icc}	Slagningskombination 1 Maximalt antal slag vid drivning ¹⁾ med fallhöjd 0,4 m vid 300 slag stoppslagning¹⁾ med fallhöjd 0,5 ²⁾ m		Slagningskombination 2 Maximalt antal slag vid drivning ¹⁾ med fallhöjd 0,4 m vid 500 slag stoppslagning¹⁾ med fallhöjd 0,5 ²⁾ m	
		Betong i hållfasthetsklass K50 K60		Betong i hållfasthetsklass K50 K60	
SP1	0,9	250 ²⁾	1 400	- ^{2) 3)}	400
	0,8	1 300 ²⁾	6 500	- ^{2) 3)}	3 900
	0,7	3 400 ^{2) 4)}	12 000 ⁵⁾	- ^{2) 3)}	9 200
SP2	0,9	200	2 100	- ³⁾	700
	0,8	700	8 000	- ³⁾	5 400
	0,7	2 300	14 000 ⁵⁾	- ³⁾	11 500 ⁵⁾
SP3	0,9	500	5 000	250	3 300
	0,8	4 000	14 000 ⁵⁾	1 700	11 500 ⁵⁾
	0,7	8 400	23 000 ⁵⁾	5 200	20 000 ⁵⁾

Förutsättningar

- Drivning har förutsatts ske utan hejarstuds.
- Stoppslagning har förutsatts ske med hejarstuds.
- Pålängd har förutsatts vara minst 15 m.
- Dimensionerande krafter är medelvärden i övrigt beräknade enligt Pålkommissionens rapport 75.
- Armering har förutsatts vara i kvalitet Ks 500 ST.
- Normalkraftens minsta excentricitet har förutsatts vara 20 mm.

Beräkningsmetod

- Beräkning av hållfasthetsreduktion är baserad på modifierade utmattningsregler i princip enligt BBK 94 och linjär delskadehypotes enligt Palmgren-Miner.
- Utmattning enligt BBK har modifierats så att även utmattning vid färre än 500 lastcykler beaktas.
- Reduktionsfaktorn för drivning och stoppslagning är beräknad genom viktning av antal slag av de båda delarnas bidrag.

Utförande

- Beräkningarna har utförts av Gunnar Holmberg, Skanska Teknik AB, Göteborg.

Anm 1

Slagning förutsättes ske så att kraften angriper centriskt på pålen och så att horisontalkrafter inte uppstår.

Anm 2

Vid stoppslagning av påle SP1 i hållfasthetsklass K50 skall fallhöjden, med hänsyn till lastkapaciteten i brottgränstillstånd, begränsas till 0,45 m vid hejarvikt 3 ton och till 0,4 m vid hejarvikt 4 ton.

Anm 3

Påle SP1 och SP2 med betong K50 och $0,7 \leq \mu_{1cc} \leq 0,9$ tål färre än 500 stoppslag med angiven fallhöjd och hejarstuds.

Anm 4

Ökat antal slag jämfört med Pålkommisionens Rapport 94, som anger 2 200. Ökningen beror på att beräkningar i rapport 94 inte utförts för begränsad fallhöjd enligt "Anm 2".

Anm 5

Teoretiskt framräknade värden bör begränsas till max ca 10 000 med hänsyn till ökad risk för uppsprickning, sönder- och bortslagning av påle.