

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

Utgåva 2003 02 16

Supplement nr 1 till rapport 96:1

Dimensioneringsprinciper för pålar

Lastkapacitet

Gunnar Ehnåge, VBK

Förord

Föreliggande supplement nr 1 till Pålkommisionens rapport 96:1 innehåller ändringar och förtydliganden till rubricerade rapport. Det omfattar kapitel 3. Dimensioneringsförutsättningar, avsnitt 3.2.2 Installationens inverkan på pålmaterialens egenskaper och avsnitt 3.4 Initialkrokighet hos installerad påle samt Exempel nr 1.

Supplementet syftar dels till att underlätta tolkningen av rubricerade rapport och dels till införande av mer nyanserade metoder för att beakta installationens olika inverkan på pålmaterialens egenskaper.

Supplementet har skrivits av Gunnar Ehnåge, VBK Konsulterande ingenjörer, Göteborg. Värdefulla synpunkter under arbetets gång har lämnats av Gunnar Holmberg, Skanska Teknik, Göteborg.

Supplementet har remissbehandlats. Värdefulla synpunkter har härvid lämnats av Per-Evert Bengtsson, Peab Sverige AB, Åke Bengtsson, Ingenjörfirma Åke Bengtsson AB och Ebbe Rosell, Vägverket.

Ändringar relativt rapporten är markerade med **blå kulör** och vertikalt streck i högra marginalen. - - - - markerar oförändrad text relativt rapporten som utelämnats i detta supplement.

Omfattning

Pålkommisionens rapport 96:1 behandlar huvudsakligen, där inte annat anges, endast lastkapacitet för installerad påle.

Hänvisningar

Beträffande verifiering av lastkapacitet för hantering och installation hänvisas till separata rapporter, som dock ännu inte publicerats. Pålkommisionens rapport 98, Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar behandlar dock lastkapacitet både under installation och för installerad påle.

Innehåll

Förord

Sammanfattning.....3

Summary.....3

3. Dimensioneringsförutsättningar

3.2 Pålmaterialens egenskaper.....5

3.2.2 Installationens inverkan

3.4 Initialkrokighet hos installerad påle.....9

Exempel nr 1.....10

Sammanfattning

Installationens inverkan på materialegenskaperna liksom förhållandet att reduktionen kan vara olika för olika delar av en påle beroende på jord- och bergförhållanden behandlas.

Metoden att ta hänsyn till installationens inverkan med en reduktionsfaktor (μ) lagd på materialegenskapernas karakteristiska värden har modifierats.

Principer och riktlinjer för att beräkna μ utifrån slagningens inverkan (μ_1) och reduktionstermerna med hänsyn till jord- och bergförhållanden (δ_2) respektive eventuell integritets- eller rakhetskontroll (δ_3) har nyanserats.

Bestämning av beräkningsförutsättningar för olika delar av en påle belyses med ett exempel.

Summary

The influence of pile installation on the characteristics of the pile material is considered as well as the fact that the reduction may be different for different parts of the pile depending on soil and rock conditions.

The method for taking into account the influence of pile installation using a reduction factor (μ) applied to the characteristic values for the material properties has been modified.

Principals and guidelines for determination of μ from the influence of pile driving (μ_1) and reductions due to soil and rock conditions (δ_2) and possible integrity or initial curvature tests of piles (δ_3) have been clarified.

Determination of design prerequisites for different parts of a pile has been highlighted with an example.

Kapitel 3.

Dimensioneringsförutsättningar

3.2 PÅLMATERIALENS EGENSKAPER

Här börjar supplement nr 1.

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.

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. Reduktionsfaktorn kan också vara olika för olika delar av en påle beroende på jord- och bergförhållanden, som sten och block i jorden, varierande jordlagerföljd och lutande bergyta.

▪ 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 integritets- eller rakhetskontroll 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 integritets- eller rakhetskontroll 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 påmaterialens hållfasthet.

Reduktionsfaktorn μ_1 skall bestämmas genom schablon, beräkning eller provning.

Övre gränsvärden och värden 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: $\sum_i n_i / N_i \leq 0$, 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 pådel.

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

Pålmaterial	Tryckhållfasthet	Draghållfasthet	Elasticitetsmodul
Betong	$\mu_{1cc} \leq 0,9$	$\mu_{1ct} \leq 1,0^{1) 2)}$	$\mu_{1cE} = 1,0^{3)}$
Stål ⁴⁾ och armering ⁷⁾	$\mu_{1sc} = 0,9^{5)}$	$\mu_{1st} = 0,9^{5)}$	$\mu_{1sE} = 1,0^{6)}$
Trä	$\mu_{1wc} = 0,9^{5)}$	$\mu_{1wt} = 0,9^{5)}$	$\mu_{1wE} = 1,0^{6)}$

Anm 1 Draghållfasthet (och elasticitetsmodul, se dock Anm 3) för betong i hållfasthetsklass KXX med reduktionsfaktor μ_1 för tryckhållfasthet = μ_{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 uppsprungna.

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 $\mu_{1sE} = \mu_{1wE} = 1,0$.

Anm 7 Gäller även armering i betongpålar.

.2 Bestämning av reduktionstermerna δ_2 och δ_3

Reduktionstermerna δ_2 och δ_3 , med hänsyn till jord- och bergförhållanden respektive förekommande integritets- eller rakhetskontroll, 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: $\delta_3 \leq \delta_2$.

Reduktionstermen δ_2 på grund av ogynnsamma jord- och bergförhållanden beaktar bland annat på ett indirekt sätt risken för ökad initialkrokighet i påle. Integritetskontroll av påle kan därför ersättas med kontroll av påles initialkrokighet. Detta kontrollförfarande rekommenderas vid slank (bøjvek) påle.

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

Reduktionstermerna δ_2 och δ_3 kan normalt väljas = 0 även för tryckhållfasthet för material i påldelar, som inte påverkas av ökad initialkrokighet i pålelementet, som till exempel bergskor. (För materialet stål innebär en delskada enligt gängse teori inte heller någon hållfasthetsreduktion för icke utmattande last.)

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 ¹⁾	$\delta_2 = 0,1$ per pkt dock max 0,2
	.2 Gynnsam jordlagerföljd		.2 Ogynnsamt varierande jordlagerföljd	
	.3 Stoppslagning mot ej lutande bergyta		.3 Stoppslagning mot lutande bergyta ²⁾	
	.4 Kraftig (böjstyv) påle		.4 Slank (böjvek) påle	
Integritets- eller rakhetskontroll ³⁾	.1 Påles integritet efter slagningen kontrollerad genom integritets- eller rakhetskontroll och befunnen intakt ³⁾	$\delta_3 \leq 0,2$ (dvs en ökning)	.1 Ingen kontroll av påles integritet eller raket efter slagningen	$\delta_3 = 0$

Anm 1 Avser pådelar som pålelement och skarvar, som kan påverkas av ökad initialkrokighet i pålen orsakad av drivning i sten- och blockförande jordlager. Gäller ovan sten- och blockförande jordlager inom ett avstånd som kan antas = knäcklängden l_k och ned till pålspetsen. Knäcklängden l_k får härvid, där ej annat påvisas riktigare, väljas = 4,0 m.

Anm 2 Avser pådelar som pålelement och skarvar, som kan påverkas av ökad initialkrokighet i pålen orsakad av innejsling mot lutande bergyta. Gäller ovan lutande bergyta inom ett avstånd som kan antas = knäcklängden l_k och ned till pålspetsen. Knäcklängden l_k får härvid, där ej annat påvisas riktigare, väljas = 4,0 m.

Anm 3 Om påles initialkrokighet kontrolleras genom rakhetsmätning längsmed hela pålen och konstateras inte överstiga dimensionerande initialkrokighet får reduktionstermen δ_3 för tryckhållfasthet för betong, stål och armering samt trä väljas $\leq 0,2$. Detta gäller härvid även för tryckhållfasthet för skarvar. Initialkrokigheten skall mätas t.ex. med inklinometer, elektrisk rakhetsmätare eller tolk (kontroll med enbart ficklampa är inte tillräckligt).

Beträffande integritetskontroll och rakhetskontroll se avsnitt 7.1.

3.3 JORDMATERIALENS EGENSKAPER

- - - -

3.4 INITIALKROKIGHET HOS INSTALLERAD PÅLE

3.4.1 Dimensionerande initialkrokighet

- **Initialkrokighet genom schablon**

- **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.

Vid enhetliga förhållanden kan så kallad fåtalsmätning användas för bestämning av karakteristisk initialkrokighet. Detta kan ske genom någon av de metoder, Alternativ 1 eller Alternativ 2, som behandlas i avsnitt 4.3.1 i Pålkommisionens rapport 98, Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar.

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

3.4.2 Excentriciteter vid pålsko/bergsko och pålspets

Normalkraftens excentricitet vid pålskon/bergskon och/eller pålspetsen skall beaktas. Beträffande principer i övrigt se avsnitt 5.6.

Excentriciteter vid pålskor och pålspets behandlas även i avsnitt 4.3.2 i Pålkommisionens rapport 98, Dimensioneringsprinciper för slagna slanka stålpålar.

Exempel nr 1.

Beräkningsförutsättningar för beräkning av lastkapacitet i brott- och bruksgränstillstånd för axialbelastad betongpåle.

Beräkningsförutsättningar väljs enligt Pålkommisionens rapport 96:1 med supplement nr 1.

Påle: Skarvade pålelement med pålskarvar. Förväntad pällängd 30,0 - 38,0 m.
Kort överpåle på 2 stycken 13,0 m pålelement.

Pålelement typ SP2:

Tvärmått 275 x 275 mm, betong K60, säkerhetsklass 3.
Armering 4 x 2 Ø 12 buntade i hörnen, B500BT.
Täckande betongskikt till huvudarmering = 30 mm ⇒
avstånd från kant till armeringens tyngdpunkt = 42 mm.

Pålskarv typ XYZ:

Utförande enligt standardritning nr xxxxxx/y.

Förankringsstål 4 Ø20 B500BT, c/c förankringsstål = 140 mm.
Avstånd från pålsida till förankringsstålens tyngdpunkt = $(275 - 140)/2 = 67,5$ mm.

Pålskarv beräknas med schablonmässig beräkningssektion genom förankringsstålen med tvärmått = tvärmått pålelement = 275 mm.

Pålskarv förutsätts jämnstark med förankringsstålen. Antagandet verifieras av på standardritningen redovisade dragkraftskapaciteter.

Skarvar dimensioneras för lasteffekter i skarvens snitt, d v s med jordens skjuvhållfasthet och sidomotstånd på detta djup.

Övre och undre skarvar förutsätts, med avseende på jordens sidomotstånd, bli placerade på djupet $\geq 4,0$ m resp $\geq 17,0$ m från överkant befintlig mark.

Effektivt kryptal:

Effektivt kryptal för betongen antages som för långtidslast $\varphi_{ef} = 1,3$ (PK 96:1, Avsnitt 3.5.2).

Dimensionerande initialkrokighet, δ_d :

Dimensionerande initialkrokighet, δ_d enligt schablon enligt PK 96:1, tabell 3.4.1a.
Pålelement med skarv $\delta_d = l_k/150$.

Installationens inverkan:

Installationens inverkan beräknas enligt PK 96:1, 3.2.2 och supplement nr 1 till denna.

$$\mu = \mu_1 - \delta_2 + \delta_3$$

med μ_1 enligt schablon, μ_{1cc} enligt bilaga 1 och δ_2 och δ_3 enligt tabell 3.2.2b.

μ_{1cc} enligt bilaga 1.

Slagningskombination 1 antas enligt följande:

antal slag vid drivningen med fallhöjd $0,4 \text{ m} \leq 8000$ och

antal slag vid stoppslagning med fallhöjd $0,5 \text{ m} \leq 300$.

Pålyp SP2 med betong i kvalitet K60 ⇒ $\mu_{1cc} = 0,8$.

δ_2 och δ_3 enligt tabell 3.2.2b.

	<u>Överpåle och övre skarv</u>	<u>Mellanpåle och undre skarv</u>	<u>Underpåle</u>	<u>Bergsko</u>
Jord- och bergförhållanden:				
Sten och block i jorden ¹⁾ ⇒	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0,1$	$\delta_2 = 0,1$	$\delta_2 = 0$
Gynnsam jordlagerföljd ⇒	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0$
Lutande bergyta ²⁾ ⇒	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0,1$	$\delta_2 = 0$
Kraftig (böjstyv) påle ⇒	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0$
Summa	$\delta_2 = 0$	$\delta_2 = 0,1$	$\delta_2 = 0,2$	$\delta_2 = 0$
Integritets- eller rakhetskontroll:				
Ingen integritets- eller rakhetskontroll planeras ⇒	$\delta_3 = 0$	$\delta_3 = 0$	$\delta_3 = 0$	$\delta_3 = 0$

Anm 1 Sten och block i jorden har enligt grundundersökningen konstaterats endast inom djup $\leq 12,0$ m över berg.

Anm 2 Släntberg bedöms förekomma enligt grundundersökningen.

Reduktionsfaktorer, μ : $\mu = \mu_1 - \delta_2 + \delta_3$

	Överpåle och övre skarv	Mellanpåle och undre skarv	Underpåle	Bergsko
μ_{cc}	$0,8 - 0 + 0 = 0,8$	$0,8 - 0,1 + 0 = 0,7$ ¹⁾	$0,8 - 0,2 + 0 = 0,6$ ²⁾	$0,8 - 0 + 0 = 0,8$
μ_{ct}	$(f_{ct} K (0,8 \times 60) / f_{ct}(K 60) - 0 + 0 \cong 2,19/2,50 = 0,88)$	$(\quad \quad \quad = 0,88)$	$(\quad \quad \quad = 0,88)$	$(\quad \quad \quad = 0,88)$
μ_{cE} ³⁾	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$
μ_{sc}	$0,9 - 0 + 0 = 0,9$	$0,9 - 0,1 + 0 = 0,8$ ¹⁾	$0,9 - 0,2 + 0 = 0,7$ ²⁾	$0,9 - 0 + 0 = 0,9$
μ_{st} ⁴⁾	$0,9 - 0 + 0 = 0,9$	$0,9 - 0 + 0 = 0,9$	$0,9 - 0 + 0 = 0,9$	$0,9 - 0 + 0 = 0,9$
μ_{sE} ³⁾	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$	$1,0 - 0 + 0 = 1,0$

Anm 1 Med godkänd integritets- eller rakhetskontroll ökas dessa värden med ($\delta_3 =$) 0,1.

Anm 2 Med godkänd integritets- eller rakhetskontroll ökas dessa värden med ($\delta_3 =$) 0,2.

Anm 3 För samtliga påldelar gäller att μ_{cE} och μ_{sE} normalt kan väljas = 1,0 (med $\delta_2 = \delta_3 = 0$).

Anm 4 För samtliga påldelar gäller att μ_{st} normalt kan väljas = 0,9 (med $\delta_2 = \delta_3 = 0$).

Jordmaterialdata:

Jordens skjuvhållfasthet, för beräkning av sidomotstånd, bestäms som minsta medelvärdet inom ett jordlager med tjockleken = $l_k \geq 4,0$ m utefter pålens mantelyta. Dimensionerande skjuvhållfasthet beräknas enligt Teknisk beskrivning Väg/geoteknik för väg A1 Ankeborg – Nangijala, Bygghandling del Xy, Objekt nr XXXXXX, upprättad av Undergrundundersökningar i Grönköping KB, daterad 2002 02 11 - se bilaga G.

Krav i bruksgränstillstånd:

$$\sigma_{kant} \leq 0,6 \times f_{cckr} = 0,6 \times \mu_{cc} \times f_{cck}$$

$$\mu_{cc} = 0,8, 0,7 \text{ resp } 0,6, \text{ betong K60} \Rightarrow f_{cck} = 42,5 \text{ MPa.}$$