

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
ROYAL SWEDISH ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

GRÄVPÅLANVISNINGAR

Dimensionering, utförande och
kontroll av grävda, i jorden
gjutna pålar

Stockholm 1979



rapport 58

INNEHALLSFÖRTECKNING

FÖRORD

1 INLEDNING

- 1.1 Anvisningarnas omfattning
- 1.2 Anvisningarnas status
- 1.3 Definitioner
- 1.4 Beteckningar
- 1.5 Grävpålklasser
- 1.6 Gällande normer

2 PROJEKTERING

2.1 Geotekniska undersökningar

2.11 Allmänt

2.12 Omfattning

Jordlager, Berg, Grundvatten, Schaktbarhet och hinder, Omgivningens villkor

2.13 Geoteknisk redovisning

2.14 Beräkning av axiell brukslast

Grundläggning på berg, Lutande bergyta, Påle på berghylla, Grundläggning i friktionsjord, Enskild påle (Spetsburen tryckt påle, Mantelburen tryckt påle, Mantelburen dragen påle) Pålgrupp (Spetsburna tryckta pålar i grupp, Mantelburna tryckta pålar i grupp, Mantelburna dragna pålar i grupp)

2.15 Beräkning av horisontell bärförmåga

Grundläggning i friktionsjord, Enskild påle, Pålgrupp, Grundläggning i kohesionsjord, Enskild påle, Pålgrupp

2.16 Geoteknisk belastning

Negativ mantelkohesion, Horisontell belastning

2.2 Dimensionering av grävpåle

2.21 Allmänt

2.22 Belastningar

2.23 Pålrörelser

Vertikalrörelser, Horisontalrörelser

2.24 Materialkvalitet i pålar

Betong, Armering

2.25 Materialkonstanter

Betong och armering, Omgivande jord

2.26 Materialprovning

Betong, Armering

2.27 Praktiska synpunkter på grävpålars konstruktiva utformning

Val av pålklass, Påldimensionering, Pålplacering, Pålutningar, Toleranser, Anordnande av armering, Formrör

2.28 Grävpåles bärförmåga

2.29 Arbetsritningar

3 UTFÖRANDE

3.1 Allmänt

3.2 Arbetsledning

3.3 Maskinell utrustning

3.4 Arbetsmetod

3.41 Schaktning med arbetsrör

3.42 Schaktning utan arbetsrör

3.43 Behandling av pålbotten

Grundläggning på/i berg, Grundläggning i friktionsjord

3.5 Armering

3.6 Betonggjutning

4 KONTROLL

4.1 Allmänt

4.2 Materialkontroll

4.21 Betong

4.22 Armering

4.3 Utförandekontroll

4.31 Schaktning

4.32 Pålbottenarbete

Grundläggning på berg, Grundläggning i friktionsjord,
Dynamisk förbelastning i friktionsjord

4.33 Armering och betonggjutning

4.4 Kontroll av färdig påle

4.41 Pålläge

4.42 Betong

Sonometrisk kontrollmätning

4.43 Övergångszon påle-berg

4.5 Pålkontroll

4.6 Kontroll genom provbelastning

4.61 Statisk provbelastning

4.62 Dynamisk efterkontroll

FÖRORD

Grävpålanvisningarnas tillkomst

Föreliggande anvisningar är upprättade av ett arbetsutskott inom pålkommissionens grävpålgrupp bestående av:

Bo Berggren (sekreterare), Statens geotekniska institut, Linköping
 Håkan Ehnström, ELU-konsult AB, Stocksund
 Lars Hellman (sammankallande), Statens geotekniska institut,
 Linköping
 Bertil Lindberg, Sänkbrunnar AB, Göteborg
 Björn Lundahl, AB Stabilator, Danderyd

Svenska geotekniska föreningens grundpåkänningskommitté bestående av:

Leif Andréasson, ordf, Statens geotekniska institut, Linköping
 Stig Bernander, AB Skånska Cementgjuteriet, Göteborg
 Bengt Broms, Tekniska högskolan, Stockholm
 Sven Hansbo, Chalmers tekniska högskola, Göteborg
 Bernt Jakobson, Bro
 Ture Olofsson, Statens vägverk, Stockholm
 Roland Pusch, Tekniska högskolan, Luleå
 Sven-Erik Rehnman, Statens planverk, Stockholm
 Per Lennart Svensson, sekr, Statens geotekniska institut, Linköping
 har granskat och accepterat dessa anvisningar.

Genom välvillig medverkan av övriga remissorgan har de frågor anvisningarna omfattar blivit väl penetrerade.

Till stor hjälp har intresserade norska och finska kolleger samt deras veiledning ved fundamenteringsoppgaver resp grovpål-anvisningar, SP0-78, varit.

Grävpålanvisningarna har kunnat utarbetas under en begränsad tidsperiod genom att bl a Statens geotekniska institut ställt medel till förfogande för en gästforskarinsats av grävpålgruppen. Pålkommissionen riktar sitt tack till alla dem som bidragit till att dessa anvisningar kommit till stånd.

Synpunkter på anvisningarna

Anvisningar av detta slag blir självfallet inte fulländade i den första utgåvan. Pålkommissionen sätter därför stort värde på att få synpunkter på innehållet och utformningen av gräv-
pålanvisningarna antingen genom kontakt med någon av arbets-
utskottets ledamöter eller kommissionen direkt under adress:

IVA Pålkommissionen
c/o Statens geotekniska institut
Fack
581 01 LINKÖPING 1

tel: 013/11 51 00

1 INLEDNING

1.1 Anvisningarnas omfattning

I dessa anvisningar definieras grävpåle som en icke jordundantäckande, i jorden gjuten påle. Anvisningarna behandlar endast pålar med diameter 500-2000 mm och med längd större än 3 ggr pålens diameter, dock minst 3 m.

Anvisningarna omfattar dimensionering, utförande och kontroll av spetsburna och mantelburna grävpålar. Regler för bestämning av bärförmågan hos grävpålar i moränlera ingår dock ej.

I tillämpliga delar kan anvisningarna användas för rörpålar med mindre eller större diameter.

Dimensioneringen av grävpålar förutsätter att de geotekniska förhållanden som påverkar pålens bärförmåga klarläggs tillräckligt noggrant. Anvisningar för geotekniska undersökningars omfattning och utförande lämnas.

Grävpåles konstruktiva utformning anpassas till de belastningsförhållanden som blir aktuella. Anvisningar lämnas härför.

Utförande och kontroll av grävpålar kräver specialkunskap. Krav på utförande och kontroll anges.

1.2 Anvisningarnas status

I Svensk byggnorm 1980 (SBN 80) hänvisas till denna rapport. Rapporten visar hur grävpåle godtagbart dimensioneras, utförs och kontrolleras.

1.3 Definitioner

Grävpåle definieras i Tekniska nomenklaturcentralens TNC 59 såsom: jordgjuten påle där hålet för pålen grävs. I TNC 59 återfinns även definitioner av följande ord:

<i>bergdubb</i>	<i>konstruktiv pållängd</i>
<i>brottlast</i>	<i>kontraktans</i>
<i>bäddmodul</i>	<i>krypning</i>
<i>bärförmåga</i>	<i>kärnbörning</i>
<i>bärighet</i>	<i>mantelburen påle</i>
<i>dilatans</i>	<i>negativ mantelfriktion</i>
<i>friktionspåle</i>	<i>plint</i>
<i>friktionsvinkel</i>	<i>probelastning</i>
<i>hydraulisk bottenuppträckning</i>	<i>provpålning</i>
<i>hydrauliskt genombrott</i>	<i>pålavskärning (snivå)</i>
<i>jordgjuten påle</i>	<i>pålhuvud</i>
<i>kohesionspåle</i>	<i>spetsburen påle, stödpåle</i>

För nedanstående ord och benämningar saknas veterligen fastställd nomenklatur och definitioner. I avvaktan på en TNC-behandling tillämpas följande i denna skrift:

arbetsrör (=borrör), skarvade, i botten öppna rör som drivs ned i jorden vid grävpålning

jordskruv (auger), schaktverktyg monterat i änden på en borrarstäng. Vid rotation skruvas jordmassorna in i verktyget

bergförankring, i berg fastinjekterat spännstål med vars hjälp påle spänns mot berg för upptagande av dragkraft

bruksspänning, spänning i bruksstadiet

dynamisk förbelastning, packning av jord under pålspets med t ex fallvikt. Utförs före gjutning av grävpåle

dynamisk provbelastning, provbelastning på påle utförd t ex med fallvikt

geoteknisk belastning, från jorden aktivt verkande last på påle, t ex påhängskraft

gjutrör, rör för betonggjutning

gräpskopa, schaktverktyg som används för att gräva ur arbetsröret
gruspump, schaktverktyg för schaktning under vatten, där en
 uppåtgående kolv suger in schaktmassor i en cylinder med
 backventil i botten

grävpålklass, klassindelning av grävpålar med hänsyn till krav
 på kvalitet, utförande och kontroll

grävpålvägg, stödjande konstruktion av grävpålar gjutna invid
 varandra

hammarbörning, sondering med utrustning för jordbergsondering

kontrollrör, ingjutna rör för bl a kontroll av pålens, pålfotens
 och ev bergets beskaffenhet

kontrollstänger, lätta stänger, ofta slutna aluminiumrör, för
 kontroll av schaktbotten

kritisk last, den last vid vilken krypningen väsentligt tilltar

mammutpump, jektorpump, pump som åstadkommer en uppåtgående
 turbulent vattenström med luftbubblor som suger med sig
 lösa partiklar. Används vid bottenrensning

formrör, kvarsittande rör runt grävpåle vilket säkerställer pålens
 tvärsnitt i lös jord eller förhindrar betongbruk att flyta
 ut

mejsel, arbetsredskap för att spräcka block, lösgöra fast lagrad
 jord eller jämna till bergytan

inträngningsdjup, grävpåles längd i bärande jordlager

neddrivningsarbete, neddrivning av rör till erforderligt djup
 inklusive sprängning av block, planmejsling eller plan-
 sprängning av bergyta samt bottenrensning

pålbotten, jfr pålspets, påles ändyta mot jord eller berg

påldiameter, nominell, för grävpåle räknas med arbetsrörets/
 formrörets ytterdiameter

pålspets, lägsta punkt av påle

slamskopa, schaktverktyg för schaktning i mycket lös jord (dy,
 gyttja) eller under vatten

sonometrisk kontrollmätning, kontroll av färdig påles tillstånd
med hjälp av ultraljud varvid samtidigt sändare sänks ned
i ett kontrollhål och mottagare i annat t ex diametralt
beläget kontrollhål

borrkrona, arbetsrörets nederände, ofta försedd med tänder av
hårdmetall

spettlod, speciellt utformat spett upphängt i lina (wire) för
kontroll av schaktbotten

statisk provbelastning, provbelastning genom påförande av statisk
korttidslast t ex med hjälp av hydraulisk domkraft och mot-
hållsanordning.

1.4 Beteckningar

A,B,C	Pålklasser
a	Acceleration, m/s^2
B	Breddmått, m
D	Påldiameter, m
E_p	Elasticitetsmodul hos pålmaterial, kPa
F	Säkerhetsfaktor
g	Tyngdaccelerationen, m/s^2
h	Jordlagertjocklek, m
K_p, K_s	Jordtryckskoefficienter
k_s	Bäddmodul, kPa/m
L	Pållängd, m
L_1	Inträngningsdjup, m
LL	Betongkonsistens: mycket lättflytande
m	Massa, t
N_{ht}	Sonderingsmotstånd vid viktsondering, hv/20 cm
N_s	Dimensioneringsparametrar
N_{20}	Sonderingsmotstånd vid hejarsondering, slag/20 cm
N_{30}	Sonderingsmotstånd vid Standard Penetration Test (SPT), slag/30 cm
n_h	Bäddmodulfaktor, kPa/m
p	Vätsketryck, kPa
P_{mf}	Påles mantelbärförmåga, MN
p_{mf}	Mantelbärförmåga uttryckt som kraft per ytenhet i tvärsnittet, MPa
p_m	Tillåtet manteltryck uttryckt som kraft per ytenhet i tvärsnittet, MPa
p_s	Kontakttryck mellan påle och jord i bruksstadiet, MPa
p_{sf}	Kritisk spänning, kontakttryck mellan påle och jord vid tilltagande krypning i jord, MPa
q	Trafiklast etc, kPa
q_c	Spetstryck vid trycksondering, MPa
t	Jordlagertjocklek, m
z	Djup, m
δ	Friktionsvinkel, grader
ϕ	Jords inre friktionsvinkel, grader
ρ	Jords skrymdensitet, t/m^3

σ_v'	Effektivt överlagringstryck, kPa och MPa
$\bar{\sigma}_v'$	Effektivt överlagringstryck, medelvärde, kPa
σ_o'	Effektivt överlagringstryck i det bärande jordlagrets övre begränsningsyta, kPa
τ_{fu}	Odränerad skjuvhållfasthet, kPa

Textutformning

All text i rapporten gäller som anvisning men för att förenkla läsningen har allmänna anvisningar skrivits på detta sätt

medan detaljerade anvisningar skrivits i kursiv stil med bredare marginal.

Textstilens utformning skall ej förväxlas med den värdering som åsätts olika textstil i SBN-80.

1.5 Grävpålklasser

Grävpålar indelas i tre kvalitetsklasser, A, B och C, där A är den högsta kvalitetsklassen.

Klassindelningen omfattar den totala pålprodukten dvs dimensionering, utförande och kontroll. De olika krav som ställs i respektive pålklass framgår av texten och tabell 1.5.

Vid val av pålklass skall de funktionskrav som ställs på överbyggnaden beaktas. Grävpåle utformas så att

- den med tillräcklig säkerhet kan ta upp uppkommande laster samt att*
- uppkommande deformationer ligger inom de värden som anslutande konstruktion medger.*

Man bör inte välja högre pålklass än vad som är nödvändigt.

1.6 Gällande norm

Svensk Byggnorm 1980, SBN -80.

TABELL 1.5 Klassindelning av grävpålar. Översikt

Pålklass	Pålar på berg			Pålar i jord		
	A	B	C	A	B	C
1. Axiallast, uppburen last inkl påles egenvikt, begränsas till MN (1 MN = 100 Mp)		15	7,5		5 ¹⁾	3 ¹⁾
2. <u>Geoteknisk undersökning</u> , se 2.1						
.1 Generellt gäller att jordlagerföljd, jordlagrens mäktighet, grundvattennivåer och jordlagrens schaktbarhet skall klarläggas.						
.2 Undersökningspunkternas täthet undersökningspunkter/lastnedföringspunkter, %	25	10	10	100	50	20
Ungefärligt max.avstånd mellan undersökningspunkter, m	10	15	20	- ²⁾	10	15
.3 Bergnivå, se 2.122	x	x	x	x	(x)	
.4 Bergkvalitet, se 2.122	x	(x)				
.5 Lagringstäthet, se 2.121	x ³⁾	x ³⁾	x ³⁾	x	x	x
3. <u>Dimensionering</u> , se 2.2						
Utnyttjande av påkänningar i betong och armering begränsas till, %	100	85	70	100	85	70
4. <u>Utförande</u>						
.1 Betong, utförandeklass, se 2.241	I	I	II	I	I	II
.2 Krav på minimiarmering, se 2.242	x	x		x	x	
.3 Särskilda krav på personal, se 3.2	x	x		x	x	
.4 Särskilda krav på protokollföring, se 4.5	x	x		x	x	
5. <u>Kontroll under arbetet</u>						
.1 Protokollföra jordlager (jordart/mäktighet), se 4.31	x	x		x	x	x
.2 Krav på rensning av pålbotten, se 4.32	x	x	x ⁴⁾	x	x	x ⁴⁾
.3 Protokollföra förloppet vid betonggjutning, se 4.33 och 4.5	x	x	x	x	x	x
6. <u>Kontroll av färdig påle</u> , se 4.4						
.1 Betong, hela pålens längd	x			x		
.2 Betong, huvud och spets	x	x		x	x	
.3 Anslutning betong/berg	x	x	-	-	-	-

1) Kan dock begränsas av deformationsvillkor

2) Varje pålläge undersöks

3) Endast vid horisontalbelastning eller knäckning

4) Lägre krav

2 PROJEKTERING

Vid projektering av byggnadskonstruktion som grundläggs med grävpålar klarläggs de geotekniska och konstruktiva villkoren så att konstruktionen "med betryggande säkerhet kan överföra uppträdande laster under bruksstadiet till underliggande jord eller berg utan att skadliga sättningar uppstår" (SBN 80 23:3).

Målet för projekteringen är att nå en optimal teknisk och säker ekonomisk lösning på grundläggning för aktuell byggnadskonstruktion.

2.1 Geotekniska undersökningar

2.11 Allmänt

Geotekniska undersökningar utförs i sådan omfattning att underlag finns för bestämning av att

- tillräcklig säkerhet mot brott i undergrunden nås under påspets
- uppkommande deformationer får sådan storlek att de kan tolereras i ovanliggande byggnadskonstruktion
- projektets grundläggningskostnad blir rimlig med hänsyn till förhållandena.

Den geotekniska undersökningen skall ge upplysningar om förhållandena på platsen avseende

- jordlager
- berg
- grundvatten
- schaktbarhet och hinder
- jordlagrens förmåga att ta upp pållasten
- omgivningens villkor

Vidare skall den geotekniska undersökningen utföras så att uppkommande speciella belastningar orsakade av geotekniska förhållanden uppmärksammas, t ex negativ mantelfriktion eller sidokrafter på pålar orsakade av rörelser i jorden.

2.12 Omfattning

För ett byggnadsobjekt utförs normalt först översiktliga undersökningar för att klarlägga platsens lämplighet för aktuell byggnad och aktuella grundläggningsalternativ i stort. Vid dessa undersökningar klarläggs jordlagrens art, fasthet och mäktighet samt vid behov grundvattenförhållandena i stort. Detta sker lämpligen genom översiktlig bestämning av bergytans nivå t ex med seismik, glesa sonderingar, identifierande jordprovtagningar och vattenståndsobservationer. De översiktliga undersökningarna utgör normalt ett otillräckligt underlag för en mera ingående bedömning av förutsättningarna för en grundläggning med grävpålar.

I projekteringsskedet krävs fördjupad kunskap om villkoren för grundläggning med grävpålar.

Är grundläggning mot berg aktuell erfordras jordbergsonderingar som klarlägger bergytans nivå, lutningsförhållanden och överlagrande jords ungefärliga fasthet och blockinnehåll. Är djupet till berg stort eller förekommer fasta jordlager som kan förmodas bära aktuella pållaster utförs tryck- eller hejarsondering till erforderligt djup (se figur 2.121). Jordlagrens karaktär bestäms genom att man tar upp prover och undersöker dem.

Undersökningarnas omfattning anpassas till förhållandena på platsen samt till påltyp och pålklass som kan bli aktuell.

I projekterings slutskede, när förfråningsunderlag skall upprättas, omarbetas det geotekniska utlåtandet till programhandling. Härvid framkommer ofta att den geotekniska undersökningen behöver kompletteras för att täcka frågeställningar som uppkommit under projekterings gång eller för att ge ett säkrare underlag vid anbudsräkningen. Lämplig omfattning av den geotekniska undersökningen i detta skede framgår av tabell 1.6 och nedan. Ett gott geotekniskt underlag leder normalt till enklare och säkrare upphandling och mindre oförutsedda problem och kostnader under byggskedet.

2.121 Jordlager

Den geotekniska undersökningen skall klarlägga jordlagrens typ, horisontala utsträckning, tjocklek och hållfasthet.

I lösa jordlager (lera, silt, löst lagrad friktionsjord) utförs sonderingar med lätt utrustning (vikt- och trycksondering) och i fastare jordlager med tyngre utrustning (hejarsondering ev jordbergsondering. Även trycksondering med 15 å 20 kN neddrivningskraft kan vara lämplig).

Lerors skjuvhållfasthet bestäms direkt i jorden genom vingson- dering eller på upptagna jordprover (konprovning m m).

Friktionsjordars lagringstäthet kan bestämmas med ledning av vikt tryck-, hejarsondering, pressometer eller tryckplattförsök. Pro- tagning skall alltid utföras i friktionsjorden för klassificering av jorden och kan utnyttjas för andra laboratorieundersökningar t ex triaxial- och skjuvboxförsök.

Friktionsjordars fasthet kan bedömas med hjälp av diagram 2.12⁷ där dimensioneringsparametern N_s erhålls. N_s har ungefär samma storlek som jordens friktionsvinkel uttryckt i grader. De sam- band mellan olika sonderingsmetoder som anges i diagrammet avse- gälla för ens- och mellangraderad jord och skall betraktas som ungefärliga.^{x)} Undersökningar finns som visar att sambanden är beroende på i vilken jordart sonderingarna utförs. För att öka tillförlitligheten hos diagrammet rekommenderas att sondering utförs med två olika metoder.

Normalt bör hejarsondering, metod A, vara huvudmetod eftersom det krävs att sonderingen skall nå ned minst 3 ggr påldiametern under pålens spets. Hejarsonderingen bör utföras med registrering av stångfriktionen. Med vikt- eller lätt trycksondering är ofta omöjligt att nå tillräckligt djup. Vikt- och lätt trycksondering är emellertid värdefulla för att säkrare bedöma jordlagren längs pålens mantelyta och vid mantelburna pålar i jordlagren under pålspetsen.

^{x)} För månggraderad jord är N_s 5-10 enheter högre. Jorden dock ej vara språnggraderad. För finjordsrik bottenmorän man utgå från sand-kurvan med ev tillägg för månggrade

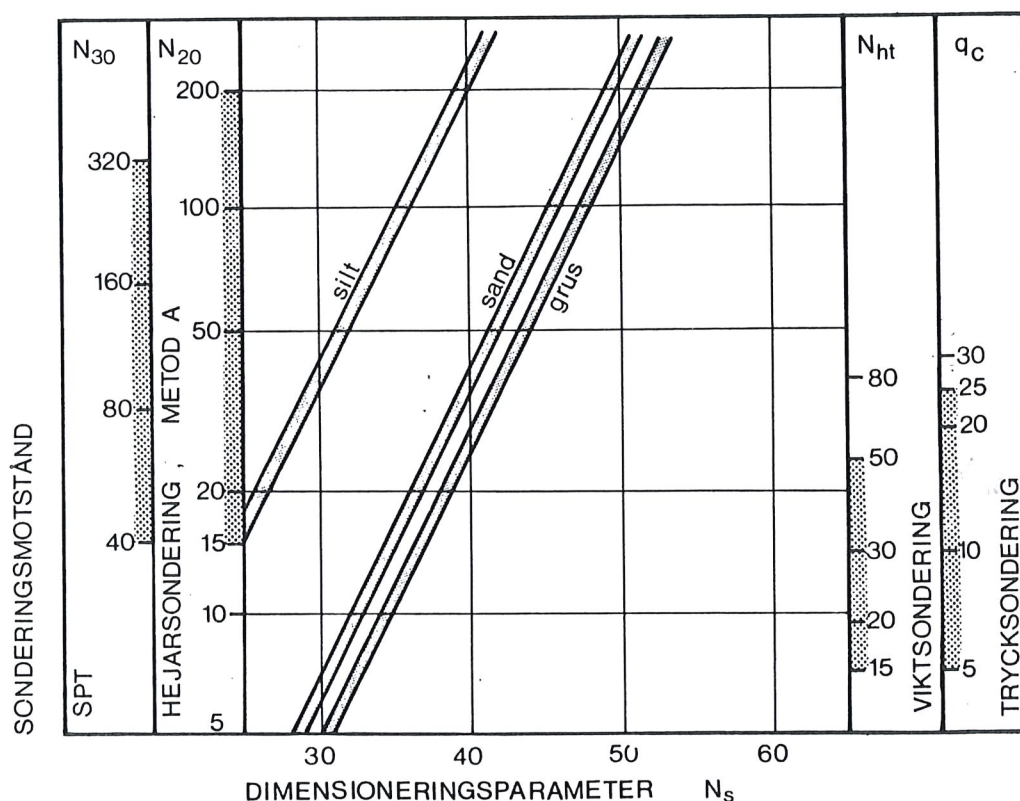


DIAGRAM 2.121 Samband mellan sonderingsmotstånd och dimensioneringsparametern N_s .

N_{30} = antalet slag för 30 cm sjunkning vid SPT

N_{20} = antalet slag för 20 cm sjunkning vid hejarsondering, metod A

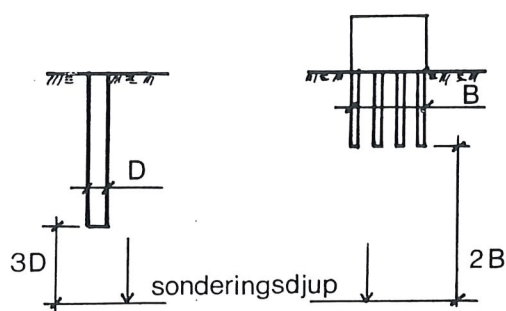
N_{ht} = antalet halvvarv för 20 cm sjunkning vid viktsondering

q_c = spetstrycket i MPa vid trycksondering
= lämpligt giltighetsområde

För månggraderad jord är N_s 5-10 enheter högre. Jorden får dock ej vara språnggraderad. För finjordsrik bottenmorän kan man utgå från sand-kurvan med en tillägg för månggradering.

I diagrammet anges lämpliga giltighetsområden för de olika sonderingsmetoderna. Det framgår exempelvis att om vikt- och hejarsondering utförs i jord där sonderingsmotstånden är $N_{ht} = 20 \text{ hv}/20 \text{ cm}$ och $N_{20} = 10 \text{ sl}/20 \text{ cm}$ större tillit bör sättas till viktsonderingen.

Sonderingsdjupet måste vara tillräckligt för att pålarnas bärförmåga med hänsyn till jorden säkert skall kunna bedömas. Detta innebär att för enskild påle skall sonderingen drivas till djupet minst 3 ggr påldiametern under pålspetsen och vid flera tätt stående pålar (under byggnad, brolandfäste o dyl) till djupet 2 ggr pålgruppens bredd, se figur 2.121.



FIGUR 2.121 Erforderligt sonderingsdjup

Bergytans nivå är i många fall viktig att klarlägga t ex när man skall avgöra om grävpålar till berg eller till jord blir ekonomiskt gynnsammast eller när man vill vara säker på att grävpålar av vald längd inte omväxlande kommer att grundläggas på jord och berg.

2.122 Berg

Den geotekniska undersökningen skall klarlägga

- bergytans nivå och ungefärliga lutning
- bergart
- uppgifter om sprickzoner och slag.

Vid grundläggning på berg anpassas omfattningen av bergundersökningarna till byggnadsobjektets känslighet, pålastens storlek och bergmaterialet. I pålklass A skall bergets kvalitet alltid klarläggas och i pålklass B i sådana fall då indikationer finns att bergets kvalitet har betydelse för grävpålarnas bärförmåga.

Bergnivån bestäms översiktligt med seismik (varvid gånghastighetens värde och variation ger värdefulla indikationer om bergets egenskaper, se 2.122) och detaljerat genom jordbergsondering varvid sonderingen drivs 3 ä 5 m in i berg. Normalt bör jordbergsonderingar utföras med maximalt ca 20 m punktavstånd, se även tabell 1.5. Sonderingen kan utföras med kedjematad hammarborr.

Till stor del består berggrunden i Sverige av urbergarter med god bärförmåga. Bergets hållfasthets- och deformations-egenskaper behöver därför klarläggas endast i undantagsfall och endast när grävpålar grundläggs på berg. Vid grundläggning på mjukare bergarter t ex skiffer, kalksten, och sandsten görs särskild utredning i pålklass A och B och undantagsvis vid behov i klass C.

Bergets sprickighet behöver normalt inte klarläggas såvida inte resultatet av jordbergsonderingarna påvisar att berget innehåller slag. Vid speciellt känsliga fall, t ex stora laster och brant lutande berg med lutande slag görs särskild utredning.

2.123 Grundvatten

Den geotekniska undersökningen skall normalt klarlägga

- grundvattennivåer
- grundvattnets beskaffenhet.

Grundvatten kan förekomma med olika trycknivå i olika jordlager. Speciellt viktigt är att klarlägga grundvattentrycken i skiktad jord med varierande permeabilitet i vilket det

vid schaktning kan föreligga risk för hydraulisk bottenupptryckning. I jordlager med stark grundvattenströmning kan speciella åtgärder erfordras vid gjutning av grävpåle (t ex gjutning med kvarsittande foderrör).

Föreligger misstanke att grundvatten är aggressivt görs särskild utredning.

2.124 Schaktbarhet och hinder

Den geotekniska undersökningen skall klarlägga väsentliga uppgifter för schaktbarhetsbedömning, t ex jordens beskaffenhet och förekomst av vatten.

Viktiga uppgifter på jordens beskaffenhet är i dessa sammanhang

- lagringsstäthet
- kornstorleksfördelning
- sten- och blockhalt

Flytjordsbeteende har stor betydelse för schaktbarheten och skall därför särskilt anges.

Bestämning av sten- och blockhalt vid geotekniska undersökningar kan normalt endast utföras ytligt i provgropar. Av sonderingsstoppmarkeringar, genomborrade block, moränprovers benämning (grusig morän, siltig morän, se vägverkets "Byggnadstekniska anvisningar", BYA 311:7) kan emellertid viktig information om sten och blockförekomst erhållas.

Av den geotekniska undersökningen skall vidare framgå övriga hinder som finns på och i jorden, t ex grundrester, ledningar, och kablar.

2.125 Omgivningens villkor

Nuvarande och framtida inverkan av omgivningen på aktuellt byggnadsobjekt och grundläggningsarbetenas påverkan på omgivningen beaktas vid val av grundläggningsmetod. Underlag härför skall därför ingå i den geotekniska undersökningen.

Faktorer som måste beaktas vid grundläggningsarbetena är:

- *omgivande jordlagars stabilitet vid horisontala och vertikala belastningar samt påtvingade rörelser*
- *omgivande byggnadsverks grundläggningssätt och känslighet för deformationer.*

2.13 Geoteknisk redovisning

Den geotekniska redovisningen skall omfatta de parametrar, som erfordras för bedömning av grävpåles bärförmåga med hänsyn till jord och berg. Vidare skall såväl totala som differentiella sättningar hos konstruktionen kunna beräknas på redovisat underlag. Utredningen görs först översiktlig och kompletteras senare att gälla vald påltyp, grundläggningsnivå, sättning och belastning.

Påles bärförmåga i jord kan beräknas enligt kapitel 2.14.

Vid beräkning av bärförmåga skall beaktas inverkan av påhängskrafter enligt kapitel 2.161.

Normalt ställs inga krav att lämna speciella föreskrifter beträffande arbetenas utförande. Dock skall alltid risken för hydraulisk bottenuppträckning noggrant utredas och anges samt om åtgärder såsom vattenövertryck fordras inom arbetsröret. Vid projekteringen skall också avgöras om formrör erfordras.

Där förhållandena så fordrar skall innan arbetenas påbörjande utredas och anges

- schaktningsförfarande
- pålarnas ordningsföljd vid installation och centrumavstånd
- behov av försprängning
- störning av omgivningen.

Schaktningsförfarande

Schaktningsförfarandet bestäms bl a av kravet på bottenuppluckring och om formrör erfordras. Om risken för bottenuppreckning är stor kan schaktning under t ex bentonit-suspension erfordras.

Pålarnas ordningsföljd vid installation och centrumavstånd

Ordningsföljden vid pålarnas installation planeras så att närbelägna pälars bärförmåga inte skadas och så att den i jord gjutna betongen får tillräcklig hållfasthet. Om grävpåles centrumavstånd från redan gjuten påle är mindre än 2D bör dess tillverkning inte påbörjas förrän den gjutna betongen har erhållit hållfastheten lägst 6 MPa.

Behov av försprängning

När arbetsröret drivs ned kan det stöta på sten och block i de olika jordlagren. Neddrivningsarbetet kan förenklas om man i förväg borrar och spränger sådana block och vid lutande bergyta pallspränger den.

Förekommer block skall anges om försprängning får utföras.

Störning av omgivningen

I samband med neddrivningsarbetet kan, på grund av sten- och blockförekomst, flytjord eller stor finjordshalt, neddrivningen av arbetsröret försvaras.

Om störningar från arbetsröret vid kraftigt neddrivningsarbete utgör risk för omgivningen skall detta anges.

Vid sprängningsarbeten bör svängningshastigheten i närbelägen påle ej överstiga 120 mm/s. För närbelägna byggnader bestäms tillåten svängningshastighet i varje särskilt fall.

2.14 Beräkning av axiell brukslast

2.141 Grundläggning på berg

Berggrunden i Sverige består i huvudsak av urbergarter (t ex granit och gnejs) vars hållfasthet normalt är högre än betongens hållfasthet. Betongens tryckhållfasthet (25-45 MPa) är således normalt avgörande för tillåten belastning på påle. För påle nedförd till berg får endast lastöverföringen till berg tillgodoräknas.

Påle som borrar in i berg överför även last via sidoytorna mot berg. I berg utan stora sprickor och slag får denna typ av lastöverföring tillgodoräknas.

Storleken av tillåten axiell pållast och tryckpåkänning bestäms av

- kvaliteten hos kontaktytan mot berg
- förekomst av slag i berget nära pålspetsen
- bergartens hållfasthet
- bergdubbning där bergkvaliteten är otillräcklig
- bergytans lutning
- om påle hamnat på berghylla.

Följande kvalitetskrav ställs inom olika nivåer av tillåten pållast och tillåten tryckpåkänning:

1. >15 MN resp >8 MPa (endast i pålklass A)

Före grävpålinstallationen sonderas 3-5 m in i berg i varje pålläge. Kärnprovtagning utförs vid misstanke om inhomogent berg.

Vid kärnborrning (varje påle förses med två kontrollrör) i färdig påle får endast sporadisk mängd grovkornig jord finnas i bergets hålor och ojämnheter, se 4.43.

2. 7,5-15 MN resp 5-8 MPa (i allmänhet pålklass B)

Vid kärnborrning i färdig påle enligt ovan får bergytan vara täckt av högst 30 mm grovkornig jord.

3. $<7,5$ MN resp <5 MPa (i allmänhet påklass B och C)

Vid kärnborrning (ev hammarborrning) i färdig påle enligt ovan får bergytan vara täckt av högst 50 mm grovkornig jord.

Den grovkorniga jorden som kan accepteras ligga kvar är den grövsta grusfraktionen, 6-20 mm, eller grövre material, som inte följer med vid rensning med mammut-pump.

Uppstår tveksamhet om bergartens hållfasthet görs bestämning av bergets tryckhållfasthet.

Tillåten belastning kan med hänsyn till bergmaterialet sättas till 0,1 ä 0,2 ggr bergets tryckhållfasthet.

2.1411 Lutande bergyta

Den enligt 2.141 beräknade tillåtna pållasten och tryckpåkänningen förutsätter att vissa krav ställs beträffande bergytans lutning och friktionsjordens fasthet och tjocklek. När bergytan lutar $\leq 15^\circ$ (vinkeln mellan pålens axel och normalen mot bergytan) kan skjuvkraften antas överföras till berget via friktion under förutsättning att bergytan är helt ren. Om bergytans lutning är $> 15^\circ$ skall det på bergytan finnas friktionsjord till minst den tjocklek som anges i Tabell 2.1411. Om bergytans lutning är $> 30^\circ$ eller om friktionsjordens tjocklek är mindre än som anges i Tabell 2.1411 avjämnas bergytan till den i tabellen anvisade lutningen.

Är tillåten pållast $< 7,5$ MN och tillåten tryckpåkänning < 5 MPa får erforderlig jordlagertjocklek enligt Tabell 2.1411 reduceras med 1,0 m, dock lägst till 0,5 m.

Kan bergytan ej rensas helt vid arbete under vatten måste berg-mejsling tillgripas.

TABELL 2.1411 Tillåten lutningsvinkel hos den helt rensade bergytan när grävpåle sidostöttas av den på bergytan liggande friktionsjorden.

Bergytans lutning, grader	Jordlagrets erforderliga tjocklek, m		
	$N_s > 35$	$N_s > 45$	$N_s > 55$
20	2,5	1,5	1,0
25	3,0	2,0	1,5
30	3,5	2,5	2,0

2.1412 Påle på berghylla

Om påle misstänks hamna på berghylla utreds stabiliteten.

2.142 Grundläggning i friktionsjord

Grävpåles bärförmåga med hänsyn till jorden bestäms så att erforderlig säkerhet mot brott i undergrunden erhålls och så att uppkommande deformationer ej överstiger uppställda krav.

Finns risk för bottenuppluckring anpassas utförande och tillåten last härtill.

2.1421 Enskild påle

Axiell bärförmåga beräknas för tryckt påle med hänsyn till spetslast eller mantellast eller kombination av spets- och mantellast. För dragen påle beräknas bärförmågan med hänsyn till mantellast och eventuella förankringar.

2.14211 Spetsburen tryckt påle

Med spetsburen påle avses en påle som överför påförd last i huvudsak genom pålspetsen. Vid större inträngningsdjup i friktionsjord (längd av påle i fast jord, se Definitioner 1.4) erhålls mindre sättning av pålen till stor del beroende på lastöverföring via pålens mantelyta i detta jordlager.

Beräkning av axiell brukslast baseras på en tillåten påkänning med hänsyn till sättning vilken kan bestämmas enligt nedanstående schema.

- a) Medelvärde av sonderingsmotståndet (hejar-, vikt- eller trycksondering eller Standard Penetration Test - SPT) bestäms i det bärande jordlagret till ett djup 3 ggr pålens diameter D under pålspetsnivå.
- b) Ur Diagram 2.121 erhålls dimensioneringsparametern N_s .
Kännedom om jordart erfordras.
- c) Med Diagram 2.14211a beräknas den kritiska spänningen med hänsyn till inträngningsdjup, påldiameter och effektivt överlagringstryck i grundläggningsnivån.
- d) Med Diagram 2.14211b beräknas den bruksspänning p_s som kan tillföras pålen utan att ett visst krav på maximal sättning överskrids. Säkerheten mot brott bör vara större än 5, dvs p_s/p_{sf} mindre än 0,2. Diagrammet gäller vid inträngningsdjup större än eller lika med påldiametern.
- e) Den beräknade sättningen antas gälla för ett jordlager under pålspetsen som är större än påldiametern D . Är lagret mindre än påldiametern, $t < D$, interpoleras rätlinjigt så att sättningen $s = 0$ vid jordlagertjockleken $t = 0$.

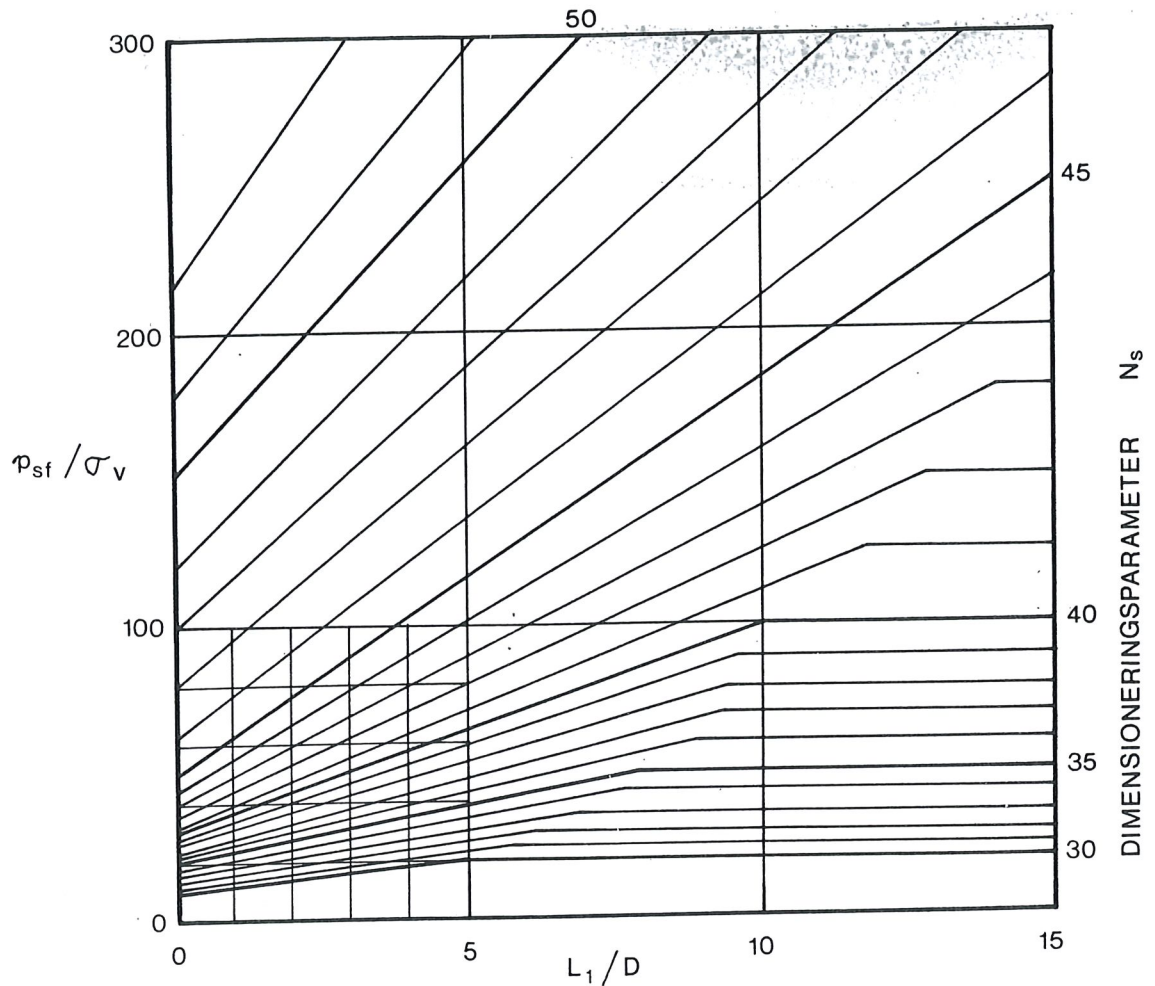


DIAGRAM 2.14211a Samband mellan kritisk spänning vid spets p_{sf} , effektivt överlagringstryck vid pålspets σ_v' , inträngningsdjup L_1 och påldiameter D för olika värden på dimensioneringsparametern N_s .

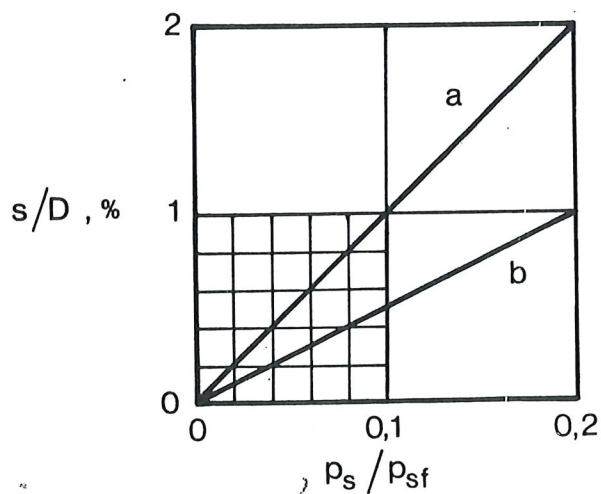


DIAGRAM 2.14211b Samband mellan sättning, s , påldiameter D , statisk bruksspänning vid spets p_s och kritisk spänning vid spets p_{sf} vid olika värden på dimensioneringsparametern N_s . Kurva a gäller för ens- och mellangraderad jord vid $N_s < 35$ och för månggraderad jord med $N_s < 45$. Kurva b gäller $N_s > 45$ resp $N_s > 55$.

2.14212 Mantelburen tryckt påle

Pålens mantelbärande förmåga bestäms ur ekvationen

$$P_{mf} = \bar{\sigma}_V' \cdot K_S \cdot \tan \delta \cdot \pi D \cdot L_1 \quad (1)$$

där $\bar{\sigma}_V'$ = medelvärde av effektivt överlagringstryck i det bärande jordlagret

K_S = jordtryckskoefficient

δ = friktionsvinkel

D = pålens diameter

L_1 = inträngningsdjup i bärande jordlager

Friktionsvinkeln δ sätts lika med jordens friktionsvinkel ϕ vid grävpåle gjuten mot jord (återvunnet arbetsrör). Vid kvarlämnat arbetsrör eller formrör sätts $\delta = \phi/2$.

Om pålen har konstant tvärsnitt kan uttrycket (1) ovan omformas till

$$\frac{P_{mf}}{\bar{\sigma}_V'} = \frac{L_1}{D} \cdot 4K_S \tan \delta \quad (2)$$

där P_{mf} = mantelbärförmåga uttryckt som kraft per tvärsnitts-yta hos pålen

Uttrycket (2) gäller för inträngningsdjupet $L_1 \leq 10D$. Vid större inträngningsdjup, $L_1 > 10D$ erhålls

$$\frac{P_{mf}}{\bar{\sigma}_V'} = \frac{L_1}{D} 4K_S \tan \delta \left[1 - \left(1 - \frac{\sigma_0'}{\bar{\sigma}_V'} \right) \left(1 - \frac{10D}{L_1} \right)^2 \right] \quad (3)$$

där σ_0' = effektivt överlagringstryck vid ytan av det bärande jordlagret.

I Diagram 2.14212 redovisas tillåtet manteltryck p_m beräknat enligt uttrycken (2) och (3) för olika värden på dimensioneringsparametern N_S . Det har antagits att dimensioneringsparametern N_S är av samma storlek som jordens inre friktionsvinkel ϕ . Säkerhetsfaktorn F på mantelbärförmågan P_{mf} har satts till 1,0 vid friktionsvinkeln 30° och 2,0 vid 60° . Jordtryckskoefficienten K_S

har antagits till 0,1 vid friktionsvinkeln 30° och 2,8 vid 60° .

Full mantelbärförmåga kan antas uppstå efter 5 mm förskjutning.

Mantelbärförmågan kan bestämmas noggrannare genom analys grundad på t ex pressometerförsök.

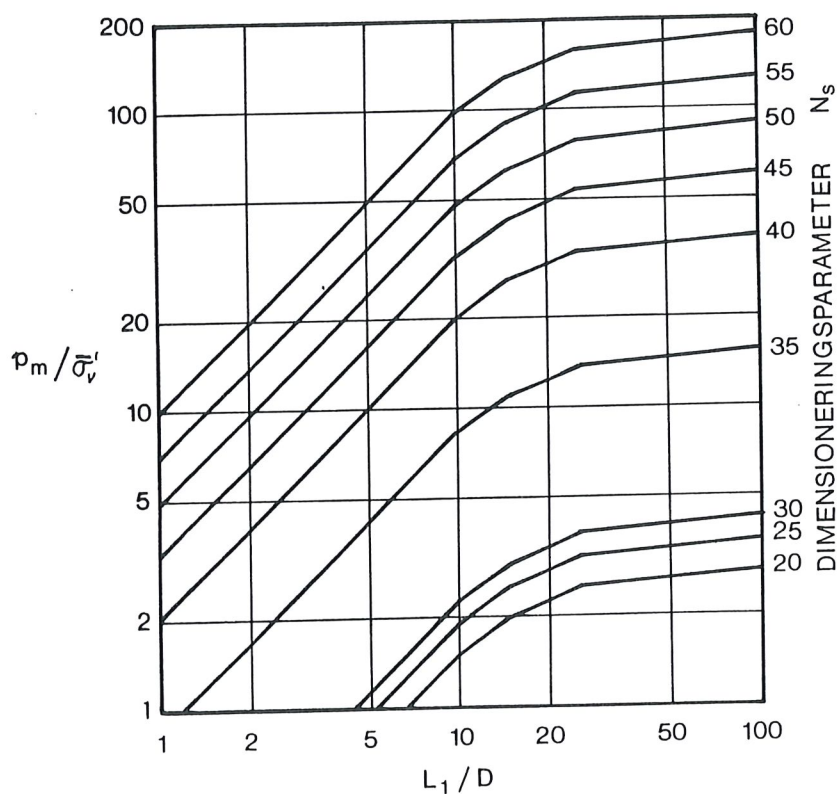


DIAGRAM 2.14212 Samband mellan tillåtet manteltryck p_m , effektivt överlagringstryck $\bar{\sigma}'_v$ (medelvärde), inträngningsdjup L_1 och påldiameter D för olika värden på dimensioneringsparametern N_s . Pålen förutsätts gjuten mot jord. Tillåtet manteltryck är uttryckt som kraft per tvärsnittsyta hos pålen. Diagrammet gäller för $\sigma'_0 = 0$.

2.14213 Mantelburen dragen påle

Mantelbärförmågan beräknas som för tryckt påle enligt 2.14212. Tillåten last för dragen påle får uppgå till max 50% av tillåten last för tryckt mantelburen påle. Därutöver får egenvikt av påle medräknas.

2.1422 Pålgrupp

Bärförmåga och sättning hos pålgrupp som helhet kontrolleras för grupp där centrumavståndet mellan pålar är mindre än 6 ggr påldiametern.

2.14221 Spetsburna, tryckta pålar i grupp

Beräkningen delas upp i två delar. Dels beräknas bärförmåga och sättning för varje enskild påle och dels för pålgruppen som helhet. Pålgruppen fungerar därvid som en fiktiv påle med fiktiv diameter. Beräkningen kan utföras enligt principer i kap 2.14211 med de ändringar och tillägg som följer nedan. I Figur 2.14221 anges vissa beräkningsförutsättningar.

a) Enskilda pålar

Beräkning sker enligt 2.14211, se Figur 2.14221.

b) Pålgruppen

Beräkning sker enligt 2.14211. Medelvärde av sonderingsmotsståndet väljs inom zon B med tjockleken $\frac{B_1+B_2}{2}$, inom vilken zon sättningen förutsätts ske. Den fiktiva pålen med diametern

$$D_{\text{fiktiv}} = 2 \sqrt{\frac{B_1 B_2}{\pi}}$$

belastar överytan av zon B med trycket

$$P_{\text{grupp}} = \frac{\sum P_{\text{påle}}}{\frac{\pi}{4} \left(D_{\text{fiktiv}} + \frac{c_1 + c_2}{2} - D \right)^2}$$

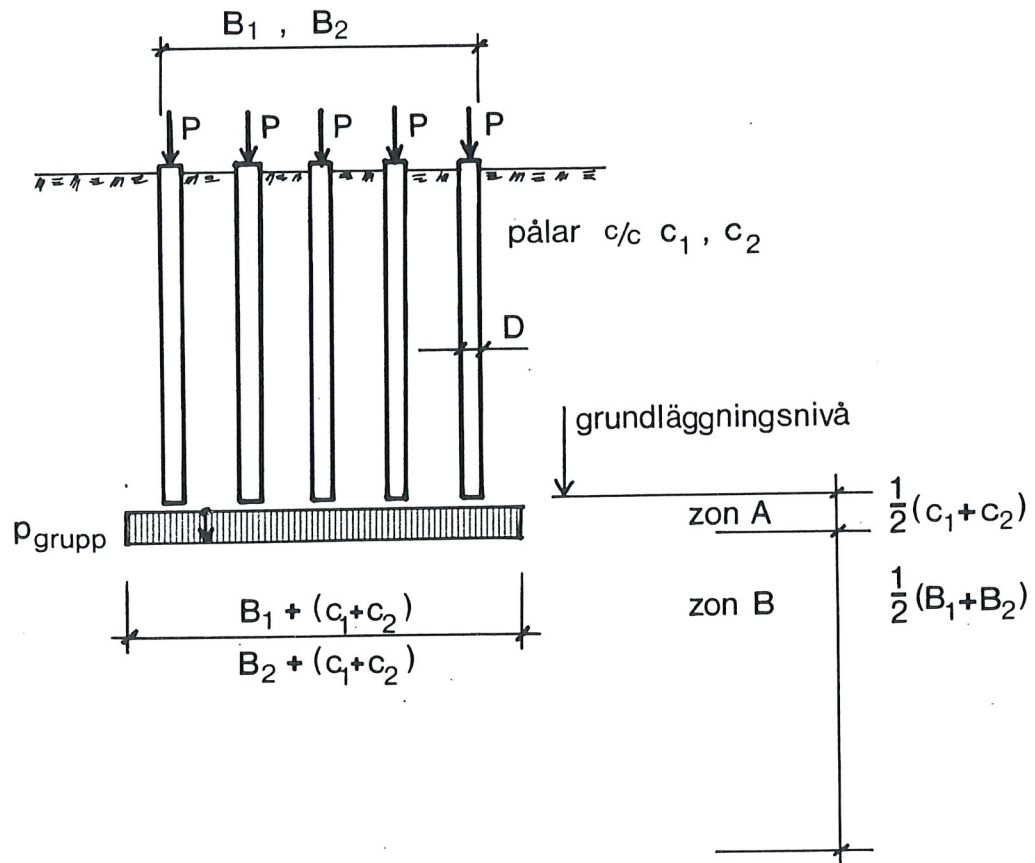
där B_1, B_2 = pålgruppens yttermått

$P_{\text{påle}}$ = last från enskild påle

c_1, c_2 = pålars c/c-avstånd i 1- och 2-riktning

D = enskild påles diameter

Vid mindre tjocklek av zon B än $\frac{B_1+B_2}{2}$ interpoleras rätlinjigt så att sättningen är 0 för tjockleken 0.



FIGUR 2.14221 Pålgrupp. Beräkningsförutsättningar för bestämning av bärförmåga och sättning.

2.14222 Mantelburna, tryckta pålar i grupp

Mantelbärförmågan beräknas som den minsta av

- a) summan av enskilda pålars bärförmåga enligt 2.14212
- b) bärförmåga för pålgruppen betraktad som en enhet.

Bärförmågan enligt b) beräknas med en fiktiv påldiameter

$$D_{\text{fiktiv}} = \frac{2(B_1+B_2)}{\pi}$$

Friktionsvinkeln δ sätts lika med jordens friktionsvinkel ϕ vid gjutning mot jord (återvunnet arbetsrör). Dimensioneringsparametern N_s kan antas ha samma storlek som jordens friktionsvinkel ϕ uttryckt i grader. I övrigt sker beräkningen enligt 2.14212.

2.14223 Mantelburna, dragna pålar i grupp

Tillåten centrisk dragkraft på pålar i grupp beräknas som den minsta av:

- a) summan av de enskilda pålarnas dragkraftupptagande förmåga
- b) dragkraftupptagande förmåga för gruppen som helhet.

Excentricitet hos draglasten beaktas.

Mantelbärförmågan för enskild påle beräknas som för tryckt påle enligt 2.14212. Tillåten last enligt alt a) för centriskt dragen pålgrupp får uppgå till max 50% av summan av de enskilda tryckta pålarnas tillåtna mantellast. Egenvikt av pålar medräknas.

I alternativ b) beräknas mantelbärförmågan som för tryckt pålgrupp enligt 2.14222 alt b). Tillåten last för centriskt dragen pålgrupp får uppgå till max 50% av tillåten last för tryckt mantelburen pålgrupp. Egenvikt av pålar och jord inom pålgruppens begränsningsyta medräknas.

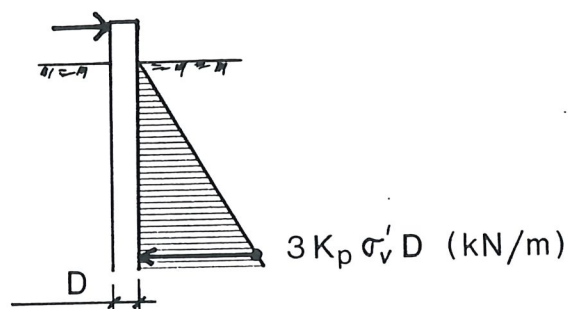
2.15 Beräkning av horisontell bärförmåga

Tillåten sidokraftöverföring från påle till jord anpassas till påles sidorörelseförmåga och jordens sidokraftöverförande förmåga.

2.152 Grundläggning i friktionsjord

2.1521 Enskild påle

Beräknat sidomotstånd får högst uppgå till de enligt figur 2.1521 framräknade brottstadivärdena.



K_p = jordtryckskoefficient

$$= \tan^2 (45 + \phi/2)$$

ϕ = jordens friktionsvinkel

σ'_v = effektivt överlagringstryck, kPa

D = påldiameter, m

FIGUR 2.1521 Jordens maximala sidomotstånd i friktionsjord

*Samband mellan sidokraft och sidorörelse kan bestämmas
t ex med bäddmodul teorin, se kapitel 2.252.*

2.1522 Pålgrupp

Vid tätt stående pålar måste i kapitel 2.252 angivna bäddmoduler reduceras.

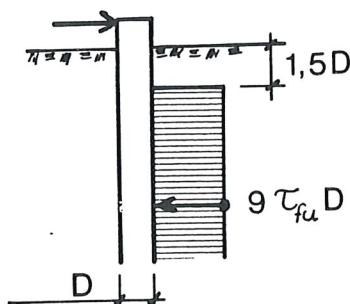
Pålar tvärs kraftriktningen: Vid c-avstånd mellan pålar större än $2,5 D$ görs ingen reduktion. Vid mindre c-avstånd än $2,5 D$ antas att pålarna verkar som en sammanhängande vägg.

Pålar i kraftriktningen: Vid c-avstånd mellan pålar större än $8 D$ görs ingen reduktion. Vid c-avståndet $3 D$ reduceras till 25% av ursprungsvärdena. Däremellan utförs rätlinjig interpolation.

2.153 Grundläggning i kohesionsjord

2.1531 Enskild påle

Beräknat sidomotstånd vid korttidsbelastning får högst uppgå till de enligt figur 2.1531 framräknade värdena.



FIGUR 2.1531 Jordens maximala sidomotstånd i lera

Sidomotståndet vid långtidsbelastning kan endast upptas i tillräckligt överkonsoliderad kohesionsjord. Detta belastningsfall utreds då speciellt.

2.1532 Pålgrupp

Anvisningar i 2.1522 gäller även för kohesionsjord. För pålgrupp som korttids- resp långtidsbelastas gäller vad som anges för enskild påle ovan, 2.1531.

2.16 Geoteknisk belastning

Med geoteknisk belastning förstås en belastning från omgivande jordlager som påverkar en påle eller pålgrupp.

Sådan geoteknisk belastning är t ex negativ mantelkohesion och horisontalbelastning från jord mot påle i slänt.

2.161 Negativ mantelkohesion

Om lösa jordlager som omger påle sätter sig t ex på grund av att marken fylls upp utsätts pålen för en nedåtriktad påhängskraft. Excentriska påhängskrafter kan fås på pålen om betong flyter ut i omgivande jord vid gjutning av pålen.

Storleken av påhängskraften kan, om ej annat påvisas riktigt, beräknas vid en antagen skjuvspänning av 0,7 ggr lerans odränerade skjuvhållfasthet eller vid friktionsjord en skjuvspänning beräknad på grundval av aktuell effektivspänning och inre friktionsvinkel hos jorden. Se även Svensk Byggnorm 1980.

2.162 Horisontell belastning

Påle i slänt kan påverkas av rörelse i slänten varvid en horisontalbelastning uppstår mot pålen. I det geotekniska utlåtandet anges om påle utsätts för sådan horisontalbelastning samt storleken av belastningen.

2.2 Dimensionering av grävpåle

2.21 Allmänt

Vid projektering och dimensionering av grävpålar klarläggs samtliga laster som kan komma att påverka pålarna från såväl överbyggnad som från omgivande jord. Olika belastningsfall som kan uppträda under byggnadens uppförande och efter färdigställandet beaktas, exempelvis kan omgivande jord belasta pålarna med vertikala påhängskrafter, se 2.16.

Överbyggnad och pålar betraktas vid dimensioneringen som en gemensam konstruktionsenhet med de styvheter och inspänningsförhållanden respektive element har. Effekten av omgivande jords styvhet kring pålen beaktas, se 2.252.

Vid dimensionering tas hänsyn till att avvikelser i pållägen och uppträdande rörelser hos pålarna ger upphov till tilläggs-spänningar. Färdiggjutna pålars lägen mäts därför in, se 4.41.

2.22 Belastningar

Laster från överbyggnaden beräknas enligt gällande bestämmelser och uppställda funktionskrav.

Omgivande jord kan belasta påle i form av ensidigt jordtryck, negativ mantelfriktion, last från tjäle m m. Sådan last och om den skall betraktas som normal eller exceptionell, skall framgå av geotekniskt utlåtande, jfr 2.16.

Om påle påverkas av stora lastvariationer (rörlig last/ständig last) eller av dynamiska laster beaktas detta vid beräkning av jordens bärförmåga och val av säkerhetsfaktor.

2.23 Pålrörelser

Överbyggnadens krav på begränsning av pålrörelser och jordens krav på deformationer för att vertikala och horisontala laster skall kunna överföras till jorden från de enskilda pålarna måste alltid fastläggas vid dimensionering.

2.231 Vertikalrörelser

Rörelser av axiella laster är beroende av de geotekniska förhållandena, pålens utförande (bottenrensning, formrör m m) och pålens elastiska och plastiska sammantryckning.

Uppträdande vertikalrörelse hos enskild påle skall beaktas vid dimensionering av överbyggnad och angränsande pålar.

2.232 Horisontalrörelser

Rörelser av horisontala laster är beroende av de geotekniska förhållandena och pålens inspänningsförhållanden i överbyggnaden.

Uppträdande horisontalrörelse hos påle beaktas vid dimensionering av överbyggnad och pålar.

Exempelvis kan tjälad jord ge upphov till tvångskrafter i såväl påle som överbyggnad.

Den axiella bärförmågan hos påle kan påverkas av uppträdande horisontalrörelser, se 2.16.

2.24 Materialkvalitet i pålar

2.241 Betong

Påle klass A och B Btg I, K 300-450, LL

Påle klass C Btg II, K 250, LL

LL = mycket lättflytande, sättmått 15-20 cm

Tillsatsmedel för fördröjning av betongens hårdnande bör som regel föreskrivas. Vid gjutning under vatten skall cementhalten vara minst 400 kg/m^3 . Maximal stenstorlek väljs normalt till 32 mm, vid tät armering begränsas dock storleken till 16 mm.

Vid gjutning mot täta formrör eller mot leror där den horisontella avvattningen av betongen är förhindrad kan vattenreducerande tillsatsmedel övervägas för att undvika kanalbildning och cementutvaskning vid betongmassans konsolidering.

Exempel på benämning: Betong I K 350 LL, retarderande tillsatsmedel för fördröjning 4-6 tim.

2.242 Armering

Pålar i klass A och B utförs med armering men pålar i klass C får utföras oarmerade.

Armerade pålar utförs med $\mu_{min} = 0,4\%$ av pålarean. Centrumavstånd mellan längsgående stänger får ej överstiga 400 mm. Minsta täckskikt till omslutande byglar skall utgöra 80 mm vid gjutning mot jord och 50 mm vid gjutning mot formrör.

2.25 Materialkonstanter

2.251 Betong och armering

Materialkonstanter för dimensionering väljs enligt gällande normer.

2.252 Omgivande jord

Vid beräkning av påles elastiska inspänning i grunden ansätts farligaste inverkan av bäddmoduler enligt Tabell 2.252 såvida annat inte föreskrivs i geotekniska utlåtandet.

Vid pålar med litet inbördes avstånd reduceras bäddmodulen enl 2.1522.

Kontroll skall ske att beräknat jordtryck mot påle ej överskrider brott i omgivande jord beräknat enligt 2.1521 resp 2.1531.

Tabell 2.252 Bäddmoduler i friktionsjord och lera

Jord, belastningstyp	Övre gräns	Undre gräns
Friktionsjord	$k_s = \frac{n_h \cdot z}{D}$	$k_s = \frac{0,5 \cdot n_h \cdot z}{D}$
Kohesionsjord	$k_s = \frac{50 \tau_{fu}}{D}$	$k_s = 0^1)$
Långtidsbelastning		
Korttidsbelastning	$k_s = \frac{150 \tau_{fu}}{D}$	$k_s = \frac{50 \tau_{fu}}{D}$

1) överkonsoliderad lera, se 2.1531.

Där k_s = bäddmodul i kPa/m

z = Djup i meter hos omgivande jord, djupet begränsas till $10 \cdot D$

τ_{fu} = skjuvhållfasthet i kPa

n_h = bäddmodulfaktor beroende på lagringstäthet i kPa/m. Värden (enl diagram 2.252) avser förhållanden ovan grundvattenytan. Under grundvattenytan kan antas att bäddmodulfaktorn är 40% av värdet bestämt i fig 2.252.

Man kan anta att jordens inre friktionsvinkel uttryckt i grader har samma storlek som dimensioneringsparametern N_s .

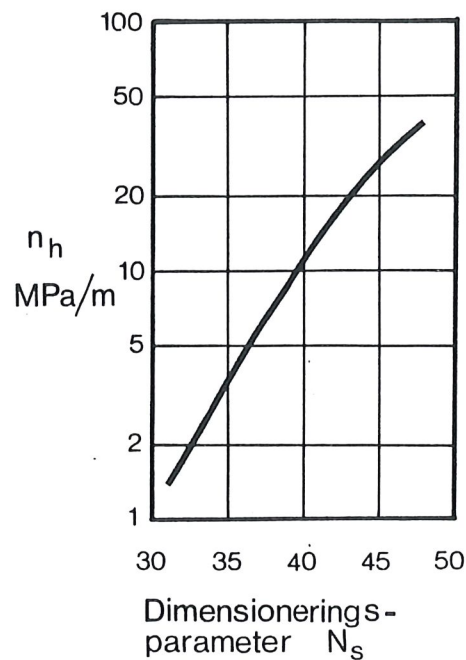


DIAGRAM 2.252 Bäddmodulfaktorn n_h för friktionsjord ovan grundvattenytan.

Bäddmodulen i friktionsjord kan antas variera enligt Figur 2.252 a-c. Fall a gäller i en jordprofil där endast friktionsjord förekommer. Fall b gäller i en jordprofil där en friktionsjord är täckt av kohesionsjord. Fall c gäller i en jordprofil där en friktionsjord (t ex fyllning) vilar på kohesionsjord. I figuren förekommer följande beteckningar:

ρ_1 = skrymdensitet hos kohesionsjorden, t/m^3

ρ_2 = " " friktionsjorden, t/m^3

D = påldiameter, m

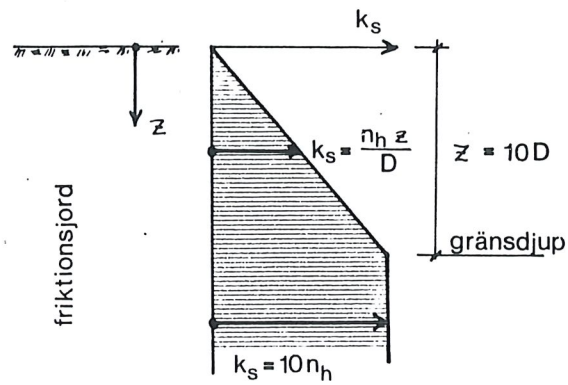
z, z' = djup, m

k_s = bäddmodul, kPa/m

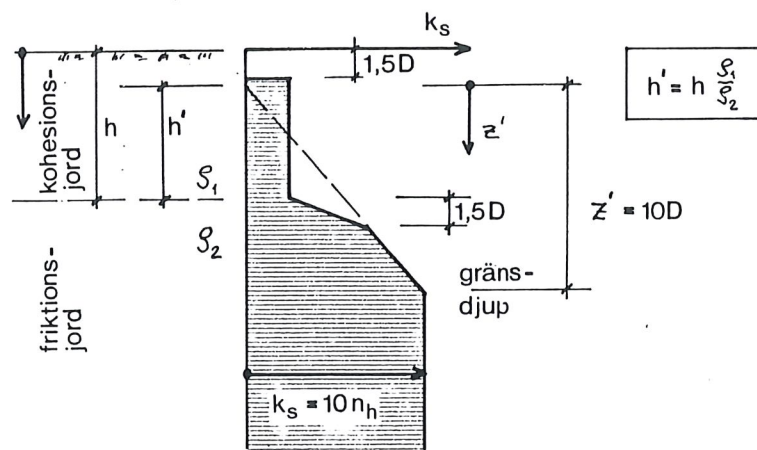
h = kohesionsjordens mäktighet, m

h' = vägd mäktighet av kohesionsjorden, m

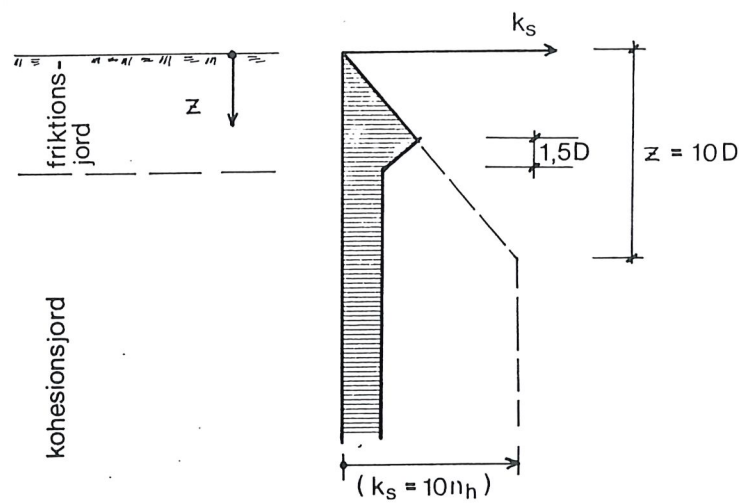
a



b



c



FIGUR 2.252 Bäddmodul i

- a) friktionsjord
- b) friktionsjord under kohesionsjord
- c) friktionsjord över kohesionsjord

2.26 Materialprovning

2.261 Betong

Provning av betongmassan utförs enligt gällande normer för resp betongkvalitet dock med begränsning enligt 4.21.

I klasserna A och B skall provning av den färdiga pålens betongkvalitet utföras enligt 4.4.

2.262 Armering

Provning skall ske enligt gällande normer.

2.27 Praktiska synpunkter på grävpålars konstruktiva utformning

2.271 Val av pålklass

Tabell 1.5 visar översiktligt klassindelningen av grävpålar och klassindelningens uppläggning. Vid val av pålklass beaktas:

- Krav på påles utförande och kontroll
- Krav på påle med hänsyn till tolerabel sättning
- Krav på påles bärförmåga

Krav på påles utförande och kontroll anpassas till byggnadsobjektets karaktär och konsekvenserna av en eventuell skada hos pålen.

Krav på påles utformning med hänsyn till förväntad sättning anpassas till dimensioneringen av överbyggnaden.

Krav på påles bärförmåga anpassas till aktuella laster och geotekniska förutsättningar.

2.272 Påldimensionering

Påldiameter väljs efter i marknaden förekommande dimensioner mellan 500 mm och 2000 mm.

Pållängd skall överstiga 3 ggr pålens diameter eller 3 m.

I Sverige har pålar upp till 40 m längd utförts, i Norge och Finland har längder över 70 m utförts.

2.273 Pålplacering

Vid utförande av grävpålar uppstår i allmänhet endast små vibrationer, praktiskt taget ingen jordundantvängning och därmed inga ökade sidotryck. Pålar kan därför placeras nära varandra och nära befintliga byggnader. Hänsyn bör dock tas till befintliga byggnadsrester eller andra hinder som kan försvåra och fördyra pålningen.

Pålar kan skäras in i varandra och därigenom bilda en sammanhängande vattentät grävpålevägg.

Vid bestämning av pålplacering måste de geotekniska förhållandena beaktas, jfr 2.1.

2.274 Pålutningar

Pålar utförs vertikala eller lutande. Vid lutande pålar skall den eventuella geotekniska belastningen (2.16) särskilt beaktas. Omgivande jord måste kunna bära den färska betongmassan.

Större lutning än 5:1 bör ej användas.

2.275 Toleranser

På arbetsritning anges de toleranser som konstruktionen är anpassad till.

Normalt bör följande toleranser användas:

planläge	enskild påle	80 mm
	enskild påle i grupp	100 mm
höjdläge	påltopp efter bilning	50 mm
lutningar	lutningsavvikelse	2 %
	riktningsavvikelse	5 %

Beroende på förhållandena kan det vara nödvändigt att öka eller minska ovan angivna värden. Exempelvis kan det vid blockrik jord finnas anledning att öka toleranserna.

2.276 Anordnande av armering

Vid utformning av armeringskorg skall hänsyn tas till följande faktorer

Gjutbarhet

Gles armering eftersträvas, minsta fria avstånd mellan stänger bör ej understiga 50 mm. Vid anordnande av ursparingsrör för kontroll, dubbar, spännarmering el dyl skall dessa placeras så att gjutning ej försvåras.

Hanterbarhet

Armeringskorgar utförs vanligen prefabricerade och skall utformas så stabila att lyftning och nedsänkning kan ske utan risk för deformationer. Vid långa pålar beaktas att korgar måste skarvas. Svetsbar armeringskvalitet rekommenderas.

2.277 Formrör

Pålar i vatten, i mycket lös jord eller i jord med risk för stora hålrum (sprängsten, fyllnadsjord el dyl) förses vid behov med kvarsittande formrör.

Behov av formrör fastläggs i samråd med ansvarig geotekniker.

Formröret kan anbringas till armeringskorgen med föreskrivet täckande betongskikt eller vid arbete i vatten ansättas utanför arbetsröret.

Formröret dimensioneras för uppträdande gjuttryck och mekanisk åverkan.

2.28 Grävpåles bärförmåga

Grävpåles bärförmåga är beroende av

- omgivande jords förmåga att ta upp aktuella krafter (spets-tryck, sidotryck, mantelfriktion)
- pålens förmåga att stå emot aktuella snittkrafter (axialkraft, tvärkraft och moment).

Hur hänsyn tas till omgivande jords egenskaper behandlas i kap 2.1.

Snittkrafter i påle beräknas med beaktande av:

- verkande laster
- styvhetsförhållanden (påles styvhet och inspänning i överbyggnad, omgivande jords styvhet). Pålspets förutsätts i allmänhet ledad
- förutsatt tillåten lägesavvikelse hos påle
- förutsatt tillåten sättning hos påle

Påle dimensioneras för beräknade laster och snittkrafter som armerad eller oarmerad betongpelare gjuten i torrhet enligt gällande betongbestämmelser. Härvid reduceras dock påkänningar för betong och armering

i klass B till 85%

i klass C till 70%

Vid beräkning av påltvärnsnittets yta räknas med nominell påldiameter i respektive snitt.

Nominell påldiameter är arbetsrörets ytterdiameter eller formrörets (bottenspontens) innerdiameter.

Påles knäcklängd (slankhet) beräknas med beaktande av inspänningsförhållanden och omgivande jords uppstyvade inverkan.

Bäddmoduler väljs enligt tabell 2.252. För påle helt omgiven av friktionsjord föreligger i allmänhet ingen risk för knäckning.

För påle som är utsatt för dragspänningar utförs sprickbredds-kontroll enligt betongbestämmelserna.

Strängare krav på tillåten sprickbredd kan föreskrivas om speciellt aggressiv miljö föreligger (aggressivt grundvatten, frostrisk m m).

För påle utsatt för dragning kan bärförmågan ökas genom utnyttjande av efterspänd armering.

Efterkontroll av bärförmågan utförs om förutsatta toleranser ej kunnat innehållas vid utförandet.

Visar efterkontroll att tillåtna påkänningar överskrids kan ex.vis följande åtgärder vidtas:

- ökning av tillåtna påkänningar genom ökad kontroll av färdig påle t ex utnyttjande av eventuell överkvalitet i betongen verifierad med utborrade kärnor
- utförande av avväxlingskonstruktion i överbyggnaden för att minska pålens excentricitet.

2.29 Arbetsritningar

Följande föreskrifter och anvisningar anges på ritningar som upprättas för grävpålearbeten:

- hänvisning till dessa anvisningar
- hänvisning till geotekniskt utlåtande
- pålklass
- pålarnas dimensioner och armering
- kontrollrörs dimensioner och placering
- materialkvaliteter i pålar
- pållägen och lutningar
- pålavskärningsnivå
- pålpetsnivå
- tillåtna toleranser
- pålars utnyttjade bärförmåga
- pålars förutsatta tillåtna sättningar (total och differentiell)

Dessutom kan kompletterande föreskrifter fordras för:

- arbetenas bedrivande
- kontrollens omfattning
- erforderligt inträngningsdjup i bärande jordlager
- förutsatt dynamisk förbelastning.

3 UTFÖRANDE

3.1 Allmänt

Grävpålar utförs enligt nedanstående anvisningar om inte annat framgår av pålplaner, arbetsritningar eller arbetsbeskrivningar.

Nedanstående krav på utförande grundar sig på utprovade metoder. Kraven är olika i de olika pålklasserna, se tabell 1.5.

Allt arbete utförs av erfaren personal och protokollförs i erforderlig omfattning.

Noggrant och systematiskt protokoll förs över genomförda arbetsmoment, viktiga händelser och observationer under arbetets gång. I pålklasserna A och B är kraven större än i klass C.

3.2 Arbetsledning

Pålningensarbete leds av ansvarig arbetsledare med god kundskap om och erfarenhet från grävpålearbete. Under pågående pålningsarbete skall den ansvarige arbetsledaren utöva fortlöpande ledning och tillsyn över arbetet i den omfattning som är erforderlig. Arbetsledaren ansvarar för att noggrant protokoll upprättas över varje påle. Vid pålningsarbete i klass A skall han dock vara närvarande hela tiden under arbetet.

När likartat arbete i klass B och C pågår under längre sammanhängande tid på en och samma byggnadsplats, får den omedelbara ledningen efter inledningsskedet utövas av en biträdande arbetsledare, som är väl förfaren med ifrågavarande typ av pålningsarbete. Han skall dock kunna komma i kontakt med den ansvarige arbetsledaren för samråd.

3.3 Maskinell utrustning

Maskinell utrustning och arbetsmetod väljs så att slutprodukten uppfyller givna funktionskrav med hänsyn till pålningsklass, jordartsförhållande samt vid grundläggning på berg av erforderligt krav på anslutning.

Personalen skall vara väl förtrogen med den utrustning som används samt ha praktisk insikt i den geoteknik samt betongteknik som erfordras för arbetets bedrivande och utförandekrav i gällande pålningsklass.

Schaktning för grävpålar kan ske med gripskopa, jordskruv, slamskopa, gruspump eller spolning och vid behov kompletteras med mejsling eller sprängning. Handschakt kan även förekomma.

Schaktväggarna kan stabiliseras antingen med rör som återvinns eller kvarlämnas eller med hjälp av borrhväska.

Man bör välja den metod som ger minsta störning av omgivande jord eller vid botten samt ger kortaste arbetscykel. Vid arbetet får arbetsverktyget ej ge upphov till kolvverkan eller på annat sätt väsentligt påverka det naturligt rådande vattentrycket.

3.4 Arbetsmetod

3.41 Schaktning med arbetsrör

Arbetsröret förs ned i jorden på sådant sätt att jorden inte trängs undan eller så att kringliggande jord inte väller in i röret eller luckras upp utanför röret.

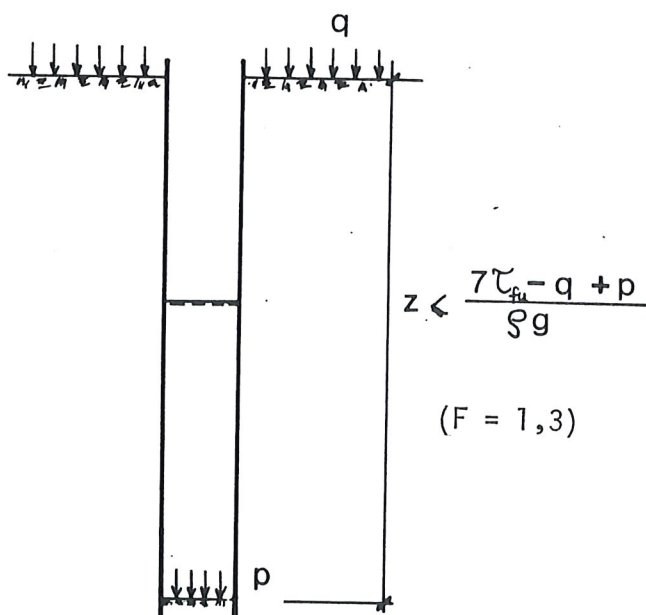
Röret kan föras ned genom vridning, nedpressning, slagning eller vibrering. Arbetsrörelementen bör vara släta utvändigt och dimensionerade för att tåla erforderligt neddrivnings-, urschaktnings- och mejslingsarbete.

Vid arbete i kohesionsjord som överlagras av torrskorpa (el fyllning) kan en fast propp bildas i röret av torrskorpelera. Proppen tränger undan den lösa leran under torrskorpan när röret förs ned i den. Torrskorpeleran skall därför grävas ur innan neddrivningen fortsätter i den lösa leran. När röret schaktats ur så att totala överlagringstrycket i jorden börjar närma sig värdet 9 ggr lerans odränerade skjuvhållfasthet uppkommer risk för bottenuppträckning till följd av skjuvbrott i leran. För att undvika att

botten trycks upp skall schaktdjupet vara mindre än det i figur 3.41 angivna eller arbetsröret drivas ned så att spetsen ligger tillräckligt långt under schaktbotten i röret. Vid behov ökas mottrycket i röret genom att fylla det med vatten eller bentonitsuspension.

I silt och silt- eller sandskiktad lera föreligger risk för hydraulisk bottenuppträckning vid schaktning under grundvattenytan om ej schaktningen utförs med arbetsröret fyllt med vatten- eller bentonitsuspension.

Även vid arbete under grundvattenytan i genomsläppliga jordarter som sand, grus eller sandig och grusig morän bör schaktning göras i vattenfyllt rör för att undvika bottenuppluckring genom hydrauliskt genombrott, vilket kan minska schaktbottens bärförmåga (påle grundlagd i jord) eller medverka till sättningar i närbelägen på högre nivå grundlagd byggnad.



FIGUR 3.41 Tillåtet schaktdjup

Förekommer block eller andra hinder i jorden bör de, där så är möjligt, sprängas i förväg. Möter arbetsröret sådana hinder under neddrivningen kan hindren röjas undan genom mejsling eller sprängning.

Sprängning utförs av behörig personal och på sådant sätt att närbelägna pålar eller kringliggande byggnadskonstruktioner inte tar skada.

Vidgning av pålfoten genom schaktning under arbetsröret eller under schaktning för att underlätta arbetsrörets nedföring kan utföras där de geotekniska förhållandena så medger.

3.42 Schaktning utan arbetsrör

Schaktning för grävpåle utan arbetsrör där schaktväggarna stabiliseras med borrhväska kan utföras om särskild utredning visar att jorden och förhållandena på platsen är lämpliga. Särskild arbetsbeskrivning upprättas härför.

Borrhväska kan bestå av t ex vatten, bentonit- eller cementbentonitsuspension.

Den särskilda utredningen skall bl a omfatta geoteknisk undersökning som klarlägger bl a grundvattenförhållanden, jordlagrens vattengenomsläpplighet och jordlagrens sammansättning.

Pålens överdel säkras med ett arbets- eller foderrör. Innehållet av fasta partiklar i borrhväska bringas ned till mindre än 5 volymsprocent före gjutning av betong.

3.43 Behandling av pålbotten

3.431 Grundläggning på/i berg

Krav på berganslutning med avseende på bergets lutning, eventuell inmejslingslängd och rensning bestäms av pållast, bergkvalitet och tillåten sättning, se 2.141.

Indikationer på bergytans ungefärliga läge, lutning och kvalitet erhålls ur geoteknisk undersökning, se 2.122.

I samband med grävpålarbetet kontrolleras

- bergytans nivå i jämförelse med geoteknisk undersökning
- bergytans lutning inom arbetsrörets diameter med hjälp av kontrollstänger, spettlod eller, där så är möjligt, genom okulär besiktning
- bergart och bergkvalitet genom att upptagna mejslings- eller sprängmassor studeras.

Avviker berget från de förutsättningar som anges i den geotekniska undersökningen bestäms erforderliga kompletterande åtgärder.

Bergytan rensas från finamaterial före eventuell armering och gjutning.

Bergrensningen vid schaktning i torrhet utförs om möjligt för hand. Vid schaktning i torrhet kan träspont användas som tätning. Sponten lämnas då kvar vid gjutningen. Slam- eller mammutpump används vid arbete under vatten eller bentonitsuspension.

Vid rensning under vatten kontrolleras med kontrollstänger eller spettlod att finmaterial inte tränger in i arbetsröret från omgivande jordmassor så att hålrum uppstår. Lämplig åtgärd för att förhindra detta är att hela tiden genom påfyllning i arbetsröret hålla tillräckligt vätskeövertryck eller att använda bentonitsuspension.

När berget är rensat kontrolleras att ytan uppfyller ställda krav med hänsyn till pålklass och eventuella andra uppställda krav, se 4.3.

Tiden för kontroll görs så kort som möjligt varefter armering och gjutning utförs snarast möjligt.

3.432 Grundläggning i friktionsjord

Schaktnings- och bottenarbete utförs så att pålbotten inte luckras upp. Se även 3.431. Tiden mellan avslutad schaktning och gjutning hålls så kort som möjligt.

Vid arbete under grundvattenytan måste alltid risken för bottenuppluckring beaktas. Anvisningar för arbetenas utförande upprättas i samråd med geotekniker.

Schaktbottnens beskaffenhet kontrolleras med kontrollstänger eller spetttlod.

Dynamisk förbelastning av pålbotten, se 4.323.

3.5 Armering

Armeringskorgen utformas på sådant sätt att den har betryggande hållfasthet och formstabilitet för de påfrestningar den utsätts för under arbetet och så att alla erforderliga arbetsmoment kan genomföras utan hinder.

Armering och dess anordnande beskrivs i 2.242 och 2.276.

Korgens byglar utformas så att arbetsrörelementens eventuella invändiga lyftöglor kan användas.

Armeringskorgen förses med horisontella stänger i nederänden vilka skall hindra att den lyfts under gjutningen. Stängerna monteras så att gjutröret kan passera fritt ned till pålbotten.

Armeringskorgens höjdläge kontrolleras under gjutningen.

3.6 Betonggjutning

Betongmassa för grävpåle sammansätts så att massan flyter ut ordentligt och ger en fullgod slutprodukt i fråga om hållfasthet och täthet.

Sammansättning och provning av betong behandlas i 2.241, 2.261 och 4.21.

Betong gjuts om möjligt i torrhet. Undervattengjutning väljs emellertid

- när vattentillströmningen är så kraftig att pålbotten inte kan hållas torr*
- när risk finns för bottenuppträckning eller bottenuppluckring.*

Gjutning med gjutrör som mynnar under betongmassans överyta används vid gjutning under vatten.

En smidig och lättflytande betongmassa erhålls om

- ballasten består av naturligt rundade korn*
- ballasten är månggraderad*
- konsistensen är lämplig - sättmått ≥ 15 cm. Tillsatsmedel för konsistensförbättring får användas.*

Dessutom skall 6-10 viktsprocent av totala ballastmängden vara material som passerar sikt med 0,25 mm maskvidd.

Bindetidsretarderande medel används normalt.

Betongmassan bör inte vibreras.

Retardation erfordras om komplikationer uppstår vid pålgjutningen, t ex svårigheter med rördragning.

Betongmassan gjuts i en sammanhängande process med hög gjuthastighet. Utrustning och teknik väljs så att diskontinuiteter undviks.

Vid gjutning under vatten bör följande punkter iakttas.

- Gjutrören skall ha vattentäta skarvar.
- Gjutrörets underkant skall ligga minst 1,5 m under betongytan och röret skall vara helt fyllt under hela gjutningen.
- Gjutningen avslutas minst 0,5 m över teoretisk avskärningsnivå för att uppnå god betongkvalitet i pålhuvudet.

När arbetsröret dras upp kontrolleras att betongmassan fyller ut minst volymen av arbetsröret och att betongmassa inte flyter ut i onormal mängd i omgivande jord eller hålrum.

Om betongmassan har för styv konsistens eller fylls på till för hög nivå innan röret dras upp kan vidhäftningen mot rörets väggar bli så stor att insnörning eller avbrott i pålen uppstår.

Påfyllningen av betongmassan måste balanseras så att tillräckligt men inte för stort övertryck mot kringliggande jord erhålls.

Kvarsittande formrör används:

- i öppet vatten
- i mycket lösa jordlager (dy, gyttja)
- i jordlager med öppen struktur (sten- och blockfyllning o dyl)
- i jordlager med kraftigt strömmande vatten

Sandfyllning på grävpåle vars avskärningsnivå ligger under markytan utförs med försiktighet när kringliggande jord består av lös kohesionsjord. Vid behov utförs pålens överdel med formrör.

4 KONTROLL

4.1 Allmänt

Avsikten med kontroll av grävpåles utförande är att kunna

- förebygga felaktigt utförande
- identifiera felaktigt utförda grävpålar
- i tid vidta erforderliga kompletterande åtgärder.

Ansvarig arbetsledare för grävpålarbetena svarar för att föreskrivna kontrollåtgärder vidtas och dokumenteras.

Utser beställaren särskild kontrollant skall denne ha tillräcklig praktisk och teoretisk kunskap om grävpålarbeten.

Beställarens kontroll skall utföras så att tidsåtgången och störningen i arbetet begränsas till minsta möjliga.

Kontrollens normala omfattning är beroende av pålklass och den färdiga pålens funktion.

Kontrollen skall vara intensiv under arbetenas början för att den skall identifiera den aktuella platsens specifika problem. I fortsättningen anpassas kontrollåtgärderna därtill, dock skall föreskrivna kontrollåtgärder alltid vidtas.

Uppstår komplikationer förstärks kontrollen i erforderlig omfattning utöver den föreskrivna.

4.2 Materialkontroll

Normenlig provning utförs där inte annat bestäms.

4.21 Betong

För pålar i klass A och B kan fortlöpande provning normalt begränsas till var 10:e påle, dock minst var 100:e pålmeter.

4.22 Armering

4.3 Utförandekontroll

För bl a den ekonomiska kontrollen protokollförs datum och klockslag

- för start av schaktning
- när bergkontakt/pålbotten nås
- när pålen är klar (godkänd) för gjutning
- när gjutning börjar
- när gjutning är klar

I pålklass C kan dessa uppgifter utgå om parterna är överens därom.

4.31 Schaktning

Vid schaktningen protokollförs:

- arbetsrörets lutning
- nivåer för jordlagergränser, speciellt nivå för övergång till fast jord.
- jordlagrens beskaffenhet genom att jordprover tillvaratas och undersöks
- förekomst av block eller andra hinder.

Ansvarig geotekniker/konstruktör skall verifiera att verkliga förhållanden stämmer med förundersökning. Om avvikelser konstateras skall erforderliga åtgärder vidtas.

4.32 Pålbottenarbete

Kontroll av pålbotten syftar till att klarlägga att arbetet är utfört enligt 3.43.

I förekommande fall skall byggherrens kontrollant ge godkännande för gjutning.

Sättet att rensa botten protokollförs av entreprenören.

4.321 Grundläggning på berg

Följande uppgifter kontrolleras och protokollförs:

- verklig bergnivå och lutning
- bergart och bergkvalitet (endast klass A och B)
- inmejslingsdjup (om inmejsling utförts)
- slutlig bergnivå (pålbottennivå perifert och i centrum)
- rensning

Visar det sig vid pålningsarbetenas utförande att bergytans nivå avviker avsevärt från den i förfrågningsunderlaget redovisade utförs eventuellt kompletterande hammarbörning i samråd med ansvarig geotekniker/konstruktör.

4.322 Grundläggning i friktionsjord

Följande uppgifter kontrolleras och protokollförs:

- att inträngningsdjup i fast jord överensstämmer med föreskriven längd
- att pålbotten är rensad från finkornig jord
- att pålbotten inte har hävts omedelbart före gjutningens början.

4.323 Dynamisk förbelastning i friktionsjord

Dynamisk förbelastning utförs för att:

- packa jorden lokalt vid pålbotten och därigenom förbättra pålspetsens last-deformationsegenskaper (så att högre last kan utnyttjas)
- kontrollera pålbottens last-deformationsegenskaper

Dynamisk förbelastning utförs av personal som är förtrogen med metoden.

*Dynamisk förbelastning kan utföras på följande sätt.
En förtillverkad pålfot av betong eller stål ställs ned*

på pålbotten. På foten ställs i regel en stålpelare som når upp till markytan/ rörets överyta. Pelaren utsätts för dämpad stöt t. ex. av fallhejare utformad så att stöttiden blir 0,01-0,02 sek. Man slår på pålbotten tills en viss relation uppnås mellan kvarstående sättning och momentan maximal sättning (kvarstående sättning + fjädring). Under stötarna mäts acceleration, retardation och sättning för varje stöt. Utvärdering av resultatet kräver speciell kunskap.

4.33 Armering och betonggjutning

Omedelbart före gjutning görs en förnyad kontroll enligt 4.321 och 4.322 att pålbotten är (rensad, fast) fri från finkornig jord och i förekommande fall fri från vatten.

I pålklass A och B kontrolleras betongmassans konsistens på arbetsplatsen för varje lass.

Verklig betongåtgång i förhållande till teoretisk kontrolleras och protokollförs kontinuerligt. Mätning utförs vid varje tillfälle som arbetsröret dras upp.

Under gjutningen kontrolleras att armeringen inte lyfts.

Vid undervattengjutning eller gjutning i bentonitsuspension är det viktigt att hålla reda på nivå för

- betongmassans överyta
- gjutrörets underkant (min 1,5 m under betongmassans överyta)
- arbetsrörets underkant

Före gjutning kontrolleras att gjutrören är täta (speciellt skarvarnas täthet).

Protokoll över gjutningsförloppet förs enligt av parterna överenskommet formulär.

4.4 Kontroll av färdig påle

Kontrollåtgärderna anpassas med hänsyn till pålens funktion i byggnadsverket och uppmärksammade indikationer om avvikelser från normalt tillverkningsförlopp (t ex från normala förhållanden avvikande betongåtgång) eller förhållanden som innebär risk för avvikande utförande (t ex kanalbildning med cementurvaskning där pålen står i tät jord eller är försedd med formrör).

4.41 Pålläge

Pålens plan- och höjdläge i pålavskärningsplanet inmäts för kontroll att de ligger inom angivna toleranskrav. Överskrids toleranser underrättas ansvarig konstruktör för kontrollberäkning. Detta gäller även den under schaktningen inmätta pållutningen.

4.42 Betong

Urborrade betongkärnor provtrycks i en omfattning som bestäms vid okulärbesiktning av kärnorna och i den omfattning som handlingarna föreskriver.

Kärnor för provtryckning skall ha diameter större än 75 mm. För okulärbesiktning kan kärnornas diameter vara mindre (t ex 32 mm).

Klass A. Betongen kontrolleras i pålens hela längd för minst var 10:e påle.

Kontrollen kan ske genom urborrning av betongkärnor genom pålens hela längd eller kärnprover i påles topp och spets kombinerat med sonometrisk kontrollmätning. Urborrade kärnor provtrycks.

Klass B. Betongen kontrolleras i pålens övre och undre del för minst var 10:e påle.

Klass C. Urborrning och provning av kärnor erfordras endast när avvikande förhållanden föreligger eller befaras.

4.421 Sonometrisk kontrollmätning

Sonometrisk mätning i påle är en alternativ metod till kontroll av urborrat kärnprov.

Sonometrisk mätning baserar sig på förhållandet att ljudets fortplantningshastighet i betong är proportionell mot kvadratroten ur betongens E-modul. Betong med god hållfasthet har högre E-modul än betong med låg E-modul. Förändring av ljudets fortplantningshastighet, när man mäter i en påle, är således en indikation på att pålen kan vara skadad.

Om sonometrisk mätning skall utföras i påle förses pålen med 3-4 vertikala mätrör med känt konstant inbördes avstånd. När 4 symmetriskt placerade mätrör är installerade mäts dels diagonalt (2 mätningar) dels mellan närliggande rör (4 mätningar).

Mätrören fästs i armeringskorgen.

Vid sonometrisk mätning sänks först en sändare (ljudalstrare) ned i ett vattenfylldt mätrör till botten av en påle och en mottagare i ett annat vattenfylldt mätrör. Mätningen görs under långsam uppdragning av sändare och mottagare med konstant hastighet och så att sändare och mottagare i varje ögonblick följer varandra på samma nivå i pålen. Med hjälp av skrivare registreras ett sonogram, där ljudets gångtid genom betongen mellan aktuella rör uppritas som funktion av avståndet från pålspetsen. På sonogrammet kan läget av anomalier, dvs sektioner i påle där gångtiden är onormalt lång, fastställas med en noggrannhet av 50 mm.

Anomalier kan bero på dålig anliggning mellan rör och betong. För slutlig bedömning av påles funktionsduglighet kontrolleras påle där anomalier uppmätts ex.vis genom kärnprovtagning.

4.43 Övergångszon påle - berg

Övergångszon påle - berg kontrolleras genom kärnprovtagning och/eller hammarborrning.

Kärnprovtagningen kombineras lämpligen med provtagning för betongkontroll, se 4.42.

Hammarborrning utförs lämpligen så standardiserat som möjligt, dvs med lika matningstryck och lika bormaskinstryck under borrhningsförloppet. Kvaliteten hos övergångszonen bedöms med utgångspunkt från tiden för borrhns sjunkning 50 mm. Sjunkningsmätning utförs för hela den borrhade sträckan, dvs en meter i pålen och en meter ned i berg.

Omfattningen av kontrollen av övergångszonen anpassas till resultatet. Normal omfattning är följande:

Klass A. Hammarborrning utförs i varannan påle och kärnprovtagning i var 10:e påle.

Klass B. Hammarborrning utförs i var 5:e påle och kärnprovtagning i var 10:e påle.

Klass C. Kontroll utförs när avvikande förhållande föreligger eller befaras.

4.5 Pålprotokoll

För varje påle skall protokoll föras.

Protokollet skall i samtliga pålklasser innehålla uppgifter om

- beställare
- pålentreprenör
- arbetsplats

- påles märkning
- påldiameter
- pållutning
- pålavskärningsnivå
- pålspetsnivå, uppmätt
- arbetsnivå

- schaktad längd
- pållängd
- betongkvalitet
- armerad eller oarmerad
- gjutning över eller under vätska
- vid schaktningen passerade jordarter
- ev grundvattenyta
- teoretisk betongåtgång
- verklig "-"
- påles lägesavvikelser
- påles lutningsavvikelser
- ev avvikelser från givna anvisningar
- datum för arbetenas utförande
- underskrift av ansvarig pålningsledare
- underskrift av beställare eller dennes kontrollant

Vid pålklasser A och B skall protokollet dessutom innehålla uppgifter om

- pålningsutrustning
- behandling av pålbotten
- avvägning av pålbotten, vid berg i pålcentrum och 4 punkter efter periferin
- tidpunkter för gjutning: början, slut och eventuella uppehåll
- utförda kontroller

4.6 Kontroll genom provbelastning

Provbelastning är det mest tillförlitliga sättet att bestämma en i jord tillverkad påles bärförmåga.

4.61 Statisk provbelastning

Statisk provbelastning utförs genom stegvis pålastning där lasten hålls konstant under laststeget och laststegen är lika stora och har lika varaktighet.

Laststeg

Antal laststeg till förmodad kritisk last bör vara 10-20. Provbelastningen drivs lämpligen 3-5 laststeg över erhållen kritisk last.

Varaktighet

Laststegens varaktighet väljs till ca 15 eller 30 minuter. Den längre tiden väljs vid finkornigare friktionsjord än sand eller sandig morän.

Belastningsrutin

Belastningen påförs kontinuerligt i laststeg till maximal belastning utan avbrott för av- och pålastningar. Uppnås maximal belastning utan brott i pålen utförs cyklisk av- och pålastning 10-20 ggr mellan maximal belastning och halva denna. Lastcykelns varaktighet bör vara 10-30 min.

Sättning, krypsättning

Under laststeget avläses pålhuvudets, pålspetsens och eventuella andra mätpunkters sättning vid valda tider, t ex varannan minut efter att laständringen påbörjats. Önskas en uppskattning av sättningen efter lång tid kan antas att sättningen ökar linjärt mot logaritmen för tiden vid belastningar under kritisk last.

Provbelastningsresultaten redovisas lämpligen enligt pålkommissionens rapport nr 59 "Anvisningar för provpålning med efterföljande provbelastning".

Kritisk last

Kritisk last definieras som den last vid vilken krypsättningen tilltar avsevärt, se figur 4.61.

4.62 Dynamisk efterkontroll

Dynamisk efterkontroll kan utföras enligt en metod som TNO (Holland) har utvecklat. Metoden innebär att man släpper en vikt (3-5 ton) på pålhuvudet och registrerar sättningen under stötförloppet. Beräkning sker av påförd last. Belastningar över 15 MN kan uppnås. Under provbelastningen ökas fallhöjden successivt. Den dynamiska gränslasten, vid vilken de plastiska deformationerna tilltar, kan bestämmas. Jämförande statiska provbelastningar visar att den statiska gränslasten är lika stor som den dynamiska gränslasten. (Gränslast $\approx$ brottlast. Benämningen används i holländska och västtyska normer).

PROTOKOLL Grävpåle, Exempel

FÖRETAG

Arbete _____ sid _____

Djup	Jordart
2	
4	
6	
8	
10	
12	
...	
V	
m	

Påle nr _____ Ordningsföljd _____

Arbetsrör invändig diameter _____ mm
 utvändig diameter _____ mm
 längd under markytan _____ m

Neddrivning av arbetsrör, datum _____

Inmejsling i berg, datum _____

högsta bergnivå längs rörperiferien _____ m

lägsta bergnivå längs rörperiferien _____ m

lutning _____

minsta inmejslingsdjup _____ m

vattenstånd i röret före inmejsling _____ m

vattenstånd i röret efter inmejsling _____ m

Rensning

bergytan godkänd av _____

upprensning av bergytan utförd:

- ☐ manuellt i torrt hål
☐ med slampump i vattenfyllt hål
☐ på annat sätt _____

Gjutning

- Datum _____
☐ undervattensgjutning
☐ gjutning i torrhet
☐ gjutning med gjutrör
☐ betong tömt i rör

Betongkvalitet beställd _____ MPa

uppmätt _____ MPa

Sättkontak beställt _____ cm

uppmätt _____ cm

Betongtemperatur _____ °C

Uppdragning av rör

Gjutning påbörjad tidpunkt	Uppdragning tidpunkt	Betongnivå i rör före uppdragning, m	Uppdragen rörlängd, m	Betongvolym för varje uppdragning av rör, m ³	
				verklig	teoretisk

Nivå teoretisk påltopp _____ m

gjuten påltopp _____ m

markyta runt påle _____ m

Avvikelse av pålen från teoretiskt centrum

Δx _____ cm Δy _____ cm

Anmärkning _____

Protokoll utfört av _____



INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

Pålkommisionen

Utgivna handlingar

Meddelanden

- 1 Slagningsprov av pålskor med bergdubbar
Bror Fellenius
1963 10:—
- 2 Provpålning för broar inom blivande
Olskroks- och Gullbergsmoten i samband med
byggande av Europaväg 6 genom Göteborg
Bror Fellenius — Waldemar Pejrud
1964 Slut
- 3 Jämförelse mellan moment, krökningsradie
och sprickvidd i betongpålar slagna genom
lös lera till släntberg vid Tingstadsdelen,
Göteborg
Bror Fellenius
1964 10:—
- 4 Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs
Bror Fellenius
1964 Slut
- 5 Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar
Bengt Broms
1965 Slut
- 6 Brottlast för snett belastade pålar
Bengt Broms
1965 10:—
- 7 Beräkning av vertikala pålars bärförmåga
Bengt Broms
1965 10:—
- 8 Provpålning mot släntberg vid Skansen
Lejonet, Göteborg
Waldemar Pejrud
1965 25:—
- 9 Inverkan av armeringsmängd, förspänning
och fallhöjd på sprickrisken hos betongpålar
vid slagning
Sven Sahlin
1965 15:—
- 10 Bärförmågan hos armerade betongpålar
slagna till fast bergbotten
Hjalmar Granholm
1967 20:—
- 11 Bärförmågan hos pålar slagna till släntberg
Bengt Broms
1965 15:—
- 12 Dynamisk draghållfasthet hos modellpålar
av oarmerad betong. Resultat av orienterande
försök
Sven Sahlin — Lars Hellman
1966 15:—
- 13 Pålgruppers bärförmåga
Bengt Broms
1967 10:—

- 14 Påkänningar, sprickbildning och utmattning
vid slagning av armerade modellpålar av
betong
Bo Göran Hellers — Sven Sahlin
1971 30:—
- 15 Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning
av bergspets. Resultat av modellförsök
Sven-Erik Rehnman
1968 15:—
- 16 Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök
med lätta slagdon
Gunnar Fjellkner
1970 30:—
- 17 Bergdubbens hållfasthet. Resultat från
statiska belastningsförsök
Sven-Erik Rehnman
1970 20:—
- 18 Negative skin friction on long piles in clay.
I. Results of a full scale investigation
II. General views and design recommendations
Bengt H Fellenius
1971 30:—
- 19 Damping of stress waves in piles during
driving. Results from field tests
Gunnar W Fjellkner — Bengt B Broms
1972 30:—

Särtryck och preliminära rapporter

- 1 Allowable bearing capacity of initially bent
piles
Bengt Broms
Referat från pålkommitténs informationsdag
25 okt 1965

Provbeltning av påle slagen i lera och frik-
tionsmaterial
Gunnar Hellström

Knäcklasten för momentstyvt skarvade pålar
i lera
Krister Cederwall
1965 10:—
- 2 Provbeltning av stödpålar av betong inom
östra Nordstaden, Göteborg. Delrapport
Gunnar Hellström
1965 5:—
- 3 Bärighet hos släntberg vid statisk belastning
av bergspets. Resultat av modellförsök
Sven-Erik Rehnman
1966 5:—
- 4 Om pålslagning och pålbärighet (Informa-
tionsdagen 14/11 1966)
1967 Slut

- | | | | | | |
|----|---|-------------------|----|--|------------------|
| 5 | Resultat av pålprovning vid Göteborg C
Bror Fellenius 1955
(omtryckt 1967) | 20:— | 19 | Datorberäkning av stötvågsförlopp i pålar
medelst variation av modellparametrar.
Delrapport III
Lennart Vilander
1969 | 15:— |
| 6 | Om stoppslagning av stödpålar
Lars Hellman
1967 | 5:— | 20 | Nya pålnormer. Föredrag vid informations-
möte 25/4 1969
Göte Åström — Per Sahlström — Erik Sandegren
1969 | Slut |
| 7 | Undersökning med syfte att uppställa stopp-
slagningsregler för stålålar slagna med tryck-
lufthammare. Delrapport I.
Gunnar Fjelkner
1967 | Ersatt av Medd 16 | 21 | Negative skin friction on piles in clay.
A literature survey
Bengt H Fellenius
1969 | 20:— |
| 8 | Industriell tillverkning av betongpålar
Kajsa Sundberg — Arne Forsell
1968 | 10:— | 22 | Deformationsegenskaper hos slagna betong-
pålar
Bengt H Fellenius — Torsten Eriksson

Friktionspålar bärformåga. Resultat från
fältförsök i Kanada
Bengt H Fellenius
1969 | 20:— |
| 9 | Digitalisering av stötvågsrätningar.
Delrapport I
Lennart Vilander
1968 | 5:— | 23 | Pålar bärformåga i elastiskt medium under
hänsynstagande till egenspanningar i pål-
materialet
Stig Bernander
1969 | 20:— |
| 10 | Stoppslagning av stålålar med lätta slagdon
(trycklufthammare). Delrapport II
Gunnar Fjelkner
1968 | Ersatt av Medd 16 | 24 | IVA:s Pålkommision 1959—1969. Uppsatser
utgivna i samband med Pålkommisionens
tioårsjubileum
1969 | 20:— |
| 11 | Förslag till anvisningar för pålprovning och
enkel provbelastning. (Andra omarbetade
upplagan)
1970 | 20:— | 25 | Statistik över antal slagna pålmetrar år 1962,
1966 och 1968
1969 | Ersatt av SPR 30 |
| 12 | Tillåtna laster på långa stödpålar av betong
i östra Nordstaden, Göteborg. Slutrapport
Gunnar Hellström
1969 | 15:— | 26 | Föredrag vid Pålkommisionens jubileums-
möte den 20 november 1969

Den norske pelemekitets arbeide
Kaare Flaate

Aktuella forskningsbehov inom pålnings-
området
Bengt Broms
1970 | 20:— |
| 13 | Kvarstående förspänningskraft i slagna
betongpålar. Undersökning av pålar från
grunden till Silo 68, Köping
Bo-Göran Hellers
1968 | 5:— | 27 | Rapport från en resa till Mexiko, USA,
Kanada och England 23.8—13.9 1969
Bengt H Fellenius
1970 | 20:— |
| 14 | Föredrag vid Halmstad Järnverks armerings-
dag 17/11 1967
Bengt Broms — Gunnar Sundberg —
Per Möller — Thorild Blomdahl
1968 | 5:— | 28 | Mätning av fallhejares anslagshastighet vid
pålslagning
Karl-Erik Sundström
1970 | 15:— |
| 15 | Statistik över antal slagna pålmetrar 1962
och 1966
1968 | Ersatt av SPR 30 | 29 | Studier av en friktionspåles verkningsätt
Åke Nilsson — Torbjörn Winqvist
1971 | 25:— |
| 16 | Friktionspålar bärformåga. En studie av
utförda provbelastningar
Sven Hultsjö — Jan Svensson
1969 | 25:— | 30 | Statistik över antal slagna pålmetrar 1962,
1966, 1968 och 1970
1971 | Ersatt av SPR 38 |
| 17 | Ett program för beräkning av stötvågsför-
loppet vid friktionspålning. Delrapport II
Lennart Vilander
1969 | 15:— | | | |
| 18 | Pålkraftmätare
Bengt H Fellenius — Thomas Haagen

Negative skin friction for long piles driven
in clay
Bengt H Fellenius — Bengt Broms
1969 | 15:— | | | |

31	Friktionspålning för brostöd nr 2 vid Albysjön, tunnelbana 2 SV, Botkyrkabanan Sven-Erik Rehman 1971	25:—	42	Pålar i lera. En geoteknisk återblick med speciell anknytning till Göteborgs-förhållanden Bror Fellenius 1974	15:—
32	Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige i juni 1971 Ulf Bergdahl 1971	15:—	43	Jordundanträngning vid påslagning — resultat av modellförsök Rainer Massarsch 1974	20:—
33	Sättningar vid pålning olika djupgrundläggningsmetoder Intryck från pålkonferens 1972	20:—	44	Pålning för Silo 68 i Köping. En redovisning av mätresultat Ulf Bergdahl — Åke Nilsson 1974	20:—
34	On the bearing capacity of driven piles 1972	20:—	<i>Rapporter</i>		
35	Load testing of piles according to the polish regulations B K Mazurkiewicz 1972	15:—	45	Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige 1974 Ulf Bergdahl 1974	20:—
36	Undersökning av konventionell slagdyna. Beräkningsanalyser och beräkningsresultat för olika fall Martti Laine 1972	15:—	46	»Root-piles» Small-diameter injected borepiles Anton Frank 1975	15:—
37	Approximativ bestämning av böjstyvhets i ett förspänt, delvis uppsprucket betongtvärsnitt Bo-Göran Hellers 1973	15:—	47	Jordgjutna pålar — en redovisning av vanliga metoder K Rainer Massarsch 1975	30:—
38	Statistik över antal slagna pålmetrar år 1962, 1966, 1968, 1970 och 1972 1973	10:—	48	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962—1974 1975	20:—
39	Inventering och sammanställning av utförda böjprovningar med oskarvade och skarvade betongpålar Björn Kvist — Pär Sandin 1973	20:—	49	Deformationsmätningar vid slagning av pålar nära en stenmur — resultat av stereofotogrammetriska mätningar K Rainer Massarsch — Gunnar Ivmark 1975	25:—
40	Undersökning av avklingande stötvågs utseende efter passage genom dyna med tallriksfjädrar Bo Larsson 1973	20:—	50	Pålgrundläggning i Sovjetunionen 1976	25:—
41	Om korrosion på stål, speciellt i betongpålar Bengt H Fellenius 1974	15:—	51	Soil movements caused by pile driving in clay K Rainer Massarsch 1976	50:—
<i>Övrigt</i>			52	Angelägenheten hos forskningsprojekt inom pålområdet i Sverige 1975 — enkätresultat Ulf Bergdahl — Gunnar Ivmark 1977	15:—
	Slagning och provbelastning av långa pålar. Försök i Gubbero, Göteborg. (Statens Råd för Byggnadsforskning, rapport 99)	35:—	53	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962—1976 1978	20:—
	Pålningssprotokoll. Blanketter upprättade enligt Särtryck och preliminära rapporter nr 11. Block om 50 blad Pris per block	10:—	54	Pålgrupper med sidomotstånd och inspanning Håkan Bredenberg — Bengt Broms 1978	40:—
			55	Rälpålars böjstyvhets — resultat av böjprovningar Elvin Ottosson 1979	40:—

- 56 Provb belastning av friktionspålar —
En studie av olika provningsmetoder
U Bergdahl — G Hult
1979 40:—
- 57 Swedish Building Code 1975
Chapter 23.6 Pile Foundations.
Swedish Building Code 1975
Approval Rules No. 1975:8 Piles
Translated by B Broms
1979 40:—
- 58 Grävpålanvisningar
Dimensionering, utförande och kontroll
av grävda, i jorden gjutna pålar
1979 40:—