

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
ROYAL SWEDISH ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

EXPANDERKROPPAR

Anvisningar för dimensionering,
utförande och kontroll

Stockholm 1988



rapport 79

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

ROYAL SWEDISH ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

EXPANDERKROPPAR

**Anvisningar för dimensionering,
utförande och kontroll**

Anvisningarna har utarbetats av

Bo Berggren, Eskil Sellgren, Staffan Wetterling

Stockholm 1988

Pris 95:-

rapport 79

EXPANDERKROPPAR

Anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll

EXPANDERKROPPAR

Anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sid:
FÖRORD		3
1	INLEDNING	5
1.1	Anvisningarnas omfattning	5
1.2	Anvisningarnas status	5
1.3	Beteckningar	6
1.4	Gällande normer	7
1.5	Klassindelning	8
1.5.1	Säkerhetsklass	8
1.5.2	Geoteknisk klass	8
1.6	Dimensioneringsprinciper	8
1.6.1	Dimensionering i Bruksgränstillståndet	8
1.6.2	Dimensionering i Brottgränstillståndet	12
2	PROJEKTERING	15
2.1	Geotekniska undersökningar	15
2.1.1	Allmänt	15
2.1.2	Omfattning	15
2.1.3	Jordlager	16
2.1.4	Berg	18
2.1.5	Grundvatten	18
2.1.6	Drivbarhet, hinder	18
2.1.7	Omgivningens villkor	19
2.1.8	Geoteknisk redovisning	19
2.2	Dimensionering i brottgränstillstånd	20
2.2.1	Allmänt	20
2.2.2	Påle	21
2.2.21	Allmänt	21
2.2.22	Dimensionerande spetsbärförmåga	21
2.2.23	Mantelmotstånd	24
2.2.24	Pålskaft	26
2.2.25	Pålar i grupp	26
2.2.3	Förankring	27
2.2.31	Allmänt	27
2.2.32	Ändmostånd	27
2.2.33	Mantelmotstånd	27
2.2.34	Skaft	28
2.2.35	Förankringar i grupp	28
2.3	Beräkning av axiell bärförmåga baserad på expansion av expanderkropp	28
2.3.1	Allmänt	28
2.3.2	Påle	30
2.3.21	Spetsbärförmåga	30
2.3.22	Mantelmotstånd	31
2.3.23	Pålskaft	31

	Sid:
2.3.3 Förankring	31
2.3.31 Ändmotstånd	31
2.3.32 Mantelmotstånd	32
2.3.33 Skaft	32
2.4 Beräkning av axiell förskjutning	32
2.5 Belastningar	34
2.5.1 Påle	34
2.5.2 Förankring	34
2.6 Materialkvaliteter	35
2.6.1 Påle	35
2.6.2 Förankring	35
3 UTFÖRANDE	37
3.1 Allmänt	37
3.2 Arbetsledning	37
3.3 Installationsmetodik	37
3.3.1 Expanderpåle	37
3.3.11 Grundförstärkning	37
3.3.12 Grundläggning	39
3.3.2 Expanderstag	40
3.3.3 Injektering av Expanderkropp	42
3.3.31 Expanderpåle	45
3.3.32 Expanderstag	46
3.3.33 Problem och åtgärder	46
3.4 Maskinell utrustning	47
3.4.1 Slag- och borrarutrustning	47
3.4.2 Injekteringsutrustning	48
3.4.3 Mätutrustning	48
4 KONTROLL	50
4.1 Allmänt	50
4.2 Materialkrav	50
4.2.1 Stål till pålskaft/dragstag, skarvar	50
4.3 Utförandekontroll	51
4.4 Kontroll av färdig påle och dragstag	51
4.4.1 Läge	51
4.5 Verifiering genom provbelastning	52
4.5.1 Statisk provbelastning	52
4.5.2 Dynamisk provbelastning	53

FÖRORD

Dessa anvisningar har skrivits för att tekniken med Expanderkroppar applicerade på pålar och stag ska kunna användas mer allmänt. Metoden att dimensionera pålar och stag försedda med Expanderkroppar har anpassats till partialkoefficientmetoden. I partialkoefficientmetoden sker dimensionering dels i brottstadiet dels i bruksstadiet. Dimensioneringsmetoden är omständligare att använda än metoden som bygger på att använda en totalsäkerhetsfaktor på beräknad brottlast för att få en tillåten belastning. Men partialkoefficientmetoden tar mer systematiskt hänsyn till påverkande faktorer, t ex beräkningsmodellens tillförlitlighet och den geotekniska undersökningens omfattning och kvalitet.

Anvisningarna innehåller följande huvuddelar:

Inledning, Projektering, Utförande och Kontroll. I inledningskapitlet ges rekommendationer till val av geoteknisk klass och partialkoefficienter. Avsikten har varit att anpassa anvisningarna till Nybyggnadsföreskrifter till Plan- och Bygglag men anvisningarna utges innan Nybyggnadsföreskrifter. Vissa justeringar måste därför kanske göras när Nybyggnadsföreskrifter träder i kraft. I kapitlet Projektering ges rekommendationer till dimensionering av pålar och stag försedda med Expanderkroppar.

Anvisningarna har tillkommit genom bidrag från BFR men även Soilex AB har bidragit.

Anvisningarna har remissbehandlats inom Pålkommissionen. Följande företag och personer har därvid lämnat värdefulla råd och kommentarer:

AB Grundförstärkningar	Sven Hultsjö
ELU-konsult AB	Håkan Ehnström
L Hellman Byggråd AB	Lars Hellman
Piling Development	Bo Berglars
Stabilator AB	Björn Lundahl
"	Erling Magnusson
"	Tomas Najder
Statens Geotekniska Institut	Jan Hartlén
"	Per Evert Bengtsson
"	Elvin Ottosson
"	Göran Holm
Statens Järnvägar	Allan Ekström
"	Bo Eriksson-Vanke
VBK Projektering AB	Sölve Johansson
Vägverket	Per Löfling
Tyréns	Per-Lennart Svensson
Planverket	Jan Wennerstrand
Skanska AB	Göran Axelsson
Franki International	Rainer Massarsch
AB Jacobson & Widmark	Bengt Pramborg
Vägverket	Ture Olofsson

Anvisningarna är upprättade av:

Statens Geotekniska Institut/
SwedGeo AB
Geotest In Situ AB
Soilex AB
Soilex AB

Bo Berggren
Eskil Sellgren
Staffan Wetterling
Bo Skogberg

1 INLEDNING

1.1 Anvisningarnas omfattning

Anvisningarna omfattar dimensionering, utförande och kontroll av spetsburna och mantelburna pålar och dragstag försedda med den s k Expanderkroppen (eller Svällkroppen).

Dimensioneringsprinciperna i anvisningarna har huvudsakligen anpassats till Förslag till Nybyggnadsföreskrifter till PBL (föreliggande koncept 1987-09-15). Dimensioneringen av pålar och dragstag försedda med Expanderkropp förutsätter att de geotekniska förhållanden som påverkar pålens eller stagets bärförmåga och funktion klarläggs noggrant. Anvisningar för geotekniska undersökningars omfattning och utförande lämnas.

Påles och dragstags konstruktiva utformning anpassas till de belastningsförhållanden som blir aktuella. Anvisningar lämnas härför.

Utförande och kontroll av pålar och dragstag med Expanderkropp kräver specialkunskap. Krav på utförande och kontroll anges.

Vid utformningen av anvisningarna har följande handlingar beaktats

PFS 1987:3, kap B4	Förslag till Nybyggnadsföreskrifter till PBL
SBN 80	Svensk Byggnorm 1980
St BK-N1	Stålbyggnadsnorm 70, med supplement S1
PFS 1979:7	SBN avd 2A, Bärande konstruktioner

1.2 Anvisningarnas status

Föreliggande anvisningar har i stort utformats i likhet med "Gräv-pålanvisningar" IVA's Pålkommission Rapport 58 och visar hur påle och dragstag, försedda med Expanderkropp godtagbart dimensioneras, utförs och kontrolleras.

1.3 Beteckningar

A_p	Tvärsnittsarea hos spets av påle/stag
A_s	Mantelarea hos skaft av påle/stag
B1, B2	Pålgrupps yttermått
c_{ud}	Odränerad skjuvhållfasthet, dimensionerande värde
c_{uk}	Odränerad skjuvhållfasthet, karakteristiskt värde
D	Diameter
d	Diameter hos pålskaft
d_{cr}	Kritiskt gränsdjup
D_f	Fiktiv diameter
EB	Expanderkropp
EB300	Expanderkropp med diameter 300 mm i expanderat tillstånd
E_k	Jordens elasticitetsmodul, karakteristiskt värde
F	Fast lagring
f_{sd}	Mantelmotstånd per areaenhet, dimensionerande värde
f_{sk}	Mantelmotstånd per areaenhet, karakteristiskt värde
GK	Geoteknisk klass
HfA	Hejarsondering metod A
K	Bärighetsfaktor
k_1	Koefficient
K_o	Vilojordtryckskoefficient
K_s	Jordtryckskoefficient
k_z	Koefficient
L	Lös lagring
L_1	Inträngningsdjup i bärande jordlager
f_d	Dimensionerande materialvärde
f_k	Karakteristiskt materialvärde
N_q	Bärighetsfaktor
P_d	Dimensionerande lastupptagningsförmåga
p_g	Uppmätt expansionstryck
p_g^*	Nettoexpansionstryck
p_i	Konstruktivt motstånd
p_l	Uppmätt gränstryck
p_l^*	Nettogränstryck
p_{ld}	Dimensionerande nettogränstryck
P_{pd}	Dimensionerande lastupptagningsförmåga i spetsen av påle/stag
p_{pd}	Dimensionerande spetsbärförmåga per areaenhet
P_{sd}	Dimensionerande lastupptagningsförmåga i mantel hos påle/stag

p_o	Överlagringstryck
q_{cd}	Dimensionerande spetstryck vid trycksondering
r	Tillåten deformation i Bruksgränstillståndet
r_1, s_1	Absolut sättning, förskjutning
r_2, s_2	Lutningsändring
s	Beräknad deformation i Bruksgränstillståndet
R_d	Dimensionerande bärförmåga (Brottgränstillståndet)
S_d	Dimensionerande lasteffekt
SK	Säkerhetsklass
Tr	Trycksondering (mekanisk)
TrS	Spetstrycksondering (registrering av spetstryck och ev. mantelfriktion)
TrSP	Kombinerad spets- och porttrycksondering (registrering av spetstryck, porttryck och ev. mantelfriktion)
z	Djup
α	Faktor
β	Faktor
γ_m	Partialkoefficient som beaktar osäkerheten i material-egenskaperna
γ_n	Partialkoefficient som beaktar valet av säkerhetsklass
η	Faktor
Δp	Tryckförlust i injekteringsslangar
ϕ	Jordens inre friktionsvinkel
ϕ_d	Jordens inre friktionsvinkel, dim.värde
ϕ_k	Jordens inre friktionsvinkel, karakteristiskt värde
γ_c	Injekteringsbrukets tunghet
ν	Poissons tal
ϕ_s	Mantelfriktionsvinkel
σ'_{ho}	Horisontalt effektivt vilojordtryck
σ'_h	Effektivt horisontaltryck
σ'_v	Effektivt vertikalltryck
$\gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \gamma_{m3}$	Partialkoefficient

1.4 Gällande normer

Svensk Byggnorm 1980, SBN 80.

PFS 1979:7, SBN avd 2A, Bärande konstruktioner.

1.5 Klassindelning

1.5.1 Säkerhetsklass

Pålar och stag med Expanderkropp kan utföras i tre säkerhetsklasser SK1, SK2 och SK3, där SK3 är högsta klassen.

Vid val av säkerhetsklass gäller PFS 1979:7, SBN avd 2A. Allmänt gäller att säkerhetsklass skall väljas med hänsyn till konsekvens av brott, se TABELL 1.5.1.

TABELL 1.5.1.

Föreskrivna säkerhetsklasser (PFS 1979:7, Tabell 21A:121)

Konsekvens av brott	Säkerhetsklass
Liten risk för allvarliga personskador	SK1 (Mindre allvarlig)
Någon risk för allvarliga personskador	SK2 (Allvarlig)
Stor risk för allvarliga personskador	SK3 (Mycket allvarlig)

1.5.2 Geoteknisk klass

Pålar och stag med Expanderkropp kan utföras i tre olika geotekniska klasser GK1, GK2 och GK3, där GK3 är högsta klassen.

Förutsättningarna för att GK1 och GK2 skall få tillämpas anges i PFS 1987:3, kap B4, Tabell B4:15.

1.6 Dimensioneringsprinciper

Dimensionering av pålar och stag med Expanderkropp skall utföras i Bruksgränstillståndet och Brottgränstillståndet.

Vid dimensionering kan partialkoefficientmetoden med partialkoefficienter enligt kapitel 1.6.1 och 1.6.2 nedan väljas.

1.6.1 Dimensionering i Bruksgränstillståndet

Beräkning av axiell deformation kan göras enligt kap. 2.4

Det skall gälla att

$$r > s$$

där r = tillåten deformation i Bruksgränstillståndet

s = beräknad deformation i Bruksgränstillståndet

Med deformation avses

r_1 , s_1 absolut sättning, förskjutning

r_2 , s_2 lutningsändring

Förslag på tillåtna deformationer i Bruksgränstillståndet ges i
TABELL 1.6.1

TABELL 1.6.1

Förslag på tillåtna deformationer i Bruksgränstillståndet

Geoteknisk klass	r1 (mm)	r2
GK 1	30 - 50	1:75 - 1:125
GK 2	10 - 40	1:100 - 1:300
GK 3	5 - 15	1:300 - 1:500

Vid beräkning av deformationen s skall dimensionerande verksamma krafter S_d på geokonstruktionen anses vara givna. Jordmaterialets dimensionerande deformationsegenskaper skall bestämmas enligt följande.

1. Det karakteristiska materialvärdet f_k på jordens deformations-egenskap (modul etc) väljs som medelvärdet av utförda bestämningar.

2. Det dimensionerande materialvärdet f_d erhålls genom att dividera det karakteristiska materialvärdet f_k med partialkoefficienterna γ_m och γ_n och faktorn η enligt formeln

$$f_d = f_k / \gamma_m \gamma_n \eta \quad (1.1)$$

eller om ett högt värde på materialvärdet är ogynnsamt gäller

$$f_d = f_k \gamma_m \gamma_n \eta$$

3. Deformationen s beräknas därefter med utnyttjande av det dimensionerande materialvärdet f_d och dimensionerande krafter S_d .

Partialkoefficienten γ_m som beaktar osäkerheten i materialegenskaperna kan uppdelas i γ_{m1} , γ_{m2} och γ_{m3} enligt formeln

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \gamma_{m2} \gamma_{m3} \quad (1.2)$$

- där
- γ_{m1} beaktar osäkerheten i geoteknisk undersökning
 - γ_{m2} beaktar variationen av resultatet av geoteknisk undersökning och undersökningens relativa ytutbredning
 - γ_{m3} beaktar osäkerheten i använd beräkningsmodell

Partialkoefficienten γ_m för geokonstruktion i geoteknisk klass 1-3 väljs enligt PFS 1987:3, kap B4. För geokonstruktion i Geoteknisk klass 3 kan alternativt väljas värden på γ_{m1} , γ_{m2} och γ_{m3} enligt TABELL 1.6.2-1.6.4.

Partialkoefficienten γ_n beaktar valet av säkerhetsklass och väljs enligt TABELL 1.6.5.

Faktorn η beaktar systematiska skillnader mellan en provkropp och en konstruktions materialegenskaper. För jord och berg väljs $\eta=1.0$. Systematisk skillnad beaktas vid bestämning av karakteristiskt värde.

Beräkningsmodellers lämplighet kan bedömas enligt en skala 1-3, där 3 är högsta värde, se TABELL 1.6.4.

TABELL 1.6.2

Rekommenderade värden på partialkoefficienten γ_{m1} i bruksgränstillståndet

Lämplighet geoteknisk undersöknings- metod enligt TABELL 1.6.6	Partialkoefficient γ_{m1} Omfattning undersökningspunkter i antal eller procent av antal pålar/stag på arbetsplatsen (ogynnsammaste värde väljs)		
	<3	10	>20
1	1.7	1.4	1.3
2	1.6	1.3	1.2
3	1.5	1.2	1.1

TABELL 1.6.3

Rekommenderade värden på partialkoefficienten γ_{m2}

Variation	Partialkoefficient γ_{m2} Relativ ytutbredning	
	Liten	Stor
Stor	1.3	1.2
Liten	1.2	1.1

TABELL 1.6.4

Rekommenderade värden på partialkoefficienten γ_{m3}

Lämplighet beräkningsmodell	Partialkoefficient γ_{m3}
1 Ej dokumenterat lämplig	1.2
2 Lämplig	1.1
3 Våldokumenterat lämplig	1.0

Partialkoefficienten γ_n väljs enligt TABELL 1.6.5

TABELL 1.6.5

Föreskrivna partialkoefficienter γ_n i olika säkerhetsklasser
(SBN Tabell 21A:1322)

Partialkoefficient	Säkerhetsklass	SK1	SK2	SK3
γ_n		1.0	1.1*	1.2*

*Vid dimensionering med hänsynstagande till olyckslast och till risken för fortskridande ras får γ_n vara lika med 1.0 oavsett säkerhetsklass.

Olika sonderingsmetoder och deras lämplighet för bedömning av jordens deformationsegenskaper får bedömas från fall till fall. Ett förslag på värdering anges i TABELL 1.6.6.

TABELL 1.6.6

Förslag på värdering av olika undersökningsmetoders lämplighet att bedöma jords deformationsegenskaper i skala 1-3 där 3 är högsta värde

Undersökningsmetod	Lera		Silt		Sand/grus	
	L	F	L	F	L	F
TrS, CPT	1	1	2	2	2	2
Trycksondering, mekanisk	-	1	1	1	2	2
Hejarsondering	-	-	-	1	1	1
Standard Penetration Test	-	-	-	1	1	1
Viktsondering	-	1	1	-	1	-
Vingsondering	1	1	-	-	-	-
Pressometer	1	2	2	2	2	3
Skruvplatta	1	2	2	2	2	1
Dilatometer	-	-	2	2	2	1
Triaxialförsök lab	3	3	3	3	2	2
Skjuvboxförsök lab	2	2	2	2	2	2
Ödometerförsök lab	3	3	2	2	1	1
Konprovning lab	1	1	-	-	-	-
Inj.tryck vid expansion	1	1	2	2	2	2

L = Lös lagring

F = Fast lagring

Alternativa undersökningsmetoder och deras lämplighet kan bedömas i relation till vad som anges i TABELL 1.6.6.

1.6.2 Dimensionering i Brottgränstillståndet

Det skall gälla att

$$R_d > S_d$$

där R_d = dimensionerande bärförmåga
 S_d = dimensionerande lasteffekt

Beräkning av R_d skall göras enligt följande

1. Det karakteristiska materialvärdet f_k på jordens hållfasthet, t ex c_{uk} och $\tan\phi_k$, väljs som medelvärdet av utförda bestämningar. Höga extremvärden, orsakade av stenar, skal, etc, bör inte medtas i medelvärdesbildningen.

2. Det dimensionerande materialvärdet f_d erhålls genom att dividera det karakteristiska materialvärdet f_k med partialkoefficienterna γ_m och γ_n och faktorn η enligt formeln

$$f_d = f_k / \gamma_m \gamma_n \eta \quad (1.3)$$

Den dimensionerande lasteffekten S_d beräknas enligt PFS 1979:7, SBN 21A:13 och :52.

Partialkoefficienten γ_m som beaktar osäkerheten i materialegenskaperna kan uppdelas i γ_{m1} , γ_{m2} och γ_{m3}

där γ_{m1} beaktar osäkerheten i geoteknisk undersökning
 γ_{m2} beaktar variationen av resultatet av geoteknisk undersökning och undersökningens relativa ytutbredning
 γ_{m3} beaktar osäkerheten i använd beräkningsmodell

Partialkoefficienten γ_m för geokonstruktion i geoteknisk klass 1-3 väljs enligt PFS 1987:3, kap B4, TABELL B4:33b. För geokonstruktion i Geoteknisk klass 3 kan alternativt väljas värden på γ_{m1} enligt TABELL 1.6.2, γ_{m2} enligt TABELL 1.6.3 samt γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4.

TABELL 1.6.7

Rekommenderade värden på partialkoefficienten γ_{m1} i brottgränstillståndet.

Lämplighet geoteknisk undersöknings- metod enligt TABELL 1.6.8	Partialkoefficient γ_{m1} Omfattning undersökningspunkter i antal eller procent av antal pålar/stag på arbetsplatsen (ogynnsammaste värde väljs)		
	<3	10	>20
1	1.7	1.6	1.5
2	1.6	1.5	1.4
3	1.5	1.4	1.3

Partialkoefficienten γ_n som beaktar säkerhetsklass väljs enligt TABELL 1.6.5.

Faktorn η beaktar systematiska skillnader mellan en provkropp och en konstruktions materialegenskaper. För jord och berg väljs $\eta=1.0$. Systematisk skillnad beaktas vid bestämning av karakteristiskt värde.

Olika sonderingsmetoder och deras lämplighet för bedömning av jordens hållfasthetsegenskaper får bedömas från fall till fall. Ett förslag på värdering anges i TABELL 1.6.8.

TABELL 1.6.8

Förslag på värdering av olika undersökningsmetoders lämplighet att bestämma jords hållfasthet i skala 1-3 där 3 = högsta värde

Undersökningsmetod	Lera		Silt		Sand/grus	
	L	F	L	F	L	F
TrS, CPT	1	2	2	2	2	2
Trycksondering, mekanisk	-	-	1	1	1	1
Hejarsondering	-	-	-	1	1	2
Standard Penetration Test	-	-	-	1	1	2
Viktsondering	-	1	1	1	1	-
Vingsondering	3	3	-	-	-	-
Pressometer	-	2	2	3	2	3
Skruvplatta	2	3	2	3	2	2
Dilatometer	2	2	1	1	1	1
Triaxialförsök lab	3	3	3	2	2	2
Skjuvboxförsök lab	2	2	3	2	2	1
Enaxligt tryckförsök lab	2	2	-	-	-	-
Konprovning lab	3	2	-	-	-	-
Inj.tryck v expansion	1	2	2	2	2	2

L = Lös lagring

F = Fast lagring

Alternativa undersökningsmetoder och deras lämplighet kan bedömas i relation till vad som anges i TABELL 1.6.8.

Beräkningsmodellens lämplighet kan bedömas enligt en skala 1-3 där 3 är högsta värde, se TABELL 1.6.4.

2 PROJEKTERING

2.1 Geotekniska undersökningar

2.1.1 Allmänt

Vid projektering av grundkonstruktion där expanderkroppar används klarläggs de geotekniska och konstruktiva villkoren, så att:

- tillräcklig säkerhet mot brott i jorden erhålls,
- uppkommande deformationer får sådan storlek att de kan tolereras i befintliga och planerade konstruktioner,
- projektets totalkostnad blir rimlig med hänsyn till förhållandena.

Den geotekniska undersökningen ska ge upplysningar om förhållandena på platsen avseende

- jordlager
- berg
- grundvatten
- jordens bärförmåga
- jordens deformationsegenskaper
- hinder, drivbarhet
- omgivningens villkor

Vidare ska den geotekniska undersökningen utföras så att uppkommande speciella belastningar orsakade av geotekniska förhållanden, t.ex. negativ mantelfriktion uppmärksammas.

2.1.2 Omfattning

Först utförs översiktliga undersökningar för att klarlägga platsens lämplighet för aktuell byggnad samt aktuella alternativ för grundläggning, förankring, etc. Vid dessa undersökningar klarläggs i stort

- jordlagrens art
- fasthet
- mäktighet
- grundvattenförhållandena.

Detta sker lämpligen genom

- glesa sonderingar
- identifierande jordprovtagningar
- vattenståndsobservationer.

Dessa undersökningar utgör normalt ett otillräckligt underlag för en mer detaljerad bedömning av förutsättningarna för grundläggning eller förankring medelst expanderkroppar.

I projekteringsskedet krävs detaljkunskap om jordens egenskaper. I friktionsjord bör undersökningen utföras med sådana metoder att

- jordart
- lagringstäthet
- inre friktionsvinkel (eller gränstryck) kan uttolkas.

I kohesionsjord erfordras främst uppgift om jordart och skjuvhållfasthet.

Undersökningarnas omfattning anpassas till förhållandena på platsen, samt till typ av pålar eller förankringar och kvalitetsklass, som kan bli aktuell.

När förfrågningsunderlaget ska upprättas omarbetas de geotekniska rekommendationerna i projekteringsunderlaget till programhandling. Den geotekniska undersökningen kan behöva kompletteras i detta skede.

En bedömning av olika undersökningsmetoders lämplighet ges i TABELL 1.6.6 och 1.6.8.

2.1.3 Jordlager

Den geotekniska undersökningen ska klarlägga jordlagrens

- typ
- horisontala utsträckning
- tjocklek
- hållfasthet
- deformationsegenskaper.

I lösa jordlager utförs sonderingar med statiska metoder såsom trycksondering (elektrisk eller mekanisk) eller eventuellt viktsondering. I fasta jordar används dynamiska metoder såsom hejarsondering.

För noggrann bestämning av expanderkropparnas last-deformations-egenskaper används fältprovning med exempelvis pressometer eller laborieförsök, t.ex. ödometer-, triaxial- eller skjuvboxförsök. För bestämning av inre friktionsvinkel och elasticitetsmodul i sand och silt ur sonderingsresultaten kan TABELL 2.1 användas.

TABELL 2.1

Indelning av sand i fasthet och motsvarande friktionsvinkel och elasticitetsmodul enligt Bergdahl (1984), Geotekniska undersökningar i fält, SGI information nr 2.

Relativ fasthet	Trycksond TrS, CPT	Viktsond Vim ¹⁾	Hejarsond HfA _{netto}	Frik- tions- vinkel	E-modul
	q_{ck} , MPa	hv/0.2 m	sl/0.2 m	ϕ_k ²⁾	E_k , MPa
mycket låg	0- 2,5	0-10	0- 4	29-32	<10
låg	2,5- 5,0	10-30	2- 8	32-35	10-20
medelhög	5,0-10,0	20-50	6-14	35-37	20-30
hög	10,0-20,0	40-90	10-30	37-40	30-60
mycket hög	>20,0	>80	>25	>40	>60

- 1) I silt och sandig silt skall viktsonderingsmotståndet före utvärdering av inre friktionsvinkel och elasticitetsmodul divideras med faktorn 1.3.
- 2) Angivna värden gäller för sand, för siltig jord görs avdrag med 3° , för grus tillägg med 2° .

För finsilt måste särskild bestämning av inre friktionsvinkel och elasticitetsmodul göras med t.ex. laboratorieprovning eller vid fältprovning.

Sonderingsdjupet ska för enskild påle vara minst 3 ggr expanderkroppens diameter under påspetsen och vid flera tätt sittande pålar 2 ggr pålgruppens bredd.

Lerans skjuvhållfasthet bestäms direkt i jorden genom vingsondering eller genom laboratorieprovning på upptagna jordprover (konprovning m m). Resultat av spetstrycksondering och CPT-sondering kan även användas för bedömning av jordens skjuvhållfasthet. Approximativt gäller att $c_{uk} = q_{ck} / 15$, där q_{ck} är spetsmotståndet, och c_{uk} är jordens karakteristiska ödränerade skjuvhållfasthet.

Vid installation och expansion av expanderkroppar i lera uppstår temporärt nedsättning av hållfastheten. Denna reduktion är störst i lera med hög sensitivitet. Expanderkropparnas lastupptagningsförmåga kan därför vara låg direkt efter expansion i sådana jordar, men tillväxer snabbt med tiden.

2.1.4 Berg

Bergytans nivå eller bergfritt djup är viktig att klarlägga då expanderkroppen används i pålningssammanhang, framförallt för att bestämma lämplig installationsnivå så att det t.ex. inte uppstår några skadliga differenssättningar.

2.1.5 Grundvatten

Den geotekniska undersökningen ska klarlägga grundvattennivåer och eventuellt grundvattnets beskaffenhet. Föreligger misstanke att grundvattnet är aggressivt görs särskild utredning.

2.1.6 Drivbarhet, hinder

Den geotekniska undersökningen ska klarlägga väsentliga uppgifter för drivbarhet av pålar eller dragstag.

Viktiga uppgifter om jordens beskaffenhet i dessa sammanhang är

- lagringstäthet
- kornstorleksfördelning
- sten- och blockförekomst
- ursprung (fyllning) etc.

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

2.1.7 Omgivningens villkor

Nuvarande och framtida inverkan från omgivningen på aktuellt byggnadsobjekt och arbetenas påverkan på omgivningen ska beaktas vid val av grundläggnings- eller förankringsmetod samt val av installationsmetod.

Faktorer som måste beaktas är dels omgivande jordlagars stabilitet vid horisontala och vertikala belastningar eller påtvingade rörelser och dels omgivande byggnaders grundläggningssätt och känslighet för deformationer samt massförträngning vid expansion av expanderkropp.

2.1.8 Geoteknisk redovisning

Den geotekniska redovisningen ska omfatta de parametrar som erfordras för bedömning av expanderpålars eller expanderstags lastupptagningsförmåga. Vidare ska såväl totala som differentiella rörelser hos konstruktionen och omgivningen kunna beräknas på redovisat underlag.

Installationsmetod

Där förhållandena så fordrar ska innan arbetenas påbörjande utredas och anges

- installationsmetod
- expansionsförfarande
- ordningsföljd vid installation
- störning av omgivningen

Installationsmetoden bestäms bl.a. av

- typ av påle eller förankring
- jordens lagringstäthet
- kornstorleksfördelning
- sten- och blockförekomst
- hinder såsom grundrester, ledningar, kablar, etc.

Expansionsförfarande

Expansionsförfarande bestäms främst av

- avstånd till närliggande expanderkroppar
- jordart
- typ av påle eller förankring.

Ordningsföljd vid installation

Ordningsföljden vid installation av Expanderpålar eller Expanderstag planeras så att närbelägna pålar eller förankringar inte skadas vid installation eller expansion.

Minsta centrumavstånd mellan två pålar eller förankringar är 2D i friktionsjord och 3D i kohesionsjord (D är diameter hos expanderkropp).

Störning av omgivningen

I samband med installationsarbetet kan, på grund av sten- eller blockförekomst eller andra hinder i jorden, neddrivning av pålar eller förankringar försvåras. Vattenspolning vid borrhningsarbete kan medföra risk för skador på omgivningen. Luftspolning bör ej användas.

Om störningar av installationen av pålar eller förankringar utgör risk för omgivningen ska detta anges.

2.2 Dimensionering i brottgränstillstånd

2.2.1 Allmänt

Dimensionerande lastupptagningsförmågan P_d hos Expanderpålar eller Expanderstag separeras vid dimensioneringen i spetsbärförmåga P_{pd} och mantelmotstånd P_{sd} . För expanderkroppen gäller att:

$$P_d = P_{pd} + P_{sd} = p_{pd} A_p + f_{sd} A_s \quad (2.1)$$

där

p_{pd} = dimensionerande spetsbärförmåga per areaenhet, kPa

f_{sf} = dimensionerande mantelmotstånd per areaenhet, kPa

A_p = expanderkroppens tvärsnittsarea, m²

A_s = mantelarea, m²

Om skaftet på pålen eller förankringen samverkar med expanderkroppen får detta beaktas vid beräkning av lastupptagningsförmågan.

Deformationsstorleken för att mobilisera fullt mantelmotstånd är endast några få millimeter, medan det krävs en deformation i friktionsjord av 2-10% och i kohesionsjord 10-20% av diametern hos expanderkroppen för att uppnå full spetsbärförmåga.

Den dimensionerande lastupptagningsförmågan hos Expanderpålar eller Expanderstag kan bestämmas enligt två huvudprinciper, antingen baserat på geotekniska undersökningsresultat eller på installationsresultat (injekteringstryck).

Samma beräkningsprinciper kan användas för att dimensionera både pålar och förankringar. Dock finns vissa skillnader, vilka redogörs för under respektive rubrik.

Storleken av dimensionerande bärförmåga bestäms huvudsakligen av:

- o jordlagerföljden
- o jordens hållfasthet
- o jordens deformationsegenskaper
- o typ av belastning
- o lastens varaktighet

2.2.2 Påle

2.2.21 Allmänt

Olika typer av sondering eller fältprovningar kan användas för att bestämma pålars bärförmåga. Vid dimensionering av expanderkroppar bör användas sonderingsmetoder som med god noggrannhet bestämmer jordens fasthet. En sådan metod är CPT-sondering (CPT = Cone Penetration Test) som mäter spetsmotstånd, friktionsmotstånd och/eller genererat portryck vid spetsen.

En jämförelse mellan resultaten från olika sonderingsmetoder finns redovisad i TABELL 2.1. Vid översättning mellan olika typer av sondering bör stor försiktighet iakttas. Översättningen påverkas av sådana faktorer som typ av jord, djupet under markytan och grundvattenytans läge. Till exempel påverkas motståndet vid viktsondering starkt av mantelmotståndet längs borrhängarna. Fastheten övervärderas därför vid sonderingsdjup större än 10 à 15 m.

2.2.22 Dimensionerande spetsbärförmåga

Vid bestämning av Expanderpålens dimensionerande spetsbärförmåga kan resultaten från spetstrycksondering (CPT-sondering) direkt användas:

$$P_{pd} = k_1 q_{cd} A_p \quad (2.2)$$

där

$$\begin{aligned} P_{pd} &= \text{Expanderpålsens dimensionerande spetsbärförmåga, kN} \\ k_1 &= \text{faktor beroende av jord} = 1,0 \text{ i silt och } 0,5 \text{ i sand} \\ q_{cd} &= \text{dimensionerande spetsmotstånd erhållet ur CPT-sondering eller spetstrycksondering, kPa} \\ A_p &= \text{expanderkroppens tvärsnittsarea, m}^2 \end{aligned}$$

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

Det angivna spetsmotståndet q_{cd} beräknas som medelvärdet inom ett avstånd från 3 påldiametrar ovanför pålspetsen till en påldiameter under densamma. Maximala dimensionerande spetsbärförmågan per ytenhet begränsas till 5 MPa.

Pålsens dimensionerande spetsbärförmåga kan även bestämmas ur jordens friktionsvinkel enligt

$$P_{pd} = 50 N_q A_p \tan \phi_d \quad (2.3)$$

där

$$\begin{aligned} N_q &= \text{bärighetsfaktor enligt FIGUR 2.2.2} \\ \phi_d &= \text{jordens dimensionerande inre friktionsvinkel} \end{aligned}$$

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

Bärighetsfaktorn N_q är en funktion av jordens effektiva inre friktionsvinkel och förhållandet mellan pållängd och påldiameter.

Då expanderkroppen är installerad i lera bestäms spetsbärförmågan P_{pd} ur

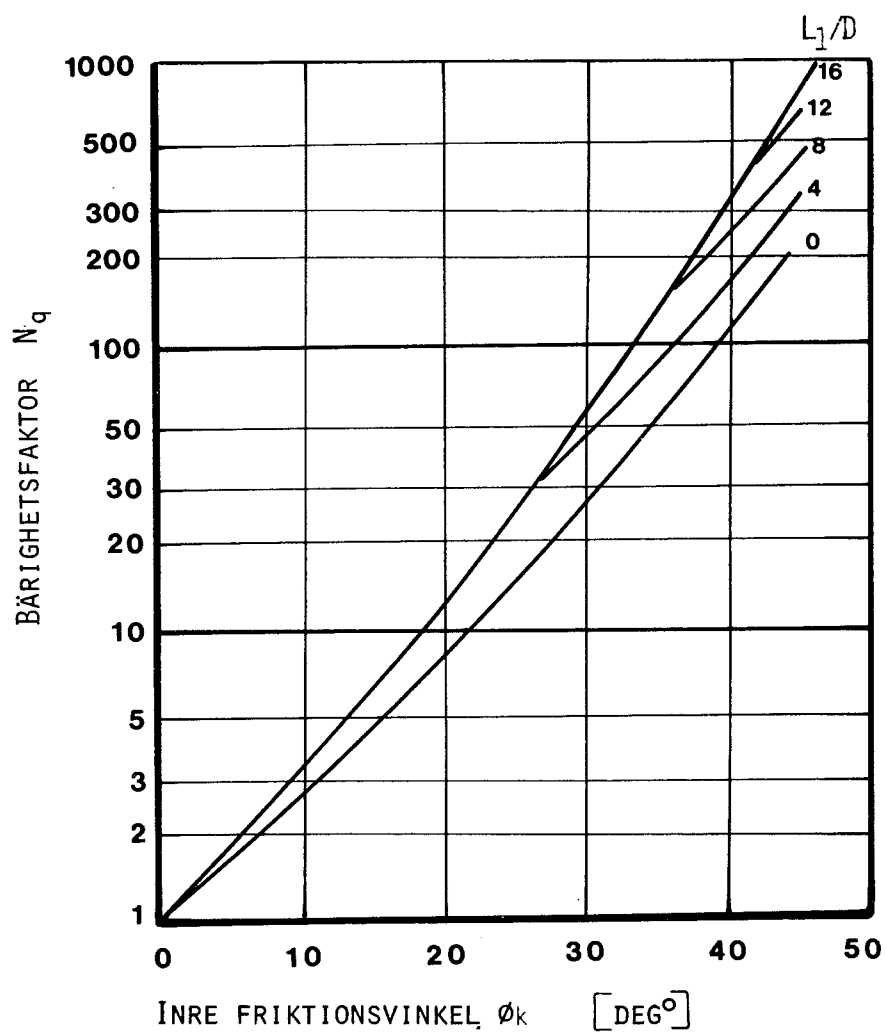
$$P_{pd} = 9 c_{ud} A_p \quad (2.4)$$

där

$$\begin{aligned} c_{ud} &= \text{dimensionerande odränerad skjuvhållfasthet vid spetsnivån, kPa} \\ A_p &= \text{expanderkroppens tvärsnittsarea, m}^2 \end{aligned}$$

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

I kohesionsjord är bärförmågan lägre än ovan beräknad bärförmåga omedelbart efter installationen beroende på omrörningen av jorden närmast pålen, men vanligtvis har rekonsolidering skett inom 1–3 månader.

FIGUR 2.2.2 Bärighetsfaktor N_q

Expanderpålens dimensionerande spetsbärförmåga kan även beräknas på basis av resultat av pressometerförsök enligt:

$$P_{pf} = (\sigma'_V + K p_{ld}^*) A_p \quad (2.5)$$

där

σ'_V = effektiva vertikaltrycket på grundläggningsnivån, kPa

p_{ld}^* = $p_{ld} - \sigma'_h$ = dimensionerande nettogränstryck, kPa

p_{ld} = dimensionerande gränstryck, kPa

σ'_h = effektiva horisontaltrycket på spetsnivån, kPa

K = bärighetsfaktor

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

Bärighetsfaktorn ökar med djupet under markytan intill ett kritiskt gränsdjup d_{cr} . Den maximala bärighetsfaktorn erhålls ur FIGUR 2.2.3. Vid bestämning av K ska gränstrycket p_i^* ingå utan reduktion med avseende på partialkoefficienter.

2.2.23 Mantelmotstånd

Om CPT-sondering med mätning av det lokala mantelmotståndet utförs kan detta användas direkt vid bestämning av Expanderkroppens mantelmotstånd. Om däremot endast spetstrycket mäts bestäms expanderkroppens dimensionerande mantelmotstånd f_{sd} ur:

$$f_{sd} = \beta q_{cd} \quad (2.6)$$

där β är en faktor som huvudsakligen beror av påltyp och jordart. För sand är $\beta = 0,005$.

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

Mantelmotståndet begränsas till 50 kPa.

Mantelmotståndet i friktionsjord kan även beräknas ur sambandet:

$$f_{sd} = K_s \sigma'_V \tan \phi_{sd} \quad (2.7)$$

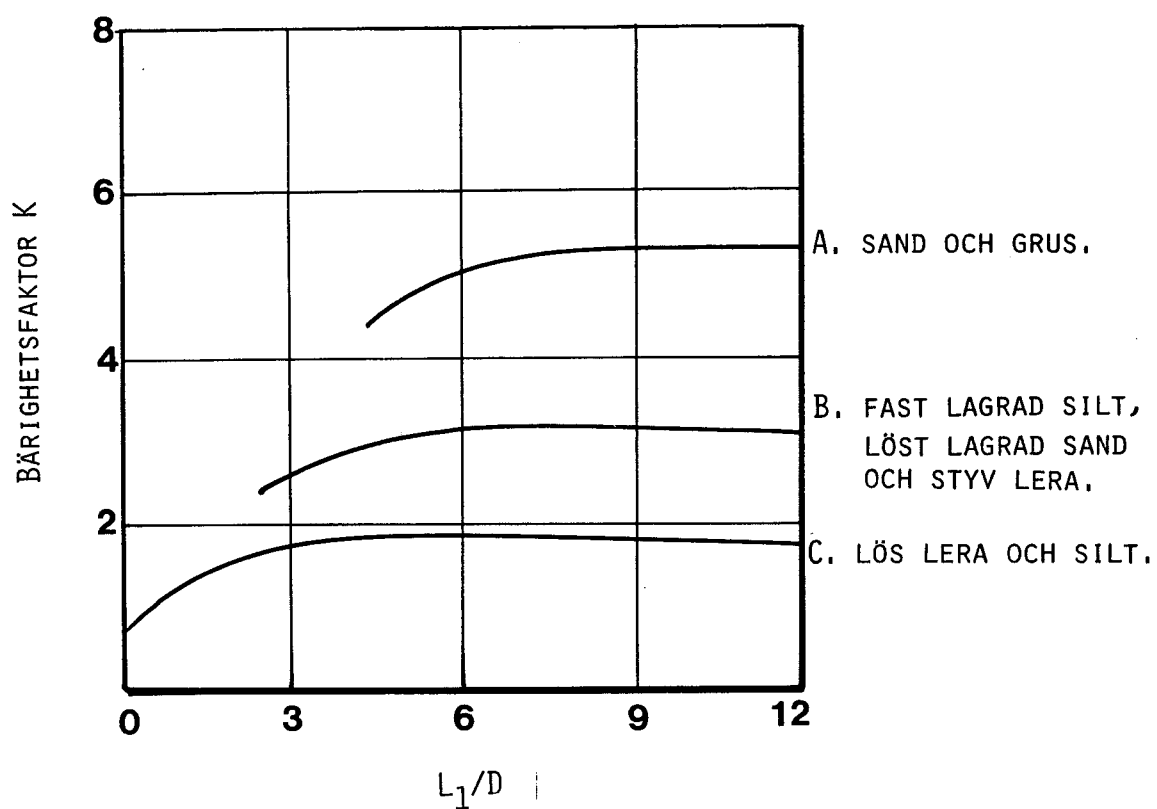
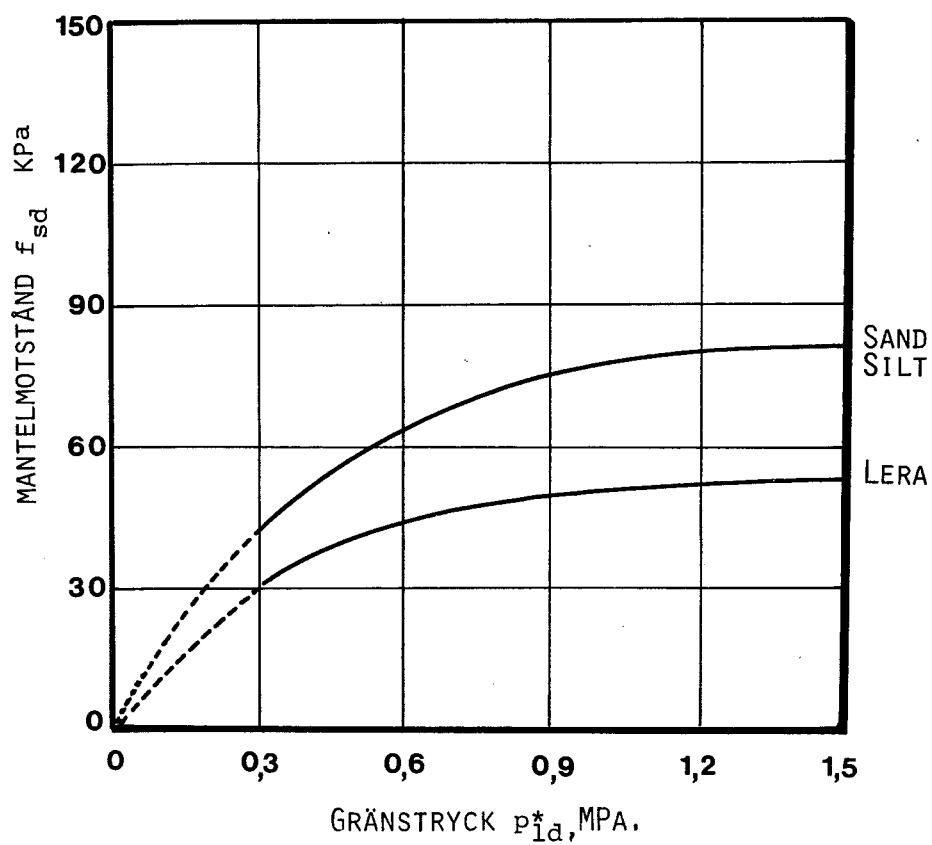
där

K_s = jordtryckskoefficient, 1,0 i lös lagrad jord och 2,0 i fast lagrad jord. Interpolering är tillåten.

σ'_V = vertikalt effektivtryck, dock högst det tryck som motsvarar djupet $20d$ under markytan där d är pålskaftets diameter.

ϕ_{sd} = mantelfriktionsvinkel = 20° för Expanderkroppen.

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

FIGUR 2.2.3 Bärighetsfaktor K 

FIGUR 2.2.4 Mantelmotståndet som funktion av jordens gränstryck

Det dimensionerande mantelmotståndet f_{sd} kan även bestämmas ur resultat från pressometerförsök enligt FIGUR 2.2.4.

Om pålen är installerad i kohesionsjord bestäms mantelmotståndet av lerans odränerade skjuvhållfasthet och en reduktionsfaktor enligt:

$$f_{sd} = \alpha c_{ud} \quad (2.8)$$

där

c_{ud} = lerans odränerade skjuvhållfasthet

α = reduktionsfaktor. Sätts till 0,8 i lera med $c_{uk} < 50$ kPa och 0,5 då $c_{uk} > 50$ kPa.

Dimensionerande mantelmotstånd begränsas till 30 kPa i lera.

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

2.2.24 Pålskaft

Samma beräkningsförfarande, som anges i 2.2.23 kan användas för pålskaftet. Installationsmetoden har dock stor betydelse. För förborrade pålar får mantelmotståndet längs skaftet sättas till maximalt 50% av de värden som beräknas för expanderkroppen, medan för slagna pålar får samma mantelmotstånd användas både för expanderkropp och pålskaft.

Dimensionering med hänsyn till brott i pålmaterialet ska utföras enligt Nybyggnadsföreskrifterna PFS 1987:3, kap B4.

2.2.25 Pålar i grupp

Bärförmågan hos en pålgrupp som helhet skall kontrolleras för grupp där centrumavståndet mellan pålarna är mindre än 6 ggr påldiametern. Beräkningen delas upp i två delar. Dels beräknas bärförmågan för varje enskild påle och dels för pålgruppen som helhet. Pålgruppen fungerar därvid som en fiktiv påle med en fiktiv diameter D_f :

$$D_f = 2 \sqrt{B_1 B_2 / \pi} \quad (2.9)$$

där

B_1 och B_2 är pålgruppens yttermått.

Vid beräkning av mantelmotståndet hos pålgruppen sätts mantelfriktionsvinkeln lika med jordens effektiva inre friktionsvinkel dimensionerande värde. I övrigt sker beräkningen enligt samma beräkningsförfarande som för enskild påle.

2.2.3 Förankring

2.2.31 Allmänt

Med en förankring menas i detta sammanhang en påle eller ett dragstag med en expanderkropp i änden som används för att ta upp axiella dragkrafter. Dragkraftskapaciteten består av ett ändmotstånd mot expanderkroppens ändyta och mantelmotstånd mot dess mantelyta. Om pålen eller förankringen i övrigt samverkar med expanderkroppen får deras mantelmotstånd även inräknas i totala dragförmågan. Egenviktens komponent i dragriktningen får även medtas.

2.2.32 Ändmotstånd

Vid bestämning av förankringens ändmotstånd får samma metoder användas som vid påldimensionering, se 2.2.22. Dock begränsas dragförmågan till 70% av den bärförmåga som erhålls vid påldimensionering. För expanderkropp installerad i friktionsjord införs även reduktionsfaktorer enligt tabell 2.2.1.

Tabell 2.2.1

Reduktionsfaktorer för bestämning av Expanderkroppars ändmotstånd i friktionsjord.

Diameter Expanderkropp	Reduktionsfaktor
0,3	1,0
0,4	0,9
0,5	0,8
0,8	0,5

I kohesionsjord görs ingen reduktion av ändmotståndet utan det beräknas på samma sätt som för pålar. Dock är förutsättningen att expanderkroppen är installerad minst 4 ggr dess diameter under markytan.

2.2.33 Mantelmotstånd

Expanderkroppens förmåga att uppta dragkrafter längs dess mantelyta får beräknas på samma sätt som för pålar, se 2.2.23.

2.2.34 Skaft

Om expanderkropp och övriga delar av förankringen samverkar vid dragkraftsbelastning överförs en del av lasten via förankringens eller pålens mantelyta. Den maximala lastupptagningsförmågan beräknas på samma sätt som för tryckt påle, se 2.2.24.

2.2.35 Förankringar i grupp

Dragkraftskapacitet på förankringar i grupp beräknas som den minsta av:

- o summan av de enskilda förankringarnas dragkraftskapacitet
- o dragkraftskapaciteten för gruppen som helhet.

Excentriciteten hos draglasten beaktas. Vid beräkning av gruppen som helhet fungerar den som en fiktiv förankring med diametern

$$D_f = (B_1 + B_2)2/\pi \quad (2.10)$$

där

B_1 och B_2 är gruppens yttermått.

Vid beräkning av ändmotståndet i friktionsjord för hela gruppen begränsas detta till 70% av den bärförmåga som erhålls vid påldimensionering enligt 2.2.25. Dessutom införs reduktionsfaktorn 0,5.

Vid beräkning av mantelmotståndet sätts mantelfriktionsvinkeln lika med jordens effektiva inre friktionsvinkel. I övrigt sker beräkningen enligt samma förfarande som för enskild förankring.

2.3 Beräkning av axiell bärförmåga baserad på expansionen av expanderkropp

2.3.1 Allmänt

Under installationsarbetet ges möjlighet till ytterligare information om bl.a. jordlagerföljd och lagringstäthet. Vid slagning, tryckning eller borrarning kan ofta gränsen mellan olika jordlager observeras, liksom jordens sammansättning, vilket kan ha stor betydelse vid slutligt val av installationsdjup. Om pumptrycket och injekteringsvolymen registreras under expansionen av expanderkroppen kan detta utnyttjas vid kontroll av expanderkroppens lastupptagningsförmåga. Samma beräkningsmetod kan användas som då dimensionering sker på basis av pressometerresultat.

Expansionstrycket som krävs för att expandera expanderkroppen beror av jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper. I sand och grus är det huvudsakligen en funktion av friktionsvinkeln och kompressibiliteten, medan det i lera är skjuvhållfastheten som är den viktigaste faktorn.

Expansion av en expanderkropp har därför stor likhet med ett pressometerförsök.

Det karakteristiska värdet på nettogränstrycket p_{lk}^* , dvs skillnaden mellan uppmätt gränstryck och jordens horisontaltryck, kan för kohesionsjord bestämmas ur

$$p_{lk}^*/c_{uk} = 1 + \ln(E_k/(c_{uk}(1+\nu))) \quad (2.11)$$

där

E_k = jordens karakteristiska elasticitetsmodul

ν = Poisson's tal (se Ekv. 2.19)

c_{uk} = jordens karakteristiska odränerade skjuvhållfasthet

I lera är nettogränstrycket 5 à 6 ggr skjuvhållfastheten medan det i sand och grus vanligtvis varierar mellan 0,5 och 4 MPa och i silt mellan 0,2 och 3 MPa beroende på jordens lagringstäthet.

Vid injekteringen av cementbruk mäts förutom expansionstrycket, även det tryck som krävs för att övervinna motståndet i injekteringsslangarna. Det karakteristiska nettoexpansionstrycket p_{gk}^* bestäms därefter ur:

$$p_{gk}^* = p_{gk} + z\gamma_c - p_i - \Delta p - \sigma'_{ho} \quad (2.12)$$

där

p_{gk} = karakteristiskt expansionstryck, MPa

γ_c = injekteringsbrukets tunghet, MN/m³

σ'_{ho} = horisontalt effektivt vilojordtryck, MPa

p_i = konstruktivt motstånd i expanderkroppen, MPa

Δp = tryckförlust i injekteringsslangar, MPa

z = installationsdjup, m

Storleken på γ_c är 0,02 MN/m³ och p_i ca 0,02-0,03 MPa (0,2-0,3 bar)

Jordens effektiva vilojordtryck σ'_{ho} kan beräknas ur

$$\sigma'_{ho} = K_o \sigma'_V \quad (2.13)$$

där

K_o = vilojordtryckskoefficienten

σ'_V = effektivt vertikalltryck

Vilojordtryckskoefficienten beror huvudsakligen av jordart och spänningshistoria och kan i friktionsjord beräknas ur

$$K_o = v/(1-v) \quad (2.14)$$

eller

$$K_o = 1 - \sin \phi_k \quad (2.15)$$

där

v = Poissons tal

ϕ_k = jordens karakteristiska inre friktionsvinkel

I lera är vanligtvis $K_o = 0,5-0,8$ om det är en normalkonsoliderad jord och större än 1,0 om den är överkonsoliderad.

γ , z , σ'_{ho} och p_i har vanligtvis den storleken att de tar ut varandra i ekvationen ovan varför nettoexpansionstrycket kan skrivas

$$p_{gk}^* = p_{gk} - \Delta p_k \quad (2.16)$$

Båda trycken p_{gk} och Δp_k ska registreras.

Då expansionsresultaten används vid dimensionering av expanderkroppar används medelpumptrycket mellan 20 och 80% av uppnådd fyllnadsvolym hos expanderkroppen.

2.3.2 Påle

2.3.21 Spetsbärförmåga

Vid bestämning av Expanderpålens dimensionerande spetsbärförmåga kan samma beräkningsprincip användas som då dimensionering sker på basis av pressometerförsök. Spetsbärförmågan kan då skrivas som

$$P_{pd} = (\sigma'_V + K p_{gd}^*) A_p \quad (2.17)$$

där

- P_{pd} = dimensionerande spetsbärförmåga, kN
 σ'_v = effektivt vertikaltryck på grundläggningsnivån, kPa
 p_{gd}^* = dimensionerande nettoexpansionstryck, kPa
 K = bärighetsfaktor enligt FIGUR 2.2.3.

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.

2.3.22 Mantelmotstånd

Expanderkroppens dimensionerande mantelmotstånd f_{sd} kan bestämmas ur FIGUR 2.2.4 om nettogränstrycket ersätts med f_{sd} nettoexpansionstrycket p_{gd}^* .

2.3.23 Pålskaft

Vid bestämning av pålskaftets mantelmotstånd kan expanderkroppens expansionsresultat användas.

Samma beräkningsförfarande som för expanderkroppens mantelytor, kan användas för pålskaftet, se 2.3.22. För förborrade pålar får mantelmotståndet längs skaftet sättas till max 50% av de värden som beräknats för expanderkroppen, medan för slagna pålar får samma mantelmotstånd användas både för expanderkropp och pålskaft.

2.3.3 Förankring

2.3.31 Ändmotstånd

Vid bestämning av förankringens ändmotstånd ur injekteringsresultaten kan samma metod användas som för dimensionering av pålar, se 2.3.21. Dock ökas partialkoefficienten γ_m med 30%.

Tabell 2.3.1

Reduktionsfaktorer för bestämning av Expanderkroppars ändmotstånd i friktionsjord.

Diameter Expanderkropp	Reduktionsfaktor
0,3	1,0
0,4	0,9
0,5	0,8
0,8	0,5

I kohesionsjord görs ingen reduktion av ändmotståndet utan det beräknas på samma sätt som för pålar. Dock är förutsättningen att expanderkroppen är installerad minst 4 ggr dess diameter under markytan.

2.3.32 Mantelmotstånd

Expanderkroppens förmåga att uppta dragkrafter längs dess mantelyta får beräknas på samma sätt som för pålar, se 2.3.22.

2.3.33 Skaft

Om expanderkropp och övriga delar av förankringen samverkar vid dragbelastning överförs en del av lasten vid förankringens eller pålens mantelyta. Den dimensionerande lastupptagningsförmågan beräknas på samma sätt som för tryckt påle, se 2.2.24.

2.4 Beräkning av axiell förskjutning

Godtagbar storlek av relativa rörelsen mellan överbyggnaden eller konstruktionen och jorden för att axiell kraft i påle eller dragstag skall kunna överföras till jorden måste alltid fastläggas vid dimensionering.

Påles eller dragstags förskjutning av axiell kraft är beroende av de geotekniska förhållandena och påles eller dragstags elastiska och plastiska sammantryckning eller töjning.

Uppträdande axiell förskjutning hos påle eller dragstag skall beaktas vid dimensionering av överbyggnad eller konstruktion och angränsande pålar eller dragstag.

Vid beräkning av påles axiella förskjutning kan följande beräkningsmodell användas.

Pålspets

1. Förskjutningen vid uppnådd spetsbärförmåga kan bedömas vara 2-10% i friktionsjord och 10-20% i kohesionsjord av expanderkroppens diameter. Ju finkornigare eller ju lösare lagrad jord desto större förskjutning. Rätlinjig interpolering får tillämpas för att bedöma förskjutningen vid lägre spetsbelastning. Denna metod är ej dokumenterad lämplig.

2. Förskjutningen kan beräknas enligt formeln

$$s = S(1-\nu)/2k_z D q_{cd} \quad (2.18)$$

där

S = Aktuell spetsbelastning

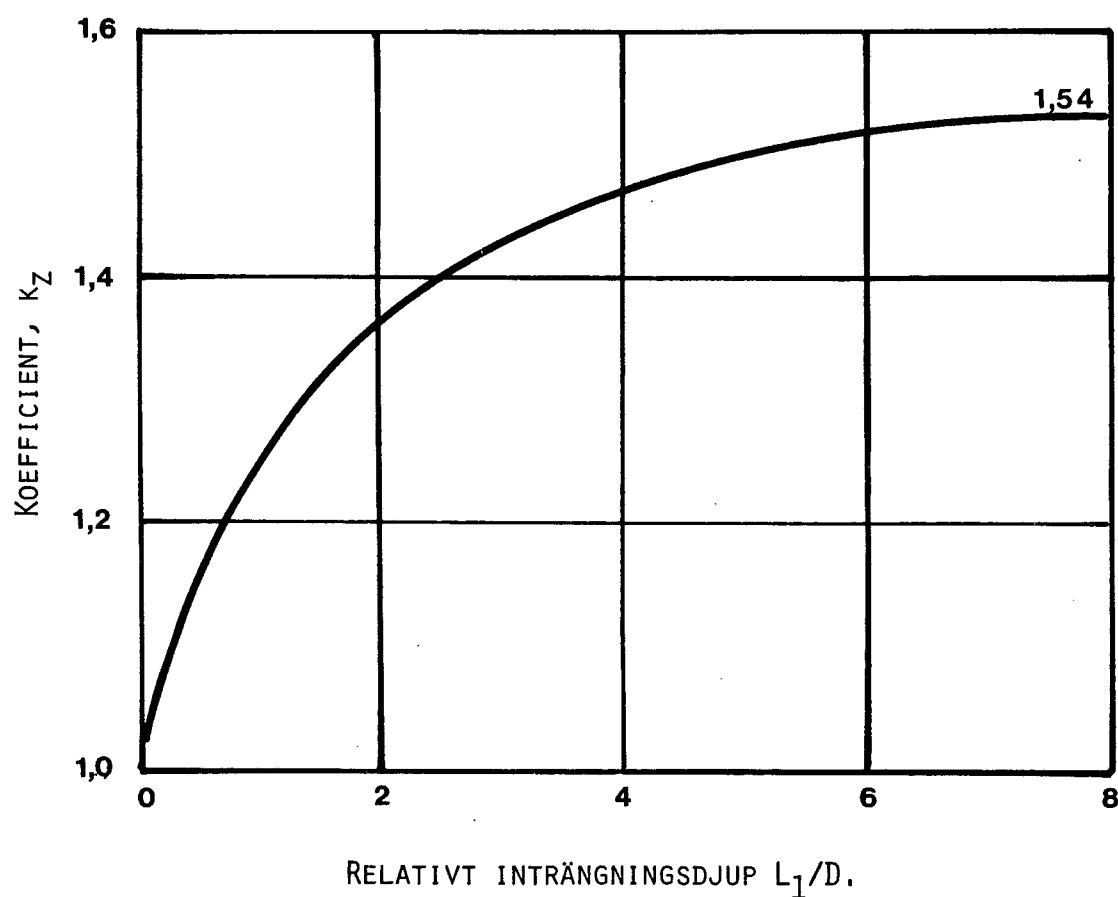
D = Expanderkroppens diameter

ν = Poisson's tal

k_z = Koefficient enligt fig. 2.4

L_1 = Inträngningsdjup i bärande jordlager

Partialkoefficienten γ_{m3} enligt TABELL 1.6.4 väljs till lägst 1,1.



FIGUR 2.4 Koefficient k_z som funktion av relativt inträngningsdjup L_1/D

Uttrycket ovan bygger på att $E_{sk} = 2 \text{ à } 4 q_{ck}$

där

E_{sk} = jordens karakteristiska elasticitetsmodul.

Poisson's tal kan bestämmas ur uttrycket

$$\nu = (1 - \sin \phi_k) / (2 - \sin \phi_k) \quad (2.19)$$

där

ϕ_k = jordens inre karakteristiska friktionsvinkel

Jordens friktionsvinkel kan bestämmas enligt Tabell 2.1.

Denna beräkningsmetod kan anses vara "lämplig", jämför Tabell 1.7.3.

3. Maximal mantellast får antas uppnådd vid 5 mm förskjutning i kohesionsjord och 10 mm förskjutning i friktionsjord.

2.5 Belastningar

De belastningar som kan förekomma är beroende på applikationsområde.

2.5.1 Påle

Laster från överbyggnaden beräknas enligt gällande bestämmelser och uppställda funktionskrav.

Påle med expanderkropp är normalt utformad så att skaftet har tvärmåttet 70-170 mm och längden minst 5 à 10 m. Omgivande jord belastar normalt endast pålskaftet direkt i form av ensidigt jordtryck, negativ mantelfriktion, last från tjäle m.m. Ensidigt jordtryck på påle medför normalt endast böjspänningar i pålskaftet medan last av negativ mantelfriktion och från tjäle kan föras ned till expanderkroppen.

Om påle påverkas av stora lastvariationer eller av dynamiska laster beaktas detta vid val av dimensionerande lasteffekt.

2.5.2 Förankring

Dragbelastning från spont, delplacementkropp etc beräknas enligt gällande praxis och uppställda funktionskrav.

Vid val av brukslast skall konsekvensen av stagbortfall beaktas.

2.6 Materialkvaliteter

2.6.1 Påle

Pålskaft

Som skaft kan typgodkänd påle användas. Eljest gäller att i pålningsklasserna A och B skall stålet i pålskaftet vara oanvänt med en undre sträckgräns av minst 200 MPa. Till pålskaft som skarvas genom svetsning skall användas stål av lägst kvalitetsklass B (enligt tabell 21.1 StBK-N1 "Stålbyggnadsnorm 70", utgåva 2), exempelvis stål SIS 1312. Om den svetsade pålskarven i samband med slagning vid installationen beräknas ha lägre temperatur än $+5^{\circ}\text{C}$ skall dock stålet vara av lägst kvalitetsklass C, exempelvis stål SIS 21xx.

Skarvar

För en påle i pålningsklass A godtas att skarvning sker genom svetsning. För påle i pålningsklasserna A och B godtas att skarvning sker genom svetsning eller sammanfogning med särskilt utformade skarvprofiler. Vid skarvning med svetsning måste en särskild utredning göras beträffande fogens utformning och valet av svetsmetod. Exempel på godtagna verifikationsmetoder för pålskarvar framgår av SBN Godkännanderegler 1975:8 "Pålar".

Konstruktionsstål till kraftöverförande delar i pålskarvar skall vara av lägst kvalitetsklass B. Gjutjärn till skarvbeslag skall ha en sådan seghet att skarven kan motstå det antal slag som anges i avsnitt 2.2 i SBN Godkännanderegler 1975:8 "Pålar". Vidare skall materialets omslagstemperatur vara lägre än -30°C .

I samband med injekteringen av expanderkroppen minskar kroppens längd. Beroende på jordlager- och inspänningsförhållanden av pålskaftet sker en varierande neddragning av pålskaftet. Förutom påslagningen ska pålskaftet därför kunna motstå en dragkraft motsvarande pålens totala mantelmotstånd.

Pålskarv för pålskaft av stål skall även kunna motstå slagning utförd enligt de slagningsregler som anges i avsnitt 2.2 i SBN Godkännanderegler 1975:8 "Pålar" under minst 3000 (vid tryckluftshejare 6000) slag. Pålskarv skall vidare kunna överföra dragkraften $30A \text{ MN}$ där A är pålskaftets tvärsnittsytta i m^2 . Böjstyvheten hos skarvad pålskaftsdel skall vid provning enligt avsnitt 2.3 i SBN Godkännanderegler 1975:8 "Pålar" inom momentintervallet 12 à $32A\sqrt{A} \text{ MNm}$ uppgå till minst $12500A^2 \text{ MNm}^2$ där A är pålskaftets tvärsnittsytta i m^2 . Pålskarv skall slutligen kunna överföra momentet $40A\sqrt{A} \text{ MNm}$.

2.6.2 Förankring

I tillämpliga delar gäller för säkerhetsaspekter m m vad som sägs i Rapport T30:1979 "Förankrade sponter", Statens Råd för Byggnadsforskning.

Expanderkropp

Inget krav ställs på plåtmaterialet i expanderkroppen. Ingående ståldetaljer i expanderkroppen skall vara utförda i lägst kvalitet SIS 1312. Injekteringsbruket som tillförs expanderkroppen skall vara en blandning av vatten och cement med blandningsförhållanden enligt kapitel 3.3.2.

3 UTFÖRANDE

3.1 Allmänt

Installation av Expanderpåle och Expanderstag kan utföras enligt samma huvudprinciper. Metod väljs med hänsyn till de lokala förutsättningarna på arbetsplatsen. Följande faktorer har betydelse för den valda metoden eller kombination av metoder:

- jordlagerförhållanden
- tillgängligt utrymme på arbetsplatsen, t ex takhöjd
- tillåtna vibrationer
- tillåten bullernivå
- permanent eller temporär installation
- installationsdjup

Neddrivning av Expanderkropp i jorden kan utföras med olika metoder, t.ex.

- slagning
- tryckning
- borrar
- vattenspolning
- vibrering

I dessa anvisningar beskrivs endast installation medelst slagning och borrar.

3.2 Arbetsledning

Installation av Expanderkroppar fordrar erfarenhet och kompetens av grundläggnings- och/eller grundförstärkningsarbeten. Det fordras dessutom erfarenhet från tidigare installationer av Expanderpålar-/stag eller att nödvändig assistans erhålles av kompetent person i samband med igångsättningen av projektet ifråga.

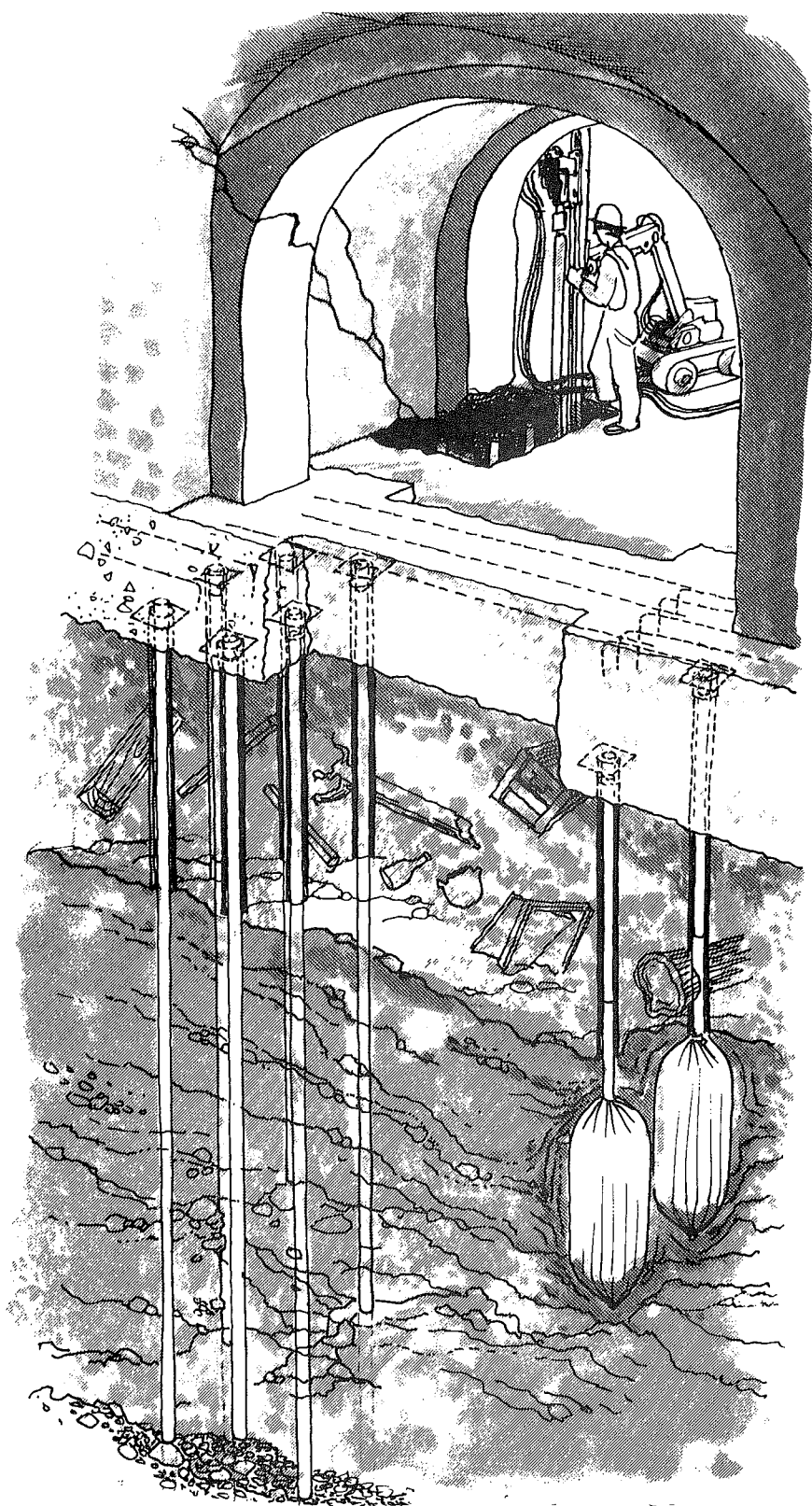
3.3 Installationsmetodik

3.3.1 Expanderpåle

3.3.11 Grundförstärkning

Vid installationen svetsas Expanderkroppen till änden av ett slag/-injekteringsrör av typ Bjurströmspåle, Stålplastpåle eller annat likvärdigt rör. Expanderkroppens anslutningsstos är utformad så att tätningssmassan i Expanderkroppen ej upphettas och smälter vid normal svetsning. Svetsen och området runt svetsen ska rostskyddsbehandlas före installation.

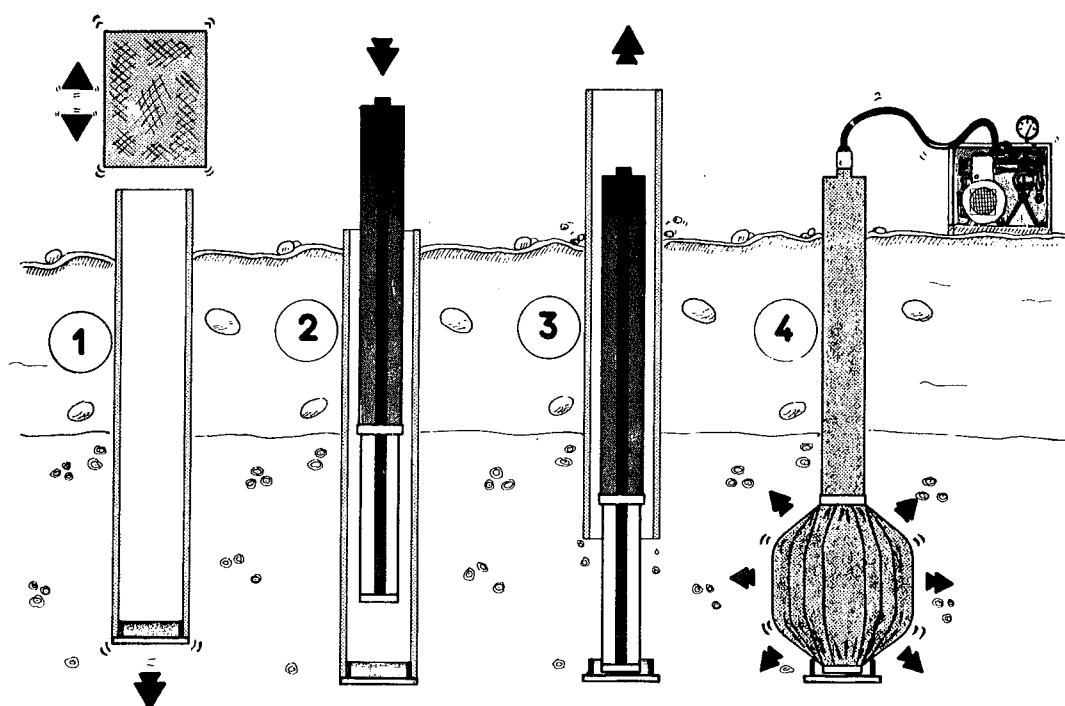
När G-pålen skall användas förses Expanderkroppen med ett koniskt fäste som slås ihop med G-pålen vid installation.



FIGUR 3.3.11 Expanderpålning i samband med grundförstärkning.

3.3.12 Grundläggning

Expanderpålar kan även användas i samband med nybyggande där man normalt använder betongpålar, grävpålar eller stålkärnepålar. Pålskaftet kan vara av typ G-påle eller stålrör som kan installeras genom direkt slagning i förprylat hål eller med hjälp av foder-rörsslagning enligt FIGUR 3.3.12.



FIGUR 3.3.12 Installation av Expanderpåle i samband med grundläggning

1. Ett foderrör med en löst monterad pålsko slås ned i jorden med hjälp av ett pålslaggregat.
2. När foderröret slagits ned till önskat djup förs en Expanderpåle, bestående av en expanderkropp, pålskaft, armeringsstål och injekteringsanslutning ned till botten av röret. Pålar längre än 13 meter bör av hanteringstekniska skäl skarvas på plats.
3. Foderröret dras därefter upp för att återanvändas. Pålskon blir kvar i jorden.
4. Injektering av Expanderkroppen.

Kombinationen liten foderörsarea, kort påle och kort slagtid gör Expanderpålen lämplig i känsliga miljöer där man vill minimera vibrationer, buller och påfrestningar på omgivande byggnader.

Efter sammanfogningen av det första pålskaftelementet och Expanderkroppen, drivs dessa ned i jorden. Därefter skarvas övriga pålelement på vanligt sätt, tills avsett djup nås. Vid pålning i trånga utrymmen är det lämpligt att använda de kortare Expanderkropparna EB 300 - EB 500.

Är jorden blockig bör prylning, förborrning eller lokal schaktning först ske. I vissa fall är det lämpligt att pålarna förs ned i foderrör som slagits ner eller borraras ner med centrisk eller excentrisk borrar-krona. Exempel på borraringsmetod med centrisk borrar-krona är Alvik J och med excentrisk borrar-krona Alvik X och Odex.

Vid borrning intill sättningskänsliga byggnader bör borrar-metoder, som medför risk för materialtransport, undvikas.

När borrningen är avslutad ska uppdragning av borrarstången ur foderröret ske långsamt och med tillförsel av spolmedel så att in-trängning av jordmaterial ej sker i foderröret.

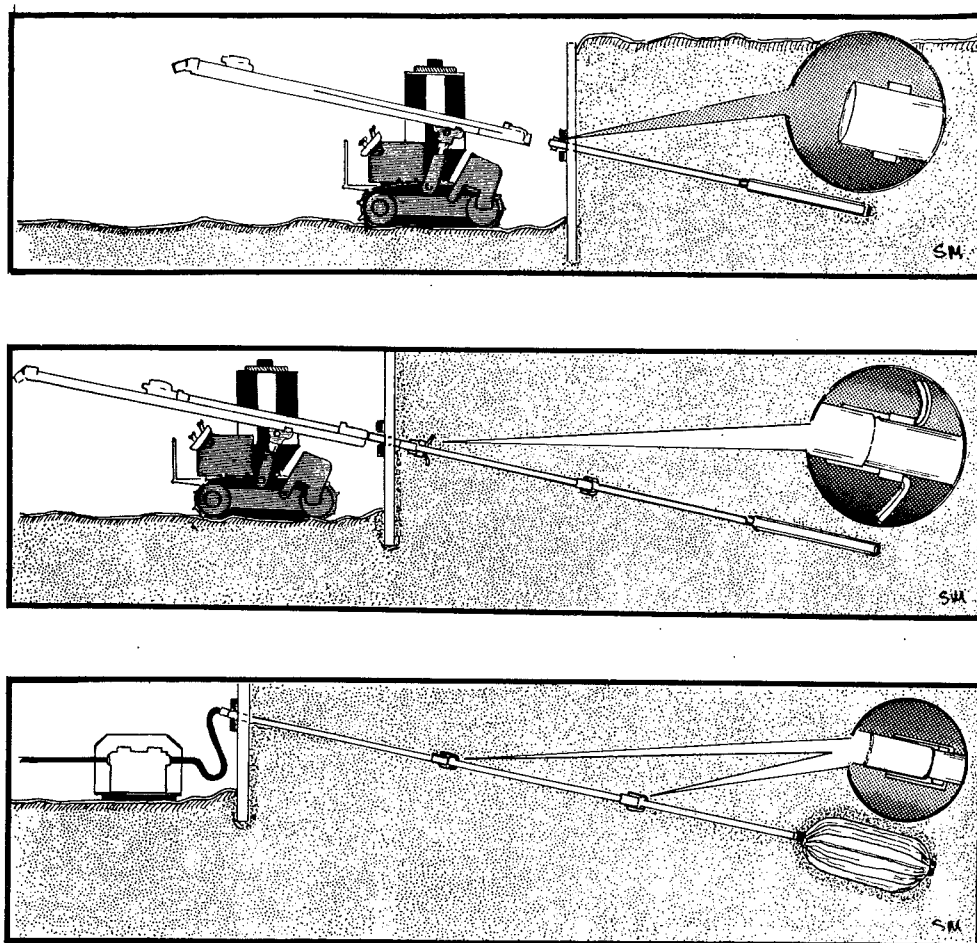
Därefter förs Expanderpålen ned genom foderröret. När botten nås, kan antingen Expanderpålen slås ut ur foderröret eller foderröret dras upp helt eller delvis, så att expansion av Expanderkroppen är möjlig.

För ökat rostskydd och styvhet kan foderröret lämnas kvar och cementbruk injekteras mellan pålskaft och foderrör.

3.3.2 Expanderstag

Installation av Expanderstag kan ske med slagning, förborrning eller foderörsborrning. Vid installation med slagning undviker man tidskrävande borrning samt hantering av tunga foderrör.

Installationen utförs enligt FIGUR 3.3.2.



FIGUR 3.3.2 Installation av jordankare

Installation utförs med borrhigg. Expanderkropp och en rörlängd slås ner i jorden. Det s k Soilexröret är försett med två fästöglor och två låsband. Vid skarvning förs låsbanden genom fästöglorna och under fortsatt indrivning pressas hylsan på röret och låsbanden böjs bakåt. Ytterligare rörlängder skarvas på tills önskad staglängd erhållits. Förankringslinor/stål monteras före eller efter injekteringen. Eftersom borrhiggen ej behöver användas vid injekteringen kan den före montering och injektering, flyttas för installation av nästa stag.

Rör/skarvsystemet ska uppfylla de krav som är väsentliga i detta sammanhang, dvs

- tåla erforderliga slagpåkänningar
- vara böjstyva, staget ska förbli rakt
- vara trycktäta för cementbruk och ej glida isär vid injektering
- vara lätta att hantera.

Vid fältförsök har dragbrottlasten uppmätts till 1300 kN för den största modellen EB 800.

Installation av permanenta Expanderstag sker i princip på samma sätt som vid installation av temporära Expanderstag. Förankringen korrosionsskyddas på erforderligt sätt.

Vid användning av förankringsstål kan en mutter svetsas fast i botten av Expanderkroppen, vilket eliminerar kravet på ingjutningslängd.

3.3.3 Injektering av Expanderkropp

Anslutningen mellan injekteringsslang och Expanderkropp kan utföras med en hydraulisk eller mekanisk tätningssmanschett, men kan även utgöras av ett skruvförband. De två sistnämnda kan vara försedda med avstängningskran.

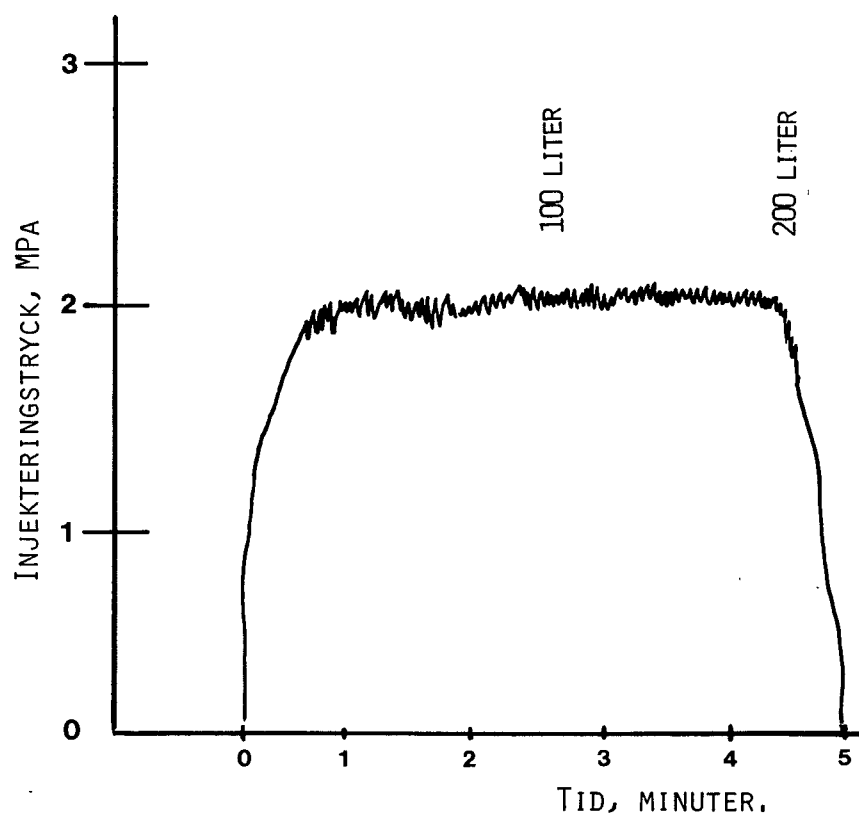
Arbetsförfarandet för pålar respektive stag kan skilja sig något beroende på

- vilken typ av pålskaft/injekteringsrör man använder
- om stagen eller linorna monteras före eller efter expansion av Expanderkroppen.

Tryck, volym och tid ska mätas under injekteringen.

Tryck och tid registreras lämpligen med hjälp av x/y-skrivare, medan volymen mäts i agitatorkärl eller flödesmätare. Se FIGUR 3.3.3.

Injekteringstiden ska vara kort för att eliminera inverkan av eventuella läckage i spalter och kopplingar. Maximala injekterings-tider och flöden framgår av TABELL 3.1. Normala expansionstryck framgår av TABELL 3.2.



FIGUR 3.3.3 Injekteringstryck och tid mäts under expansion av Expanderkroppen.

TABELL 3.1 Rekommenderade injekteringstider och flöden för olika Expanderkroppar.

Modell	Rek. pumptid minuter	Min. flöde liter/minut
EB 300	3	16
EB 400	5	20
EB 500	8	28
EB 800	20	40

TABELL 3.2 Normala expansionstryck i olika jordar

Jordart	Nettoexpansionstryck	
lera, lös	0,1 MPa	(1 bar)
lera, fast	0,6 MPa	(6 bar)
silt, löst lagrad	0,2 MPa	(2 bar)
silt, fast lagrad	2,0 MPa	(20 bar)
sand, löst lagrad	0,5 MPa	(5 bar)
sand, fast lagrad	3,0 MPa	(30 bar)

Expansion av Expanderkropparna utförs lämpligen med vattencement-suspension med vct 0,35-0,5 och tillsats av flytmedel enligt tillverkarens anvisningar. Det lägre vct-talet bör användas för pålar som kräver hög tryckhållfasthet på cementen.

Vattenseparation måste undvikas och prov bör utföras.

Blandningsförhållanden, tunghet och volym framgår av TABELL 3.3.

TABELL 3.3 Normala blandningsförhållanden

	Cement kg	Vatten liter	Vol/sats liter	Tunghet kN/m ³
vct 0,35	100	35	69	20
vct 0,4	100	40	74	19
vct 0,5	100	50	85	18

För full expansion av Expanderkropp i standardutförande åtgår en injekteringsvolym enligt TABELL 3.4.

TABELL 3.4 Rekommenderad injekteringsvolym för expansion av Expanderkropp. Angivna volymer innebär att Expanderkroppen är helt uppumpad och har börjat läcka i ändarna med ett mindre tryckfall som följd.

Modell	Expanderad diameter mm	Ej expanderad längd mm	Volym liter
EB 300	ø 300	1000	50
EB 400	ø 400	1250	100
EB 500	ø 500	1700	220
EB 800	ø 800	2500	800

3.3.31 Expanderpåle

Expansionen av Expanderpålen utförs i första hand med hjälp av en hydraulisk tätningsmanschett som förs in i pålskaftet och fästs alldeles ovan Expanderkroppen.

Skarv mellan tätningsmanschetten och Expanderkroppen ska vara så utformad att den ej pressas isär vid injekteringen.

Den föreskrivna cementvolymen pumpas in i Expanderkroppen under mätning av tryck och volym. När Expanderkroppen är helt fylld, dröjer man något (ca 1 min) så att trycket stabiliseras. Därefter lossas den hydrauliska tätningsmanschetten och pumpningen fortsätter så att pålskaftet fylls och tätningsmanschetten pressas ut ur röret.

Vid användning av toppanslutning ska samtliga pålskarvar vara så utformade att de ej pressas isär av injekteringstrycket. Före expansionen måste pålskaftet fyllas med cementvälling. Vid vertikal montering och om det ej finns vatten i pålskaftet kan cementvälling påfyllas från hålmynningen. I annat fall ska påfyllningen ske genom att en slang förs in genom pålskaftet och in i Expanderkroppen. När pålskaftet är fyllt fästs tätningsmanschetten och den föreskrivna volymen cementvälling pumpas in i Expanderkroppen samtidigt som tryck och volym mäts. För att hindra eventuell tillbakapressning av cementvälling vid injekterings avslutning används lämpligen toppanslutning med avstängningskran som demonteras när cementvällingen stabiliserat sig. Med flera anslutningar kan arbetet fortsätta obehindrat.

Cementinjektering av Expanderkroppen och fyllning av rör/pålskaft ska utföras i en följd utan längre uppehåll för att förhindra cementstockning i anslutningen mellan röret/pålskaftet och Expanderkroppen.

Stålpålar som är skarvade med hylsor som kan glida isär i samband med injekteringen på grund av att Expanderkroppens expansion orsakar en neddragning av pålskaftet, måste slås ihop omedelbart efter injekteringen. Slagningen kan utföras med handhållen tryckluftsutrustning, t ex TEP 41.

3.3.32 Expanderstag

När Expanderkroppen används som dragförankring och kan slås direkt till önskat djup, används lämpligen rör med kopplingar som ej går isär vid injektering med toppanslutning. Exempel på sådan koppling framgår av FIGUR 3.3.2.

Det är att föredra om cementinjektering kan utföras före montering av stagen/linorna.

Vid injektering före montering av stag eller linor utförs denna på samma sätt som vid expansion av Expanderpålen, med botten- eller toppanslutning. Efter injekteringen förs stag/linor genom röret/pålskaftet in i Expanderkroppen.

Vid injektering efter montering av stag eller linor måste injekteringsröret förlängas ca 1 m för att ge plats åt stagens/linornas ändar under tätningsmanschetten samt för att kompensera att Expanderkroppen blir något kortare vid expansion. Avståndet mellan övre ändarna av stagen/linorna och tätningsmanschetten måste vara minst 0,3 m för att inte tätningsmanschetten ska skadas. För att frilägga stagen/linorna kapas rören innan injekteringsbruket härdat, se FIGUR 3.3.32.

3.3.33 Problem och åtgärder

o Plötsligt tryckfall

Tryckfall som sker plötsligt vid injekteringen kan innebära att

1. Pumpfel uppstått
2. Tätningsmanschetten lossnat
3. Rörskarv mellan tätningsmanschett och Expanderkropp gått isär
4. Skada på Expanderkropp uppstått

Punkterna 1 och 2 går ofta att åtgärda så att expansionen kan fortsätta till full volym.

Vid punkterna 3 och 4 rekommenderas fortsatt pumpning av den rekommenderade injekteringsmängden, vilket kan resultera i en god lastupptagningsförmåga trots läckage. Injekteringsvolymen vid tryckfallet noteras för beräkning av Expanderkroppens form och bärighet. Om mer än $2/3$ av rekommenderad volym injekterats före tryckfallet har Expanderkroppen fått full diameter men är spetsig och har mindre mantelyta. Beräknad bärförmåga reduceras och kan kontrolleras med provbelastning.

o Inget mottryck

Om inget mottryck erhålles vid injekteringens början och om cement kommer upp utanför installationsröret har troligen fel uppstått på rör eller Expanderkropp i samband med installation.

Ny påle eller stag ska därvid installeras.

o Stopp

Uppstår stopp under pågående injektering kan detta bero på injektörsutrustningen eller cementstockning i inloppet till Expanderkroppen. (Den injekterade volymen noteras)

Vid cementstockning kan en åtgärd vara att spola bort cementen med vatten och sedan fortsätta injekteringen. Om detta misslyckas beräknas Expanderkroppens form och bärförmåga beräknas eller kontrolleras med provbelastning.

3.4 Maskinell utrustning

3.4.1 Slag- och borrarutrustning

Vid slagning av Expanderpåle och Expanderstag kan lätta slagdon användas. Om anslagshastigheten är stor används tung slagsko för att ej skada Expanderkropp och rör. Om kraftigare slagdon används, måste anslagsenergin reduceras.

Vid slagning och borrarning där utrymmet ej är begränsande används lämpligen en borrhög med lång matare så att långa rör kan användas för t ex stag.

Vid slagning i samband med grundläggning för nybyggande kan påmaskin med pålaggregat och 3-5 tons hejare väljas för neddrivning av foderrör.

3.4.2 Injekteringsutrustning

I FIGUR 3.3.32 visas en utrustning som är lämplig i samband med injektering av Expanderpålar och Expanderstag.

Utrustningen består av:

- Mätkärl för vatten.
- Blandare med en volym av 200 eller 400 liter för el-, luft- eller hydrauldrift.
- Agitatorkärl med en volym om 400 eller 700 liter för el-, luft- eller hydrauldrift.
- Pump med reglerbart flöde och tryck så att flödet och trycket under injekteringen anpassas till det aktuella behovet. Pumpen kan vara utrustad för el-, luft- eller dieseldrift. Pumpen bör ha en pumpkapacitet av 30-150 l/min beroende på Expanderkroppens storlek samt en tryckkapacitet av upp till 60 bar, jämför TABELL 3.2.
- Mekanisk eller hydraulisk tätningssmanschett s.k. "packer" används vid injektering.

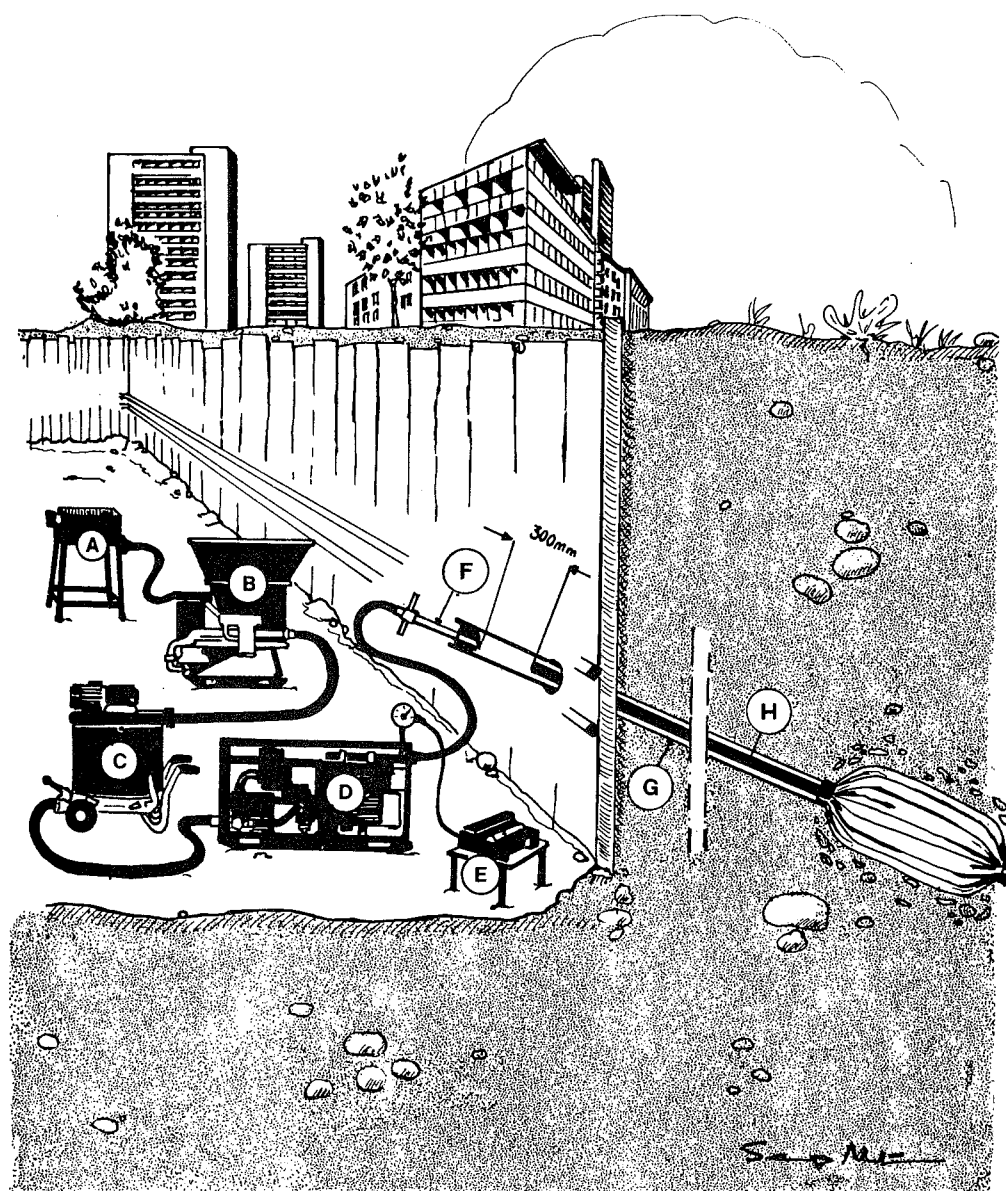
Det finns också utrustning av enklare typ med tillräcklig kapacitet för injektering av Expanderkroppen.

När ett större antal Expanderkroppar ska injekteras i en följd kan det vara lämpligt att välja en cementpumpningsbil med hög kapacitet (tryck 5-7 MPa och flöde upp till 2 m³/min).

3.4.3 Mätutrustning

Mätutrustningen bör kunna registrera tryck upp till 60 bar och flöde upp till 150 l/min.

Enklare utrustning med skrivare som enbart mäter tryck är i många fall fullt tillräckligt, eftersom den inpumpade volymen kan mätas i agitatorkärl.



FIGUR 3.3.32 Injektering av Expanderstag

A) Mätkärl
B) Blandare
C) Omrörare
D) Pump

E) Manometer, x/y skrivare
F) Packer
G) Injekteringsrör
H) Stål eller linor

4 KONTROLL

4.1 Allmänt

Avsikten med kontroll av påle eller dragstag där expanderkropp används är att

- förebygga felaktigt utförande
- identifiera felaktigt utförda pålar och dragstag
- i tid vidta erforderliga kompletterande åtgärder

Omfattningen av kontrollen skall beskrivas i anbudshandlingar så att kontrollen kan regleras ekonomiskt.

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

- o Utser beställaren särskilt ombud att kontrollera arbetena skall denne ha tillräcklig praktisk och teoretisk kunskap om dessa arbeten.
- o Beställarens kontroll skall utföras så att tidåtgången och störningen i arbetena begränsas till minsta möjliga.

4.2 Materialkrav

Normenlig provning utförs där inte annat bestäms.

4.2.1 Stål till pålskaft/dragstag, skarvar

Allmänna bestämmelser för tillverkningskontroll där Svensk Byggnorm skall anses gälla anges i SBN 1980. Ansvar för tillverkningskontroll åvilar materialleverantören. Leveranskontroll skall utföras enligt StBK-N1 "Stålnorm 70" med supplement S1. Vid tveksamhet skall statlig provningsanstalt tillfrågas för analys på platsen.

Utöver leveranskontroll av kvalitet skall också geometriska specifikationer kontrolleras enligt för arbetet gällande föreskrifter vid leverans till arbetsplats, t.ex.:

- rakhet
- tvärsnittsdimensioner
- planhet för skarvsnitt
- svetsning
- korrosionsskydd

4.3 Utförandekontroll

Vid installationen protokollförs

- beställare
- grundläggningsentreprenör
- arbetsplats
- expanderkroppstorlekar
- installationsmetod
- installationsdjup
- lägesavvikelser
- riktningsavvikelser
- injekteringsutrustning
- injekteringsbrukets sammansättning
- max, medel och uppnått sluttryck vid injekteringen
- injekteringshastighet
- injekterad volym
- datum för installation
- underskrift av ansvarig arbetsledare

samt om installationsförfarandet så medger, följande iakttagelser:

- nivåer för jordlagergränser, speciellt övergång till fast jord
- förekomst av block eller andra hinder

Vid injekteringsarbetet protokollförs följande iakttagelser:

- axiell rörelse hos expanderkropp
- läckage hos ventiler och rör
- läckage hos expanderkropp
- eventuellt iakttagen axiell förskjutning av påskaftet vid injektering

4.4 Kontroll av färdig påle och dragstag

Kontrollåtgärderna anpassas med hänsyn till pålens eller dragstagets funktion i byggnadskonstruktionen och iakttagna indikationer om avvikelser från normalt tillverkningsförlopp.

4.4.1 Läge

Pålens planläge i pålavskärningsplanet inmätts för kontroll att läget är inom angivet toleranskrav. Överskrids toleransen av påskaftets eller dragstagets axiella riktning och pålens planläge underrättas ansvarig konstruktör för kontrollberäkning.

4.5 Verifiering genom provbelastning

Provb belastning är det mest tillförlitliga sättet att bestämma en påles eller dragstags bärformåga.

I PFS 1987:3, kap B4:52 och B4:53 anges hur geokonstruktion kan dimensioneras i brottgränstillståndet genom provning. Samma principer kan användas även vid dimensionering i bruksgränstillståndet men lägre värden på partialkoefficienterna γ_{Rd} och γ_m kan väljas så att produkten $\gamma_{Rd} \gamma_m$ är 20-30% lägre i bruksgränstillståndet än i brottgränstillståndet.

4.5.1 Statisk provbelastning

Statisk provbelastning kan utföras med

- konstant nedpressningshastighet
- stegvis pålastning
- cyklisk belastning
- långtidsbelastning

I Pålkommisionens rapport 59 "Anvisningar för provpålning med efterföljande provbelastning" redovisas utförligt hur de olika typerna av provbelastning tillgår. Principerna för provbelastning av dragstag redovisas i Statens Planverks rapport 27 "Förankring av provisoriska sponter".

Normalt väljs stegvis pålastning av påle och dragstag. Där andelen rörlig last är stor utförs därefter normalt cyklisk belastning.

4.5.11 Provb belastning med stegvis pålastning

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

- o Antal laststeg till förmodad kritisk (kryplast) last bör vara 10-20. Provb belastningen drivs lämpligen 2-4 laststeg över erhållen kritisk last.
- o Laststegens varaktighet väljs med hänsyn till jord och expanderkroppens storlek. För expanderkropp med diameter 300 mm väljs laststegens varaktighet normalt till 8-15 min och för expanderkropp 800 mm 8-30 min. Om expanderkroppen står i finkornigare jord än sand väljs den längre tiden.

- o Belastningen påförs kontinuerligt i laststeg till maximal belastning utan avbrott för av- och pålastningar. Uppnås maximal belastning utan brott i påle eller dragstag utförs eventuellt cyklisk av- och pålastning 10-20 ggr mellan maximal belastning och halva denna. Lastcykelns varaktighet anpassas till jordartsförhållandena.
- o Under laststeget avläses axiell rörelse hos expanderkropp och påskafts/dragstags topp vid valda tider, t.ex. varje minut efter att laständringen påbörjats. Önskas en uppskattning av rörelsen efter lång tid kan antas att rörelsen ökar linjärt mot logaritmen för tiden vid belastningar under kritisk last.
- o Provb belastningsresultatet redovisas lämpligen enligt Pålkommisionens rapport 59.

4.6.2 Dynamisk provbelastning

När tillräcklig erfarenhet av dynamisk provbelastning av expanderkroppsförsedda pålar/slag har erhållits kommer detaljerade anvisningar för utförande och tolkning att utarbetas.

Tills vidare måste försiktighet iakttagas vid användning av dynamisk provbelastning eftersom stora spänningar kan uppstå som innebär fara för pålens bestånd.

Baserat på erfarenhet från bl.a. tio dynamiska provbelastningar kan följande anvisningar ges.

Följande förutsättningar gäller för att provningen skall bli godtagbar:

1. Hejarvikten väljs till minst dubbla pålvikten
2. Utvärdering av bärförmågan görs enligt CAPWAP-metod eller motsvarande metod. Vid elementindelningen av pålen skall Expanderkroppen indelas i minst 5 element. Vidare beaktas den impedansökning som erhålls av injekteringsbruket i påskaftet.

För injekteringsbruk bestående av cementpasta med $v_{ct}=0,48$ kan följande materialegenskaper användas (se CBI 4:79 "Betongs slagseghet"):

$$\begin{aligned} E_{dyn} &= 12-14 \text{ GPa} \\ \gamma &= 18 \text{ kN/m}^3 \\ c &= 2.700 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Mätstället på påskaftet skall förläggas på 3 à 4 skaftdiametrars avstånd från påhuvudet. Eftersom hejarlaget i regel bara träffar stålröret hinner inte kraften i påskaftet gå över i cementpastan på den korta sträckan mellan påhuvud och mätställe.

Följande värden på samverkan mellan pasta och pålröret/skaftet vid mätstället kan anses gälla:

slätt, ev. anoljat rör	50% samverkan och
skrovligt rör	80% samverkan.

3. Före den dynamiska provbelastningen görs en datorsimulering av slagningsförloppet för att få underlag för lämpligt val av fallhöjd så att Expanderpålen inte mekaniskt skadas av provningen vid produktionsuppföljande provningar.
4. För att undvika sönderslagning av påle vid provningen måste styrning av hejare, slagdyna och påle anordnas så att slagen blir centriska och i pålens längdriktning.
5. För att undvika snedbelastning på töjningsgivarna rekommenderas att limmade givare används.

Vid redovisningen av provningarna anges utvärderad bärförmåga samt de förutsättningar som gällt och de antaganden som gjorts vid utvärderingen.



Utgivna handlingar

Meddelanden

1	Slagningsprov av pålskor med bergdubbar Bror Fellenius 1963	10:—	16	Stålpålers bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon Gunnar Fjellkner 1970	30:—
2	Provpålning för broar inom blivande Olskroks- och Gullbergsmöten i samband med byggande av Europaväg 6 genom Göteborg Bror Fellenius — Waldemar Pejrud 1964	Slut	17	Bergdubbens hållfasthet. Resultat från statiska belastningsförsök Sven-Erik Rehnman 1970	20:—
3	Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsdelen, Göteborg Bror Fellenius 1964	10:—	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:—
4	Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs Bror Fellenius 1964	Slut	19	Damping of stress waves in piles during driving. Results from field tests Gunnar W Fjellkner — Bengt B Broms 1972	30:—
5	Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar Bengt Broms 1965	Slut	<i>Särtryck och preliminära rapporter</i>		
6	Brottlast för snett belastade pålar Bengt Broms 1965	10:—	1	Allowable bearing capacity of initially bent piles Bengt Broms Referat från pålkommitténs informationsdag 25 okt 1965	
7	Beräkning av vertikala pålers bärförmåga Bengt Broms 1965	10:—		Provbelastning av påle slagen i lera och friktionsmaterial Gunnar Hellström	
8	Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet, Göteborg Waldemar Pejrud 1965	25:—		Knäcklasten för momentstyvt skarvade pålar i lera Krister Cederwall 1965	10:—
9	Inverkan av armeringsmängd, förspänning och fallhöjd på sprickrisken hos betongpålar vid slagning Sven Sahlin 1965	15:—	2	Provbelastning av stödpålar av betong inom östra Nordstaden, Göteborg. Delrapport Gunnar Hellström 1965	5:—
10	Bärförmågan hos armerade betongpålar slagna till fast bergbotten Hjalmar Granholm 1967	20:—	3	Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök Sven-Erik Rehnman 1966	5:—
11	Bärförmågan hos pålar slagna till släntberg Bengt Broms 1965	15:—	4	Om pålslagning och pålbärighet (Informations- dagen 14/11 1966) 1967	Slut
12	Dynamisk draghållfasthet hos modellpålar av oarmerad betong. Resultat av orienterade försök Sven Sahlin — Lars Hellman 1966	15:—	5	Resultat av pålprovning vid Göteborg C Bror Fellenius 1955 (omtryckt 1967)	20:—
13	Pålgrupper bärförmåga Bengt Broms 1967	10:—	6	Om stoppslagning av stödpålar Lars Hellman 1967	5:—
14	Påkänningar, sprickbildning och utmattning vid slagning av armerade modellpålar av betong Bo Göran Hellers — Sven Sahlin 1971	30:—	7	Undersökning med syfte att uppställa stopp- slagningsregler för stålpålar slagna med tryck- lufthammare. Delrapport 1. Gunnar Fjellkner 1967 Ersatt av Medd 16	
15	Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök Sven-Erik Rehnman 1968	15:—	8	Industriell tillverkning av betongpålar Kajsa Sundberg — Arne Forsell 1968	10:—

9	Digitalisering av stötvågsmätningar. Delrapport I Lennart Vilander 1968	5: —	23	Pålars bärförmåga i elastiskt medium under hänsynstagande till egenspanningar i pål- materialet Stig Bernander 1969	20: —
10	Stoppslagning av stålpålar med lätta slagdon (trycklufthammare). Delrapport II Gunnar Fjellner 1968 Ersatt av Medd 16		24	IVA Pålkommission 1959—1969. Uppsatser utgivna i samband med Pålkommissionens tioårsjubileum 1969	20: —
11	Förslag till anvisningar för pålprovning och enkel provbelastning. (Andra omarbetade upplagan) 1970	20: —	25	Statistik över antal slagna pålmeter 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	Företag vid Pålkommissionens jubileums- möte den 20 november 1969 Den norske pelekomités arbeide Klaare Flaate	
13	Kvarstående förspänningskraft i slagna betongpålar. Undersökning av pålar från grunden till Silo 68, Köping Bo-Göran Hellers 1968	5: —		Aktuella forskningsbehov inom pålnings- området Bengt Broms 1970	20: —
14	Föredrag vid Halmstad Järnverks armerings- dag 17/11 1967 Bengt Broms — Gunnar Sundberg — Per Möller — Thorild Blomdahl 1968	5: —	27	Rapport från en resa till Mexiko, USA, Kanada och England 23.8—13.9 1969 Bengt H Fellenius 1970	20: —
15	Statistik över antal slagna pålmeter 1962 och 1966 1968 Ersatt av SPR 30		28	Mätning av fallhejarens anslagshastighet vid pålslagning Karl-Erik Sundström 1970	15: —
16	Friktionspålars bärförmåga. En studie av utförda provbelastningar Sven Hultsjö — Jan Svensson 1969	25: —	29	Studier av en friktionspåles verkningsätt Åke Nilsson — Torbjörn Winqvist 1971	25: —
17	Ett program för beräkning av stötvågsför- loppet vid friktionspålning. Delrapport II Lennart Vålander 1969	15: —	30	Statistik över antal slagna pålmeter 1962, 1966, 1968 och 1970 1971 Ersatt av SPR 38	
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 Rehnman 1971	25: —
19	Datorberäkning av stötvågsförlopp i pålar medelst variation av modellparametrar. Delrapport III Lennart Vilander 1969	15: —	32	Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige i juni 1971 Ulf Bergdahl 1971	15: —
20	Nya pålnormer. Föredrag vid informations- möte 25/4 1969 Göte Åström—Per Sahlström—Erik Sandegren 1969	Slut	33	Sättningar vid pålning olika djupgrundläggningsmetoder Intryck från pålkonferens 1972	20: —
21	Negative skin friction on piles in clay. A literature survey Bengt H Fellenius 1969	20: —	34	On the bearing capacity of driven piles 1972	20: —
22	Deformationsegenskaper hos slagna betong- pålar Bengt H Fellenius — Torsten Eriksson Friktionspålars bärförmåga. Resultat från fältförsök i Kanada Bengt H Fellenius 1969	20: —	35	Load testing of piles according to the polish regulations B K Mazurkiewicz 1972	15: —
			36	Undersökning av konventionell slagdyna. Beräkningsanalyser och beräkningsresultat för olika fall Martti Laine 1972	15: —
			37	Approximativ bestämning av böjstyvheten i ett förspänt, delvis uppsprucket betong- tvärsnitt Bo-Göran Hellers 1973	15: —

38	Statistik över antal slagna pålmetrar år 1962, 1966, 1968, 1970 och 1972 1973	10:—	51	Soil movements caused by pile driving in clay K Rainer Massarsch 1976	50:—
39	Inventering och sammanställning av utförda bøjprovningsar med oskarvade och skarvade betongpålmar Björn Kvist — Pär Sandin 1973	20:—	52	Angelägenheten hos forskningsprojekt inom pålområdet i Sverige 1975 — enkätresultat Ulf Bergdahl — Gunnar Ivmark 1977	15:—
40	Undersökning av avklingande stötvågs utseende efter pasage genom dyna med tallriksfjädrar Bo Larsson 1973	20:—	53	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962—1976 1978	20:—
41	Om korrosion på stål, speciellt i betongpålmar Bengt H Fellenius 1974	15:—	54	Pålgrupper med sidomotstånd och inspanning Håkan Bredenberg — Bengt Broms 1978	40:—
<i>Övrigt</i>			55	Rålspålars böjstyvhet — resultat av bøjprovningsar Elvin Ottosson 1979	40:—
	Slagning och provbelastning av långa pålar. Försök i Gubbero, Göteborg. (Statens Råd för Byggnadsforskning, rapport 99)	35:—	56	Provbekastning av friktionspålmar — En studie av olika provningsmetoder U Bergdahl — G Hult 1979	40:—
	Pålningensprotokoll. Blanketter upprättade enligt Särtryck och preliminära rapporter nr 11. Block om 50 blad Pris per block	10:—	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:—
42	Pålmar i lera. En geoteknisk återblick med speciell anknytning till Göteborgs-förhållandena Bror Fellenius 1974	15:—	58	Grävpålmarvisningar Dimensioner, g utförande och kontroll av grävda, i jorden gjutna pålar 1979	40:—
43	Jordundanträngning vid pålslagning — resultat av modellförsök Rainer Massarsch 1974	20:—	59	Anvisningar för provpålning med efterföljande provbelastning 1980	50:—
44	Pålning för Silo 68 i Köping. En redovisning av mätresultat Ulf Bergdahl — Åke Nilsson 1974	20:—	60	Negativ mantelfriktion längs pålar Bengt Broms 1979 1980	40:—
<i>Rapporter</i>			61	Recent pile research. Activities of The Swedish Commission on Pile Research. Bengt Broms 1980	40:—
45	Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige 1974 Ulf Bergdahl 1974	20:—	62	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962—1978 1980	25:—
46	"Root-piles" Small-diameter injected borepiles Anton Frank 1975	15:—	63	Slagna av betongpålmar med tryckluftshjare. Resultat av fältförsök i Västerås 1973 Gunnar Fjellkner — Åke Eriksson — Håkan Bredenberg 1981	40:—
47	Jordgjutna pålar — en redovisning av vanliga metoder K Rainer Massarsch 1975	30:—	64	Kohesionspålars bärförmåga En studie av utförda provbelastningar på kohesionspålmar av betong Ulf Bergdahl — Åke Eriksson — Ture Nilsson 1981	50:—
48	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962—1974 1975	20:—			
49	Deformationsmätningar vid slagning av pålar nära en stenmur — resultat av stereofotogrammetriska mätningar K Rainer Massarsch — Gunnar Ivmark 1975	25:—			
50	Pålgrundläggning i Sovjetunionen 1976	25:—			

65	Swedish Building Code 1980 Chapter 23.3 Pile Foundations Swedish Building Code 1975 Approval Rules No. 1975:8 Piles Translated by Bengt Broms, 1981 (in English)	50:—	77	Grävpålar i friktionsjord Anvisningar för dynamisk förbelastning Bo Berggren Per-Evert Bengtsson	115:—
66	Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmeter åren 1962—1980 1982	30:—	78	Statistik över antal tillverkade och slagna pålmeter i Sverige åren 1962—1984 1985	50:—
67	Negativ mantelfriktion längs pålar Resultat av enkät år 1979 Lars Bjerin — Jan Fallsvik 1982	40:—	79	Expanderkroppar Anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll	95:—
68	Parameterstudie av olika faktors inverkan på pålars bärförmåga som funktion av sjunkningen Carl-John Grävare — Ingemar Hermansson 1982	50:—			
69	Stålpålar — Användningsområden och praxis för utförande Håkan Bredenberg — Ulf Eriksson — Anders Eriksson — Göran Camitz 1983	95:—			
70	Buller vid pål- och spontslagning. En studie av mätmetoder, bullernivåer och bekämpningsåtgärder Ove Bennerhult — Ulf Bergdahl 1983	95:—			
71	Svensk statistik över antal till- verkade och slagna pålmeter åren 1962—1982 1983	40:—			
72	Förspänd tallriksfjäderdyna. Resultat av stötvågsteoretiska studier, dator- simulering, modell- och fullskaleprov- ning Bo BergLars 1983	95:—			
73	Svensk pålningsteknik under 1980-talet Håkan Bredenberg — Crister Bådholm — Lars Hellman — Göran Holm 1984	50:—			
74	Skarv för kombinationspålar trä- betong. Resultat av drag- och böj- provningar Elvin Ottosson 1984	50:—			
75	Förtillverkade betongpålar. Förslag till standard med dimensionerings- underlag 1984	50:—			
76	Initialspänningens variation vid påslagning Elisabeth Stensgård — Elisabet Olsson 1984	50:—			