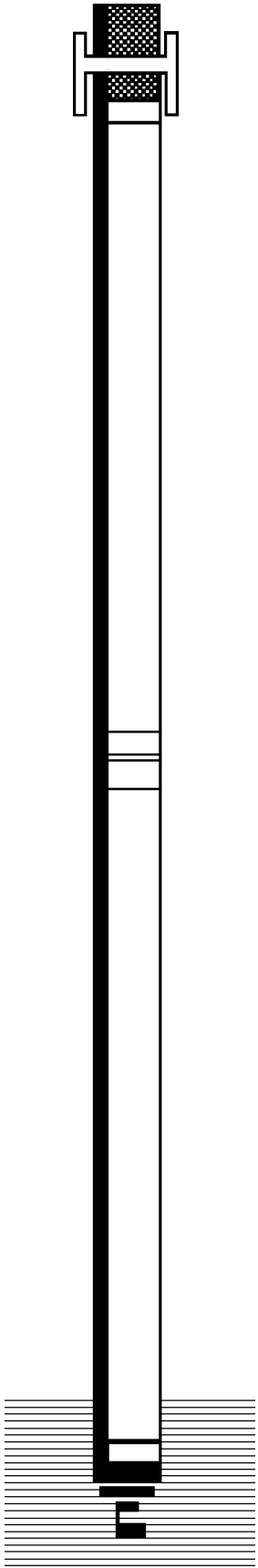


PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

Injekterade pålar

STEFAN ARONSSON
TORBJÖRN EDSTAM
URBAN SVENSSON



Linköping 2004

rapport 102

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

rapport 102

Injekterade pålar

STEFAN ARONSSON
TORBJÖRN EDSTAM
URBAN SVENSSON

Linköping 2004

Rapport	Pålkommisionen 581 93 Linköping
Beställning	Statens geotekniska institut Biblioteket Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 14 e-post: info@swedgeo.se internet: www.byggforum.com/pk
ISSN	0347-1047
ISRN	IVA/PAL/R--04/102--SE
Upplaga	600
Tryck	Roland Offset AB, Linköping, januari 2005

Förord

Syftet med denna rapport är att underlätta projektering, dimensionering samt utförande och kontroll av injekterade pålar. Innehållet i rapporten riktar sig till myndigheter, konsulter och entreprenörer som sysslar med pågrundläggning.

De olika pålssystem som tas upp i rapporten är relativt nya på den svenska marknaden, men användningen av den här typen av pålar ökar ständigt. Detta beror bl a på att allt fler pågrundläggningar utförs i mark med dåliga grundförhållanden samt på ökade miljökrav i form av begränsning av buller och vibrationer. Rapporten inriktar sig på påltyper där injekteringen medför en förbättrad lastupptagning mot omkringliggande jord. Cementinjekteringen fungerar även som ett enkelt korrosionsskydd. Endast tryckbelastade pålar behandlas, även om några av påltyperna även kan användas för dragbelastningar.

Användningen av injekterade pålar, som ingår i rapporten, har hämmats av bristen på anvisningar för projektering, utförande, dimensionering och kontroll. Vissa av påltyperna har dock behandlats i olika europeiska normer.

Rapportarbetet har skett inom Pålkommissionen under tiden oktober 2000 till juni 2004 av följande personer:

Stefan Aronsson, SWECO VBB, sammankallande och författare (inledning, sammanfattning, kap 1 – 3).

Torbjörn Edstam, WSP Samhällsbyggnad, författare (kap 4 – 5).

Urban Svensson, PROJEKTTEAMET, författare (kap 4).

Rolf Mattsson, *de neef SCANDINAVIA*, referensgruppen

Nils Hellgren, Stockholms Geomekaniska, referensgruppen

Sami Eronen, Rautaruukki, referensgruppen

Ett varmt tack riktas till alla som under arbetets gång bidragit med värdefulla synpunkter och material till rapporten.

Författarna

Innehållsförteckning

Förord	3
Summary	7
Sammanfattning	8
1. Inledning	9
Borrade och injekterade pålar	9
Slagna/tryckta injekterade pålar	10
1.1. Historik	10
1.2. Utvecklingstendenser	11
2. Projektering	12
2.1. Lämplighet ur teknisk och ekonomisk synvinkel	12
2.2. Produktionstekniska förutsättningar	13
2.3. Förundersökningar	13
3. Utförande	14
3.1. Mottagningskontroll	14
3.2. Installation	14
3.3. Verifiering av bärförmåga	15
3.4. Kapning och montering av topplatta	15
4. Dimensionering	16
4.1. Dimensioneringsprinciper	16
4.2. Laster och lasteffekter	16
4.3. Lastkapacitet	17
4.3.1 Allmänt	17
4.3.2 Dimensioneringsförutsättningar	18
A. Pålmaterialens egenskaper	18
A.1 Stål	18
A.2 Injekteringsbruk	18
A.3 Samverkan stål – injekteringsbruk	18
B. Jordmaterialens egenskaper	19
B.1 Allmänt	19
B.2 Normalkonsoliderad lera	19
B.3 Friktionsjord	20
B.4 Reducerad ekvivalent bäddmodul m h t plasticering	20
B.5 Störning av jorden vid installation	20
C. Initialkrokighet, egenspänningar m m hos installerad påle	21
C.1 Allmänt	21
C.2 Fiktiv initialkrokighet p g a egenspänningar	21
C.3 Geometrisk initialkrokighet	21
4.3.3 Beräkningsgång	22

4.4.	Geoteknisk bärförmåga	23
4.4.1	Grundläggande geomekaniskt funktionssätt	23
4.4.2	Bedömning av karakteristisk geoteknisk bärförmåga baserad på empiriska erfarenheter	24
4.4.2.1	Inledning	24
4.4.2.2	Friktionsjord: borrarade och injekterade pålar	25
4.4.2.3	Friktionsjord: Slagna/tryckta och injekterade pålar, typ CSG-pålar	28
4.4.2.3	Kohesionsjord	29
4.4.2.4	Berg	29
4.4.3	Provbelastning	29
4.4.4	Dimensionerande geoteknisk bärförmåga	29
4.5	Rörelser i bruksstadiet	29
4.6.	Beständighet	30
4.6.1.	Allmänt	30
4.6.2.	Injekteringsbruk och ev foderrör	30
4.6.3.	Varmförzinkning	31
4.6.4.	Organiska beläggningar	31
4.6.5.	Rostmån	31
4.6.6.	Korrosionsbeständigt material	31
5.	Kontroll vid förberedelser och utförande	32
5.1	Materialhantering och lagring	32
5.2	Utsättning	32
5.3	Installation och injektering	32
6.	Referenser	33
	Bilagor från respektive pålleverantör	34

Summary

The aim of the reports within the Swedish Commission on Pile Research is to provide codes of practice in design and execution of all pile types on the Swedish market. This report provides guidelines for pre-study, design, execution and control of grouted micropiles. The different pile types in this report are either drilled and grouted or driven/jacked and grouted. However, they are connected in the sense of having a cement grout coating that will enhance the adhesion between pile and surrounding soil. The cement grout can also work as a single corrosion protection.

In the **first chapter** of this report, the different kinds of grouted pile types are described together with some history background and development tendencies.

During the pre-study phase of a piling project, it is important to do a suitability analysis and to have knowledge in the production-technical requirements of the grouted micropiles together with what kinds of geotechnical investigations necessary. All these three factors act together and are explained in **chapter two**.

Chapter three, Execution, describes the different parts; delivery control, installation with execution control, verification of bearing capacity, pile cutting and mounting of load transmission steel plate from the overburden construction.

The design of structural bearing- and geotechnical bearing capacity is treated in **chapter four**. The report relates to demands and advice in the Swedish Design Regulations, BKR, and subsidiary design regulations for steel and concrete constructions. Guidelines are given here how to consider inner and outer cement grout in the designing of the nominal cross-section area of the grouted micropiles and the rigidity against bending. This report deals with relatively slender pile types, which means that an analysis against buckling is necessary in soft clay layers. Design guidelines of the geotechnical bearing capacity of the grouted pile are described in this chapter. Often there are limits in movements of the pile head

at a given geotechnical bearing capacity. That is dealt with here. Finally, in this chapter, the durability of the pile is dealt with.

Chapter five, Controlling the preparation and execution, describes the different parts; handling the material and storage, staking out the positions of the piles and, finally, controlling the installation and injection.

Chapter 6, lists the references used in this report.

Each pile distributor (MAI, Ischebeck and Rautaruukki) has a page in the appendices.

Sammanfattning

Pålkommisionen bedriver projekt som syftar till normativa, gemensamma och enhetliga regler för dimensionering och utförande av all slags pålning.

Denna rapport ger anvisningar för projektering, dimensionering, utförande och kontroll av injekterade pålar. De påltyper som tas upp i rapporten är antingen borrhade och injekterade pålar eller slagna/tryckta injekterade pålar. Den gemensamma nämnaren är att stålet täcks av cementbruk, som ökar vidhäftningen mellan påle och jord. Cementbruket kan även fungera som enkelt korrosionsskydd.

Kapitel 1, Inledning, behandlar översiktligt de påltyper som ingår i rapporten och dess installationssätt samt dess egenskaper. I inledningen beskrivs även kort lite historik kring påltyperna och utvecklingstendenser.

I projekteringskedet av ett pålningsjobb är det viktigt att göra en lämplighetsanalys, att känna till de produktionstekniska förutsättningarna för injekterade pålar samt vilka förundersökningar som är nödvändiga. Dessa tre aspekter hänger ihop och förklaras i **kapitel 2**, Projektering.

Kapitel 3, Utförande, beskriver de olika delarna; mottagningskontroll, installation med utförandekontroll, verifiering av bärförmåga, pålavskärning samt montering av lastöverförande platta från ovanförliggande konstruktion.

Dimensionering av lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga behandlas i **kapitel 4**, Dimensionering. Dimensioneringsprinciperna är uppsatta i enlighet med Boverkets Konstruktionsregler och i förekommande fall dessutom enligt t ex Vägverkets Bronormer. Regler för tillgodoräknande av in- och utvändigt cementbruk i pålens tvärsnittsarea och böjstyvhet anges. De i rapporten upptagna påltyperna kan betraktas som slanka, vilket gör att knäckningsanalys erfordras i lösa lerlager. En beräkningsgång för knäckningsberäkning redovisas. Dimensioneringsanvisningar för pålens geotekniska bärförmåga redovisas i detta kapitel.

Ofta finns krav att pålens dimensionerande geotekniska bärförmåga skall kunna mobiliseras utan att påltoppens rörelse överskrider uppställda kravnivåer. Rörelser i bruksstadiet går igenom här. Slutligen behandlas pålarnas beständighet i kapitel 4.6.

I arbetshandling skall anges vilka kontrollåtgärder som skall utföras under pålinstallationen. Dessutom skall framgå vem som skall utföra kontrollen, hur denna skall dokumenteras samt vilka parter som skall ta del av kontrollresultaten. **Kapitel 5**, Kontroll vid förberedelser och utförande, behandlar materialhantering och lagring, utsättning samt installation och injektering.

Rapporten avslutas med Referenser, samt bilagor från respektive pålleverantör.

1. Inledning

Den här rapporten koncentreras till påltyper, som installeras genom borrhning under samtidig injektering eller genom samtidig injektering under nedslagning eller nerpressning. Vad som är gemensamt för dessa påltyper är att de genom installationen ger möjligheter till att ändra omgivande jords egenskaper, d v s kompakterar friktionsjorden och förbättrar vidhäftningen mellan pålskaft och omgivande jord.

Andra gemensamma nämnare för påltyperna är att man genom injekteringen längs manteln även skapar ett täckande cementskikt som kan fungera som enkelt korrosionsskydd samt att det innebär en skonsam installationsmetod med avseende på omgivningspåverkan.

Borrade och injekterade pålar

Installeras genom samtidig borrhning och injektering. En engångsborrkrona, anpassad efter jord- och/eller bergart, skruvas fast på det helgängade, ihåliga stålet. Injekteringsbruket går genom stålet och ut i borrhkronan genom ett eller flera utlopp, riktade radiellt eller vertikalt (beroende på borrhkrona). Skarvning sker med skarvhylsor, som gängas. Genom att använda ett högt injekteringstryck skapas ett täckskikt längs hela stålets längd och pålens diameter beror på omgivande jords egenskaper (ggr borrhkronans diameter):

Berg/block:	1,0
Lera:	1,0 – 1,2
Lös grus/sand:	2,0 – 2,5
Fast grus/sand:	1,5 – 2,0

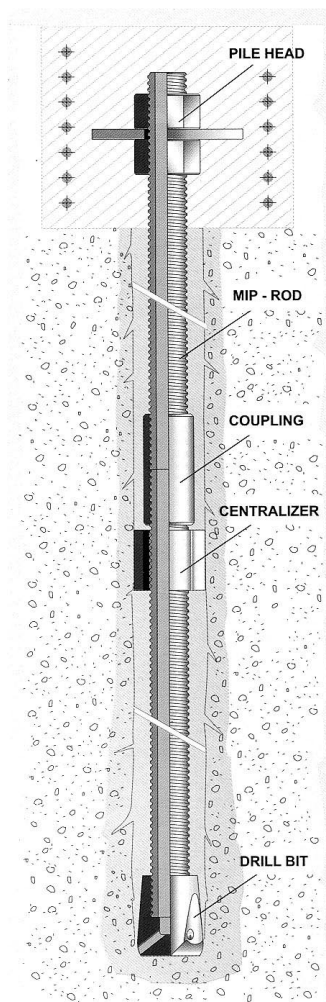
Det karaktäristiska lastintervallet är 120 – 2 700 kN.

Stålet kan fås som vanligt svartstål, varmgalvaniserat, rostskyddsbehandlat med plastöverdrag eller combi-coating (varmförzinkat och överdraget med en epoxibeläggning) samt som INOX (rostfritt). Stålmaterialet består av ett finkornigt byggnadsstål, som har en sträckgräns efter kallvalsning på mellan 500 – 700 MPa och en brottgränstjörning på 5 – 15 % (varierar med tillverkare).

Kontrollen utgörs av ett installationsprotokoll, där det framgår cementåtgång, injekteringstryck, kontroll av att man hela tiden haft cementbruk uppe vid markytan samt en verifiering av bärförmågan genom statisk provbelastning. Påltypen kan användas för både tryck- och dragkrafter och den är mantel- och/eller spetsburn.

Exempel på påltyper, som är etablerade på den svenska marknaden, är Ischebeck TITAN, MAI och IBO. En skillnad mellan dessa påltyper är gängan, som på TITAN är en speciell TITAN-gänga. Cementbruket går förbi borrhammaren genom en sk övergångsadapter, som för TITAN har en speciell TITAN-gänga och för de övriga har vanlig borrhgänga.

En variant av denna påltyp är Rautaruukki:s RD-påle.



Slagna/tryckta injekterade pålar

Installeras antingen genom slagning eller nedpressning under samtidig injektering av cementbruk. Slagutrustningen kan bestå av fallhejare, hydrauliskall hejare av olika slag, tryckluftshejare och även topphammare. Ur skonsamhetssynpunkt bör en högfrekvent hejare användas. Om block eller andra hinder i undergrunden påträffas, kan pålen installeras i ett foderrörsborrat hål. Samma rotationsenhet kan användas både för foderrörsborrningen som för nedslagning av pålen.

Vid installation med nedpressning används en separat injekteringspump. Då pålen installeras medelst slagning trycksätts cementbruket vid varje slag.

Exempel på slagna/tryckta injekterade pålar är Rautaruukki:s CSG-påle, som består av ett Rautaruukki-rör med en fastsvetsad krage i botten. Kragen är försedd med ett hål där injekteringsbruket pulserar/trycks ut vid installationen och har en större diameter än röret. En spets, som fungerar som en styrning för pålen och består av ett rör som är pluggat i botten, slås ihop med en konisk utformning till kragen. Spetsen kan vara försedd med en bottenplatta eller bergspets. Skarvning sker med dubbelkonisk skarvhylsa, vilket innebär att rörändarna skarvas mekaniskt. Injekteringsbruket fylls hela tiden på i röret och pulserar ut genom hålet i hylsan i botten av pålen och lägger sig på utsidan av röret. Utrymmet mellan kragen och omgivande jord bildar pålens diameter.

Stålmaterialet i RR-pålar är S440J2H och sträckgränsen är 440 MPa med en brottgränstjörning > 17 %.

Det karaktäristiska lastintervallet är 150 – 1 700 kN.

En variant av slagen/tryckt och injekterad påle är G-pålen.

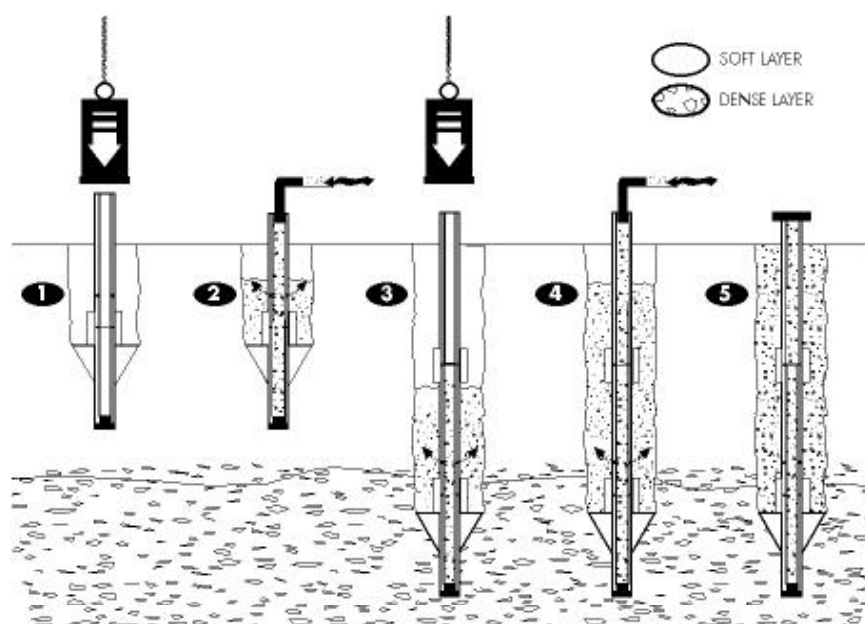
Kontrollen består av ett installationsprotokoll, där det framgår cementåtgång, trycket samt att man hela tiden haft cementbruk uppe vid markytan. Bärförmågan verifieras genom statisk provbelastning.

1.1. HISTORIK

Påltyperna upptagna i denna rapport är relativt nya på den nordiska marknaden sett ur ett historiskt perspektiv. Det första svenska projektet med borrarad och injekterad påle genomfördes i början av 1990-talet och var en konstruktionspålning för ett påldäck för Västkustbanan i Källered utanför Göteborg för Banverket.

Att använda cementbruk mellan omgivande jord och stålpålen har en rad fördelar:

- Ökad vidhäftning mellan omgivande jord och stålpålen.
- Kan utgöra enkelt korrosionsskydd.
- Istället för att räkna med rostmån på stålpålen, kan stålet utnyttjas i högre grad.



1.2. UTVECKLINGSTENDENSER

I och med att den här påltyten uppmärksammas av Pålkommisionen kan man förvänta sig en ökad användning av påltyten i det tillämpningsområde där de är mest lämpade.

Påltyten har funnits en tid på marknaden, men osäkerhet har rått vad gäller projekterings- och dimensioneringsaspekter samt utförande och kontroll.

I takt med ökade krav på mindre omgivningsspåverkan i form av buller och sättningskänsliga byggnader i tätorter samt minskad tidsåtgång för installation jämfört med stålkärnepålar, kan injekterade pålar vinna terräng. Det är en skonsam påltyp om man ser till omgivningsspåverkan;

- Små, lätta och bullerdämpade borrhjor kan användas för att installera injekterade pålar. Borrhjorna förses med katalysatorer i allt större utsträckning.
- I det tillämpningsområde där injekterade pålar är mest lämpade kan man installera mellan 8 – 20 pålar per arbetsskift, vilket väsentligt reducerar tidsåtgången i en pålningstreprenad där stålkärnepålar annars är ett alternativ.

2. Projektering

I projekteringskedet av ett pålningsjobb är det viktigt att göra en lämplighetsanalys, vilket gäller för alla påltyper, i syfte att få den mest optimala lösningen. Det är också viktigt att känna till de produktionstekniska förutsättningarna för injekterade pålar samt vilka förundersökningar som är nödvändiga. Dessa tre aspekter hänger ihop och förklaras vidare nedan.

2.1. LÄMPLIGHET UR TEKNISK OCH EKONOMISK SYNVINKEL

Redan under projekteringskedet görs en inventering över vilka påltyper som finns att tillgå på marknaden. Varje påltyp delas sedan in i olika fack;

Tabell 2.1.
Lämplighetsanalys.

Skonsam installationsmetod är nödvändig p g a sättningskänsliga byggnader samt vibrationskänslig utrustning i omgivningen.	Omgivningspåverkan medför inga bekymmer.
Begränsad takhöjd eller framkomlighet.	Inga restriktioner för stora maskiner.
Geotekniken på plats består av sandig fyllning, som innehåller block och andra hinder i överlagrande friktionsjord. Stort avstånd till berg.	De geotekniska förhållandena medför inga restriktioner vad gäller val av påltyp. Avståndet till berg är litet.

Med utgångspunkt från denna första indelning jämförs de olika påltyperna med aktuella geotekniska förhållanden på plats samt att även omgivande byggnaders grundläggning och innehållande verksamhet kartläggs.

Generellt gäller att om det inte finns några restriktioner i form av omgivningspåverkan eller hinder i undergrunden som block eller stora djup av friktionsjord, är det med få undantag alltid ekonomiskt mest fördelaktigt med slagna betong- eller rörpålar som stoppslås antingen i ett fast friktionsmaterial eller mot berg.

Däremot om skonsamma påltyper måste användas med hänsyn till omgivande byggnaders grundläggning eller buller/vibrationer till omgivningen, om hinder i undergrunden i form av block föreligger samt om avståndet till berg

är stort med stora djup av friktionsjord, kan en mantelburen injekterad påle vara ett alternativ.

Typ av jordart, jordlagerföljden och dess tjocklek samt deras geotekniska egenskaper kartläggs. Det är viktigt att utreda eventuella pågående eller framtida sättningar i områden, som kan medföra påhängslaster. De påltyper som ingår i rapporten är mest lämpade i friktionsjordar – från silt till grövre fraktioner. I de fall då lera förekommer kan det fortfarande vara ekonomiskt att använda denna påltyp, men det förutsätter en analys av risken för knäckning. Skulle lerans egenskaper vara sådana att lastkapaciteten blir för låg, kan man med fördel använda foderrör genom lerlagren. Foderrör eller snabbhårdande cementbruk är också lämpligt att använda för att begränsa utbredningen av cementbruk i t ex sprängstensfyllning.

Projektören gör en kostnadsoptimering där faktorer som lastkapacitet, geoteknisk bärförmåga, antal pålar (centrumavstånd), armering i- och tjocklek av bottenplatta m m med tillhörande kostnader för de olika påldimensionerna.

Ett praktiskt exempel för att belysa ovanstående är Kv Glaucus i Gamla Stan, Stockholm där en borrarad och injekterad påltyp användes. Förhållandena på plats medförde stora restriktioner av omgivningspåverkan. Jordlagerföljden inom aktuellt område består av fyllning, innehållande lerig siltig sand, tegel, träbåtar, träpålar, gamla försvarsmurar av sten m m överlagrande åsmaterial. Grundförstärkningen i sig innebar korta pålsegment, som snabbt kunde skarvas för att få ner installationskostnaderna, eftersom det rådde begränsad takhöjd i källarutrymmena. En borrhänsla anpassad för att även kunna borra i trä togs fram och foderrör genom fyllningen användes. Den lastupptagande delen av pålen medförde en 10 m förankringslängd i åsmaterialet.

Injekterade pålar är inte alltid det billigaste alternativet, sett ur materialkostnadssynpunkt. Installationstiden är nästan alltid lätt att beräkna, vilket är en stor fördel för både anbudsgiv-

vare och beställare. Metoden är också snabb om man jämför med andra liknande påltyper i aktuellt tillämpningsområde, vilket gör att installationstiden är kortare än för många andra metoder. Eftersom maskintiden kan minskas sjunker den totala kostnaden. Ser man till den totala ekonomin i ett projekt är denna metod ofta kostnadseffektiv.

2.2. PRODUKTIONSTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

Borrutrustningen som krävs för installation av injekterade pålar är en ”vanlig” borrhög för topphammarboring alternativt hydraulisk- eller tryckluftshejare. Vad gäller MAI- och TITAN IBO-pålar är de vänstergängade och har R-gängor, vilket gäller för alla bergborrstål. Vad gäller Ischebeck TITAN har de en speciell TITAN-gänga.

För borrade och injekterade pålar med samtidig injektering förutsätts för samtliga påltyper att en speciell övergångs- eller spoladapter används för att leda cementbruket utanför borrhammaren.

Generellt kan sägas att för de mindre påldimensionerna fungerar en borrhög typ Atlas Copco ROC 712 försedd med hammare typ COP 1238, eller motsvarande, alldeles utmärkt. För de grövre påldimensionerna rekommenderas borrhögar/hammare som annars används för grundförstärkningsarbeten t ex Klemm 4053A, KD1011, Krupp HB40 eller motsvarande. Dock bör borrhögen ha en tillräcklig vikt för att säkerställa pålens installationsriktning, se kapitel 3.2. Installation.



2.3. FÖRUNDESRÖKNINGAR

I projekteringsstadiet i ett pålningsprojekt görs relevanta geotekniska undersökningar, som visar jordlagerföljd, jordlagrens tjocklek och deras geotekniska egenskaper, djup till berg samt grundvattennivån. Även jordens kemiska egenskaper analyseras för bedömning av om rostmån eller enkelt korrosionsskydd med cementbruk är tillräckligt under pålens hela livslängd. Vidare skall området undersökas ur arkeologisk synpunkt.

Injekterade pålar används huvudsakligen som mantelburna pålar, varför den mest lämpliga sonderingsmetoden är CPT-sondering. Används utvärderingsprogrammet CONRAD (från SGI) i kombination med undersökningarna fås värdefull information som spetsmotstånd, lokalt mantelmotstånd, jordart, porttryck m m. På många platser i Sverige är det ofta svårt att använda CPT-sondering eftersom den inte penetrerar blockrika jordarter.

In situ-metoder används för att bestämma jordens relativa fasthet. Eventuell förekomst av lera undersöks med in situ-metoder för att erhålla odränerad skjuvhållfasthet och flytgräns för att kunna beräkna knäcklast. För dimensionering hänvisas till kapitel 4.

Grundvattennivån, och ibland även uppgift om grundvattenflöden samt innehåll av föroreningar, är viktig i sammanhanget då det kan styra cementbrukets sammansättning t ex vid val av cementsort, vct och olika tillsatser i cementbruket.

3. Utförande

Då alla förberedande undersökningar utförts skall kontroll av utförandet omfattas av följande delar:

- Mottagningskontroll.
- Installation med utförandekontroll.
- Verifiering av bärförmåga.
- Pålavskärning.
- Montering av lastöverförande platta till ovanförliggande konstruktion.

3.1. MOTTAGNINGSKONTROLL

Alla leveranser av ingående pålmaterial till arbetsplatsen skall kontrolleras med avseende på:

- Korrekt dimension och stålqualität på injekteringsstål, borrkrona och skarvhylsa. Det ingående stålmaterialiet skall ha verifierade egenskaper.
- Korrosionsskyddet. Förbehandlat stål skall ha ett skydd, som uppfyller ställda krav.
- Rakhet, rundhet och övriga toleranskrav.

Skador och avvikelser dokumenteras och diskuteras med ansvarig konstruktör för åtgärd innan installation sker. Förvaring på arbetsplatsen skall ske så att inte jord eller föroreningar kommer in i injekteringsstålen, skarvhylsorna eller borrkronorna.

3.2. INSTALLATION

Vid installation nära befintliga pålar är det av yttersta vikt att riktningen på pålarna kontrolleras noggrant. I annat fall kan felet i installationsriktning tillsammans med initialkrokigheten medföra att befintliga pålar skadas. Kontrollen kan utföras av borroperatören från borrhjgen.

Vid borring/neddrivning i blockrika jordar är risken stor att pålen glider längs stenarnas ytterkanter och därmed får en vinkeländring. Där avvikelserna kan medföra inverkan på dimensioneringsförutsättningarna, skall dessa mätas upp och eventuell reducering i lastkapacitet skall utföras (se vidare kapitel 4 Dimensionering).

Under installationen skall borrhjgsoperatören notera vilka jordlager som passeras och övergångar mellan fast till löst lagrade jordskikt (och vice versa) antecknas i ett installationsprotokoll. Vidare skall förekomst av block och andra hinder i jorden antecknas samt djupet till berg. Då bergets överyta lutar finns risk att pålfoten glider iväg. Sådana tendenser skall antecknas, eftersom det kan medföra tilläggsmoment i pålen samt risk för att pålen böjer av.

Under installationen fås en övergripande verifiering på de geotekniska undersökningarna samt en indikation på om lösare jordarter påträffas, eftersom de ofta blir dimensionerande för den geotekniska bärförmågan.

För att minimera avvikelser placeras borrhjgen på ett plant underlag, som inte rör sig och riktningen på varje pålsegment kontrolleras av borroperatören vid borrhjgen i samband med installationen. Skarvhylsorna skall tillses bli korrekt anslutna för att minimera initialkrokigheten. Vikten på borrhjgen bör vara så stor som möjligt för att minimera riktningssavvikelserna i blockrika jordar.

I samband med borringen/neddrivningen utförs injektering samtidigt. Borrings-/neddrivningshastigheten, injekteringstrycket och –flödet skall anpassas så att injekteringsbrukets överyta hela tiden ligger i markytan. På så vis erhålls en kvittens på att tillräcklig diameter på pålen uppnås samt att stålet täcks av ett cementbruksskikt. Eventuella permeabla jordlager medför att injekteringsbruket inte stannar längs injekteringsstålet och det kan bli omöjligt att få upp injekteringsbrukets överyta till markytan. Det kan bli nödvändigt att gå tillbaka och efterinjektera för att erhålla tillräckligt täcksikt.

Ett injekteringsprotokoll ifylls där uppgifter om cementbruket skall antecknas;

- VCT.
- Antal kg torrsvikt cement/m eller antal liter injekteringsbruk/m.
- Eventuella tillsatser (antal % av cement-torrsvikten).
- Injekteringstryck.
- Injekteringsflöde.
- Övriga anmärkningar.

3.3. VERIFIERING AV BÄRFÖRMÅGA

Då cementbruket har härdat i minst ca 7 dygn tillåts pålen provbelastas. Statisk provbelastning rekommenderas, eftersom det omgivande cementbruket annars riskeras att skadas vid dynamisk provbelastning.

Verifiering av bärförmåga tas upp mer i detalj i avsnitt 4.4.3 Karakteristisk geoteknisk bärförmåga baserad på provbelastning.

3.4. KAPNING OCH MONTERING AV TOPPLATTA

Pålar kapas med skärande låga eller rondell. För kallbearbetade pålar (borrstål) beaktas den lokala uppvärmningens inverkan på materialets hållfasthet om topplatta skall monteras nära kapsnittet.

I vissa fall, främst vid kläna borrstål, kan lastöverföring från överbyggnad till påle ske genom vidhäftning mellan den uppstickande pålen och omgivande betongkonstruktion. Där utrymmet i konstruktionen är tillräckligt, och där kanske även omlottskarvning till armering kan ske, är detta en tekniskt och ekonomiskt fördelaktig metod. Erforderlig förankring-slängd kan beräknas enligt BBK 94 avsnitt 3.9.1. Vidhäftningshållfasthet motsvarande kamstång bör kunna utnyttjas om inte gynnsammare värden påvisas för aktuell gängprofil.

Normalt monteras en lastöverförande platta vid toppen av den kapade pålen. För injekterade stålrörspålar kan löst pålagda standardtopplåtar med invändig rörhylsa för vanliga stålrörspålar användas. Det bör dock observeras att denna lösning inte ger den fördelning av normalkraften mellan rör och brukskärna som är en förutsättning för att få medräkna kärnan som bidragande till lastkapaciteten, se vidare avsnitt 4.3.2 punkt A.3. Med en utvändigt snäv rörhylsa och ett så stort hål som möjligt i centrum av topplåten bör erforderlig samverkan kunna säkras.

Vid borrstål används normalt en topplatta med frigående hål, fixerad med hjälp av muttrar på under- och översida. Med denna lösning hindras inte brukskärnan att bidra till lastkapaciteten. Plåttjockleken bestäms enligt BSK 99 för det reducerade snittet genom hålet. Alternativt kan muttrarna sparas in om topplattan utförs med gängat hål och för gängsnittet tillräcklig tjocklek.

Det föreslagna alternativet med svetsad topplatta för TITAN-pålen ställer krav på lämplig svetsprocedur för det måttligt kallbearbetade materialet i borrstålet. För borrstål med högre hållfasthet bör svetsning undvikas. Om kontaktytan utförs med jämnhet för trycköverföring enligt BSK 99 avsnitt 8:63 kan svetsvolymen reduceras avsevärt. Kravet på åtkomlighet för svetsning på plattans undersida måste beaktas i det särskilda fallet.

4. Dimensionering

4.1. DIMENSIONERINGSPRINCIPER

Genom dimensioneringen skall säkerställas att pålarna under sin förväntade livslängd har betryggande säkerhet mot materialbrott och instabilitet samt tillfredsställande funktion vid avsedd användning. Vidare skall tillämpliga säkerhetskrav under installation och provbelastning tillgodoses.

Dimensioneringen skall ske i enlighet med senaste utgåva av Boverkets Konstruktionsregler (för närvarande BKR 1999), främst kapitel 2 Allmänna regler för bärande konstruktioner och kapitel 4 Geokonstruktioner samt i förekommande fall dessutom enligt t ex Vägverkets bronormer (för närvarande Bro 2002). Alternativt får dimensionering ske enligt tillämpliga normer i Eurocodes med tillhörande svenska Nationella Anpassningsdokument, NA.

I avsnitt 4.6 beskrivs hur beständighetskravet i BKR kan tillgodoses för i pålen ingående stål genom åtgärder som kringgjutning, rostmån, beläggning eller korrosionshärdigt stålmaterial.

Dimensionering i brott- och bruksgränstillstånd skall ske enligt partialkoefficientmetoden så som den tillämpas i BKR alt Eurocodes.

I avsnitt 4.5 beskrivs hur tillfredsställande funktion vid normal användning kan säkerställas genom begränsning av deformationer i bruksgränstillstånd.

Kravet på säkerhet mot materialbrott och instabilitet tillgodoses i brottgränstillstånd genom att påvisa att såväl pålens dimensionerande lastkapacitet som pålens dimensionerande geotekniska bärförmåga är större än eller lika med motsvarande dimensionerande lasteffekt. Med lastkapacitet avses pålens konstruktiva bärförmåga, baserad på lägsta värdet från tvärsnitts- och knäckningskontroll.

I avsnitt 4.4 behandlas beräkning av pålens geotekniska bärförmåga, d v s bärförmågan med avseende på brott i omgivande jord kring

pålen samt i jord eller berg under pålen.

I Pålkommisionen (1998) Dimensioneringsprinciper för pålar – Lastkapacitet, rapport 96:1, med supplement nr 1, beskrivs, med utgångspunkt från gällande normer, på ett generellt och ingående sätt beräkning av såväl lasteffekt som lastkapacitet för pålar i allmänhet, med tyngdpunkt på val av dimensioneringsförutsättningar. Dimensioneringskapitlet i föreliggande rapport är baserat på rapport 96:1 med supplement och specialiserat på tillämpning för här behandlade pålar.

I avsnitt 4.2 behandlas beräkning av lasteffekt. I avsnitt 4.3 behandlas beräkning av lastkapacitet, inklusive val av dimensioneringsförutsättningar, som i vissa fall är relevanta även för beräkning av lasteffekt.

Som en grundprincip gäller att det skall verifieras genom kontroll vid utförandet att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna är uppfyllda. Kontrollfrågor för de aktuella påltyperna behandlas i kapitel 5.

4.2 LASTER OCH LASTEFFEKTER

Framställningen i detta kapitel begränsas till pålar belastade från överbyggnaden med enbart axiellast. På grund av påltypernas låga böjstyvhet och momentupptagande förmåga kan de normalt inte utnyttjas för att uppta andra nämnvärda belastningar från överbyggnaden än just axiellast. Den stora slankheten och den låga böjstyvheten jämfört med den uppburna konstruktionen medför också att påtvingade snittkrafter i pålarna, vid analys av samverkan mellan överbyggnad och grundläggning, blir små.

För en påle med enbart axiellast på påltoppen, installerad på ett föreskrivet sätt, med viss initialkrokighet och i kända jordlager, finns ett entydigt samband mellan denna last och lasteffekterna i olika snitt längs pålen. Genom analys av pålen i omgivande jordlager enligt anvisningarna i 4.3 nedan kan därför dimensionerande lastkapacitet och dimensionerande geoteknisk bärförmåga för normaltryckkraft på påltoppen bestämmas och jämföras med dimensionerande lastvärde från överbyggnaden.

den, med tillämpliga partialkoefficienter för olika lastkombinationer.

För pålar som installeras genom lager av sättningbenägen jord, vanligast lös lera men även organisk jord som dy och gytta eller löst lagrad friktionsjord, och ner till fastare jordlager skall risken för framtida sättningar beaktas. Situationen är vanligt förekommande inom de aktuella påltypernas användningsområde. Eventuella påhängslaster skall beräknas av sakkunnig och ger upphov till bland annat en med djupet varierande normalkraft som lasteffekt i pålen.

Vid lutande pålar i sättningbenägen jord eller vid tendens till sidorörelser, i jorden eller mellan överbyggnad och jord, kan mer komplicerade lasteffekter med böjande moment och tvärkrafter som varierar från snitt till snitt behöva beaktas.

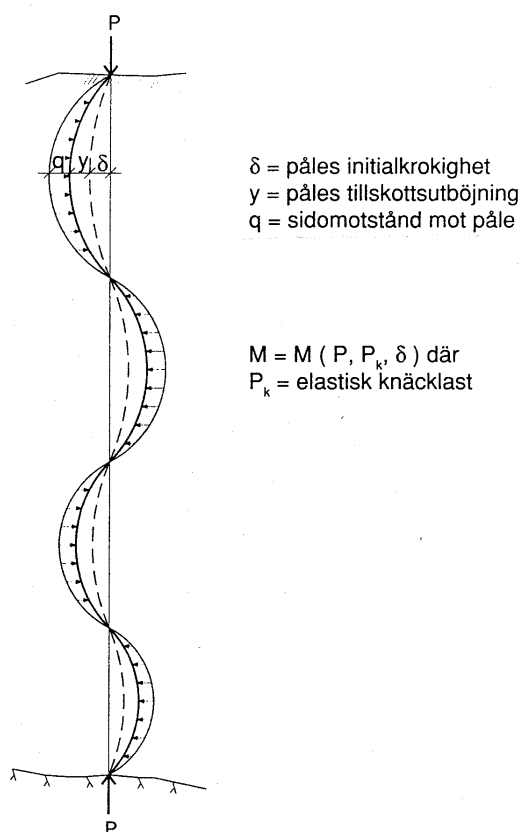
4.3. LASTKAPACITET

4.3.1 Allmänt

Vid bestämning av dimensionerande lastkapacitet för normaltryckkraft på påltoppen hos en enbart axialbelastad påle skall initialkrokighet och egenspanningar i den installerade pålen beaktas. Pålen betraktas som en av elastiskplastisk omgivande jord stöttad pelare, se figur 4.3.1 (hämtad ur Pålkommissionens rapport 96:1). När pålen belastas med tryckande axiallast uppstår därför såväl böjande moment som sidotryck från jorden i varje tvärsnitt i samband med tillskottsutböjning.

Lastkapacitet är alltså, liksom även geoteknisk bärförmåga, en objektsspecifik storhet. Analysen utförs med nödvändighet enligt andra ordningens teori. I brottgränstillstånd får gränslastteori användas om förutsättningarna i BSK99 avsnitt 3:32 är uppfyllda. Såväl stålmaterialens egenskaper hos de aktuella påltyperna som instabilitet vid lösa jordlager kan därvid utgöra begränsningar. I bruksgränstillstånd förutsätts elastiska förhållanden råda i såväl pålmaterial som jord.

Dimensioneringsförutsättningar vad gäller pålmaterialens egenskaper, jordens egenskaper, initialkrokighet, egenspanningar, skarvar, samverkan stål-betong m m behandlas i 4.3.2 med inriktning på speciella förhållanden vid de aktuella påltyperna. En fyllig, allmän behandling av motsvarande frågor återfinnes i Pålkommissionens rapport 96:1 med supplement nr 1.



Figur 4.3.1
Axiellt tryckbelastad påle.

Noggrann analys kan ske med "modeller typ A" där med hjälp av numeriska metoder eller FEM-analys pålens geometri och styvhet samt variationer i pålens och jordens materialegenskaper kan modelleras på ett verklighetsnära sätt. Normalt används, särskilt för pålar med liten knäcklängd som de här aktuella, förenklade "modeller typ B" som ger analytiska lösningar. Härvid begränsas möjligheterna till:

- jämnstyv påle och konstanta jordegenskaper inom knäcklängden.
- initialutböjning, inkl vinkeländring i skarvar, approximerad till en enkel funktion utan vinkeländring i en punkt.
- egenspanningar och plasticering beaktad på ett approximativt sätt.

En lämplig metod av den senare typen finns generellt beskriven i Pålkommissionen (1995) Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord, rapport 84a, kapitel 6 och 7 (exempel). En stegvis beräkningsgång för stål pålar baserad på denna metod återfinns i Pålkommissionen (2000:b), Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stål pålar, rapport 98, avsnitt 5.2.7.

4.3.2 Dimensioneringsförutsättningar

A. Pålmaterialens egenskaper

A.1 Stål

Dimensionerande materialegenskaper för ingående stålmaterial skall bestämmas i första hand enligt BSK 99. Det måste dock observeras att kallbearbetade stål som de borrhållstål som används i borrhåll och injekterade pålar inte täcks av BSK. Kallbearbetade armeringsstänger behandlas i BBK 94, där det i 2.5.2 schablonmässigt anges att tryckhållfastheten kan sättas hälften så stor som draghållfastheten, dock högst 420 MPa, för att beakta kallbearbetningseffekten. Detta råd kan dock frångås om annat kan påvisas vara riktigare. Exempelvis uppges för Ischebeck TITAN provningar ha visat att kallbearbetningseffekt inte föreligger. Vidare tillkommer för pålar installationens inverkan på materialegenskaperna. Dimensioneringsvärdet för stålets stukgräns sätts till

$$f_{ycd} = \mu f_{yck} / (\gamma_m \gamma_n)$$

där:

f_{yck} är fordrat karakteristiskt värde på stålets stukgräns enligt gällande stålstandard

μ är en reduktionsfaktor som beaktar installationens inverkan, se nedan

γ_m är partialkoefficient för material, 1,0 alt 1,1 enligt BSK 3:42

γ_n är partialkoefficient för säkerhetsklass

Installationens inverkan är svårbestämd och ofullständigt utredd för de aktuella pålarna, som installeras med speciella metoder och ofta är mantelburna. På säkra sidan bör vara att tillämpa den generella metod som redovisas i rapport 96:1 med supplement, avsnitt 3.2.2, där

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

där:

μ_1 beaktar drivning och stoppslagning

δ_2 beaktar jord- och bergförhållanden och

δ_3 beaktar förekommande integritets- eller rakhetskontroll

Vid schablonmässig bestämning enligt rapport 96:1 med supplement bör för de aktuella, relativt skonsamt behandlade pålarna termen μ_1 kunna väljas lika med övre gränsvärdet 0,9.

Termen δ_2 sätts till lägst 0,1 på grund av att de aktuella pålarna måste betraktas som slanka (böjveka) och till högst 0,2, det senare vid sten och block i jorden, ogynnsamt varierande jordlagerföljd eller stoppslagning mot lutande bergyta.

Termen δ_3 sätts till 0,0 om integritets- eller rakhetskontroll inte utförs, men får ökas till 0,1 eller max 0,2 vid sådan kontroll, dock får inte δ_3 sättas större än δ_2 .

För faktorn μ erhålls alltså utan integritets- eller rakhetskontroll värdet 0,8 eller 0,7, med sådan kontroll värdet 0,9 eller möjligen 0,8. Under gynnsamma omständigheter, t ex mantelburna pålar i blockfri jord, bör högre värden kunna motiveras. Enligt supplement nr 1 till rapport 96:1 rekommenderas rakhetskontroll framför integritetskontroll vid slanka pålar som de här aktuella.

Dimensioneringsvärdet för stålets E-modul sätts till

$$E_d = 0,9 E_k / (\gamma_m \gamma_n) = 189 / (\gamma_m \gamma_n) \quad (\text{GPa})$$

där faktorn 0,9 beaktar inverkan av egenspanningar, se vidare Handboken BYGG K18:56, och där E_k sätts till 210 GPa.

Vid behov av stålets hela arbetskurva kan den konstrueras enligt BSK 3:43 för varmvalsat stål och enligt BBK 2.5.5 för kallbearbetat stål, i det senare fallet med hållfasthetsvärden för tryck. Observera särskilt det kallbearbetade materialets begränsade brottdeformation.

A.2 Injekteringsbruk

Dimensioneringsvärden för tryckhållfasthet, E-modul, arbetskurva, krympmått och kryptal för föreskriven brukssammansättning bestäms enligt BBK. I Pålkommisionens rapport 98 anges att kryptalet för pålar normalt kan sättas till 1,3, men värdet bör vara starkt beroende av brukets sammansättning. För TITAN-pålen anges upplysningsvis injekteringsbrukets karakteristiska tryckhållfasthet normalt vara 25 MPa vid avslutande injektering med vct ca 0,40.

A.3 Samverkan stål – injekteringsbruk

Förutsättningar vad gäller samverkan vid stål-kärnepålar och konventionella stålörspålar behandlas i Pålkommisionens rapport 96:1. Bruk inuti stålör förutsätts där samverka med ör och ev stålörna för bestämning av böjstyvhet. Vidare anges att armerad betongörna får förutsättas medverka för upptagande av

böjande moment, och även för normalkraft, det senare förutsatt att lasteffekten i påltoppen fördelas mellan rör och kärna, att vidhäftningen mellan stål och bruk är tillräcklig och att brukets kvalitet kan verifieras.

Överfört till de här aktuella påltyperna bör detta innebära att invändigt injekteringsbruk kan medräknas för böjstyvhet och för upptagande av excentricitetsmoment. Detta gäller även injekteringsbruk i ett eventuellt omgivande foderrör kring en injekterad påle, t ex vid passage genom ett särskilt löst jordlager. Injekteringsbruk som medräknas skall påvisas vara osprucket i brottgränstillstånd. Vid borrard påle med platta skruvad till borrstålet föreligger även förutsättningar för fördelning av normalkraften mellan stålet och brukskärnan tack vare att den senare står i direktkontakt med den fortsatta betonggjutningen. Vid rörpåle med konventionell, hel topplatta saknas denna direktkontakt, men den bör kunna skapas med ett hål i plattan med diameter ungefär lika med rörets innerdiameter.

Förutsättningarna för att kunna utnyttja det yttre bruksskiktet vid beräkning av lastkapacitet är väsentligt osäkrare och mer beroende av förutsättningarna i varje särskilt fall. Teoretiskt formar borrkronan respektive spetskragen ett cylindriskt hål som skall fyllas upp och ett antal förstörande provningar i friktions- och kohesionsjord har visat att brukskroppens diameter på grund av injekteringstrycket i medeltal blir större än kronans resp kragens diameter. Det är dock svårt att generellt garantera att en viss minsta diameter och en viss minsta hållfasthet hos brukskroppen under alla förhållanden kommer att uppnås i varje snitt. Därför kan inte någon annan allmän regel lämnas än att helt bortse från det yttre bruksskiktet vid beräkning av lastkapacitet.

För beräkning av böjstyvhet hos en påle är diametern i ett enskilt snitt inte lika avgörande och därför kan ett försiktigt valt värde på medverkande bruksskiktets tjocklek motiveras. Exempelvis presenteras i Dimensioneringsguide/2 för Ischebeck TITAN stag och påle (2000) lastkapacitetsvärden beräknade med en tredjedel av det yttre bruksskiktets nominella area (motsvarande ca 60 % av tjockleken) bidragande till pålens styvhet.

I enskilda fall med jämna geotekniska förhållanden bör det vara möjligt att, med hjälp av erfarenhetsvärden och eventuell förprovning i kombination med dokumentation av injekterad mängd, utnyttja en större del av det yttre

bruksskiktets nominella area för att uppnå högre lastkapacitet på grund av ökad böjstyvhet. Det bör också vara möjligt, särskilt vid många samverkande pålar under en styv överbyggnad som ger möjlighet till omfördelning, att utnyttja en del av det yttre bruksskiktets nominella area vid den direkta beräkningen av lastkapacitet.

Det bör observeras att avvikande regler för samverkan stål – injekteringsbruk anges i förstandarden av tillämpliga Eurocodes.

B. Jordmaterialens egenskaper

B.1 Allmänt

För modellering av jordens sidomotstånd förutsätts en elastisk-plastisk arbetskurva som beskrivs av dimensionerande effektiv bäddmodul k_{def} (kN/m³) och dimensionerande effektivt gränstryck q_{bdef} (kN/m²). För ett pålelement med bredden eller diametern d och tillskottsutböjningen y , jämför figur 4.3.1, blir sidomotståndet

$$q = k_{def} d y \text{ (kN/m)}, \quad \text{dock } \max q_{bdef} d \text{ (kN/m)}.$$

Bestämning av k_{def} och q_{bdef} med utgångspunkt från geotekniskt projekteringsunderlag redovisas i rapport 96:1 kapitel 3, med hänvisning till Bro 2002 Bilaga 3 – 4.

B.2 Normalkonsoliderad lera

Med utgångspunkt från lerans dimensionerande skjuvhållfasthet

$$c_{ud} = c_{uk} / (\gamma_m \gamma_n)$$

där c_{uk} är karakteristiskt värde för lerans odränerade skjuvhållfasthet, korrigerad med hänsyn till lerans konflytgräns och där γ_m väljs i intervallet 1,6-2,0 enligt BKR 4:31 (lokalt värde avgörande) beräknas, vid laster med olika varaktighet, dimensionerande effektiv bäddmodul k_{def} som

$$k_{def} = 200 c_{ud} / (d (1 + \phi_{jef}))$$

och dimensionerande effektivt gränstryck q_{bdef} som

$$q_{bdef} = 9 c_{ud} (1 - \phi_{jef} / 9)$$

Jordens effektiva kryptal ϕ_{jef} bestäms som kryptalet vid långtidslast, 3,0, multiplicerat med andelen långtidslast, $d v s$

$$\phi_{jef} = 3,0 P_{lf} / P_{tot}$$

Med långtidslast avses här last med varaktig-

het minst en vecka. Observera att produkten ($k_{\text{def}} d$), ibland kallad bäddstyvheten, är oberoende av pålens tvärmått medan sidomotståndet vid plasticering ($q_{\text{bdef}} d$) är proportionellt mot d . Tillskottsutböjningen y_{bdef} då gränstrycket uppnås kan beräknas som

$$y_{\text{bdef}} = q_{\text{bdef}} / k_{\text{def}}$$

$$= 0,045 d (1 - \phi_{\text{jeff}} / 9) (1 + \phi_{\text{jeff}})$$

Den är alltså proportionell mot pålens tvärmått och ökar från 0,045d vid korttidslast till 0,120d vid långtidslast.

B.3 Friktionsjord

Oberoende av lasternas varaktighet beräknas dimensioneringsvärden k_d och q_{bd} som motsvarande karakteristiska värden enligt Bro 2002 Bilaga 3–4.3 dividerade med $\gamma_m \gamma_{\text{m}}$, där γ_m väljs i intervallet 1,1–1,3 enligt BKR 4:31.

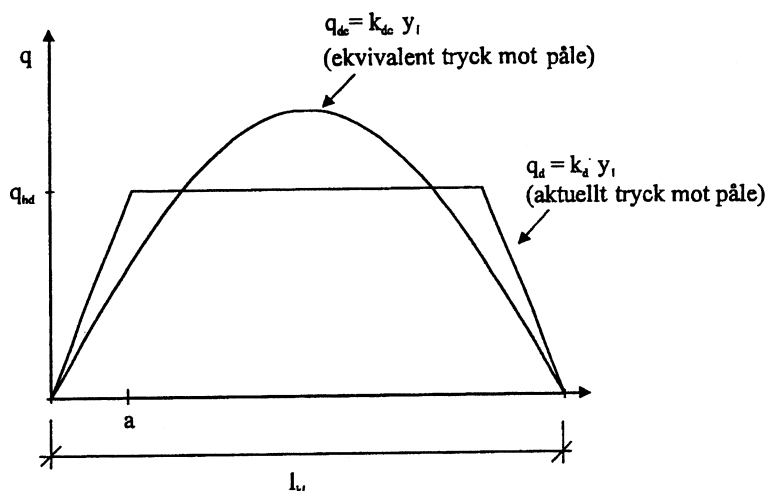
B.4 Reducerad ekvivalent bäddmodul m h t plasticering

Vid tillskottsutböjning som lokalt överstiger y_{bdef} enligt ovan inträffar plasticering, vilket innebär försämrat sidostöd för pålen och där-

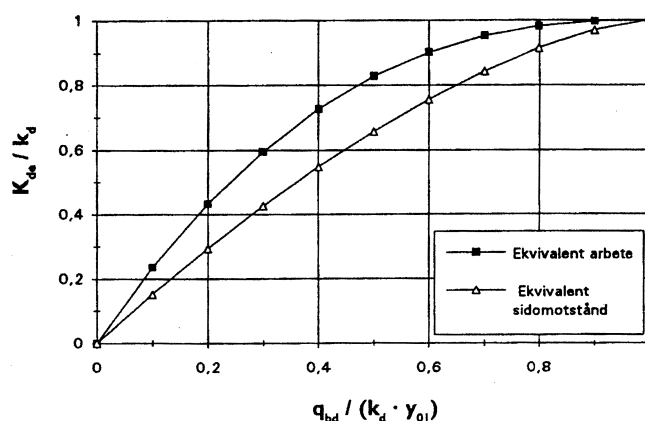
med lägre knäcklast. I anslutning till den metod för beräkning av lastkapacitet som beskrivs i Pålkommisionens rapport 84a, se vidare nedan, beaktas plasticering approximativt genom att förutsätta fortsatt proportionalitet mellan tillskottsutböjningen och jordens sidomotstånd, men med en reducerad bäddmodul k_{de} , vilken väljs ekvivalent med avseende på erforderligt arbete alternativt erforderlig kraft för sidoutböjning räknat över knäcklängden, se figur 4.3.2a. Ur dessa principer har härletts två samband mellan plasticeringsgraden och reduktionsfaktorns storlek, se figur 4.3.2b, där y_{01} är maximal tillskottsutböjning. Enligt rapport 96:1 får det korrektere (och gynnsammare) sambandet, baserat på ekvivalent arbete, tillämpas.

B.5 Störning av jorden vid installation

Vid slagning av pålar störs lerans struktur så att hållfastheten tillfälligt reduceras. Efter avslutad störning anses att en normalkonsoliderad lera återhämtar sin ursprungliga hållfasthet längs en stålpåle på ca sex månader, längs en betongpåle på ca fyra månader. Eventuell överkonsolidering bör betraktas som förlorad.



Figur 4.3.2a
Verkligt respektive ekvivalent sidomotstånd vid plasticering.



Figur 4.3.2b
Reducerad bäddmodul vid plasticering.

En injekterad påle medför normalt en mindre störning av leran än en slagen betongpåle. Det bör därför vara på säkra sidan att förutsätta reducerat sidomotstånd mot pålen under de första fyra månaderna efter installation.

I löst lagrad friktionsjord erhålles vid slagning eller borrning en gynnsam packningseffekt, som tillsammans med injekteringen sannolikt ökar sidomotståndet mot pålen, men som normalt inte beaktas.

C. Initialkrokighet, egenspanningar m m hos installerad påle

C.1 Allmänt

Initialkrokigheten hos installerad påle sammansätts av initialkrokighet hos pålelementen, vinkelavvikelse hos skarvarna och tillskottskrokighet på grund av installationen. Vid den metod för bestämning av lastkapacitet som beskrivs i Pålkommisionens rapport 84a approximeras den verkliga resulterande utböjningen hos pålen med en sinuskurva. Avståndet mellan inflexionspunkterna väljs lika med knäcklängden, vilket ger mest ogynnsam inverkan på lastkapaciteten. Förutsatt initialkrokighet kan då beskrivas enbart av kurvans dimensionerande pilhöjd δ_d , uttryckt som en faktor gånger knäcklängden.

Egenspanningarnas inverkan på lastkapaciteten har ovan beaktats genom reduktion av stålets E-modul med faktorn 0,9. Enligt den approximativa metod för beaktande av egenspanningar som beskrivs i Handboken BYGG K18:56 och Pålkommisionens rapport 96:1 avsnitt 3.6.1 skall dessutom förutsättas en ekvivalent, fiktiv initialkrokighet δ_f som adderas till den geometriska och bildar den dimensionerande beräkningsmässiga initialkrokigheten

$$\delta = \delta_d + \delta_f$$

Vid bestämning av lastkapacitet skall även inverkan av eventuella excentriciteter vid pålspetsen beaktas. De värden som anges för slagna pålar under olika berg-/jordförhållanden i Pålkommisionens rapport 98 avsnitt 4.3.2 bör kunna tillämpas, sannolikt på säkra sidan, även för CSG-pålen. För borrarade och injekterade pålar bör normalt excentriciteten på grund av installationsmetoden bli så liten att tillhörande moment inte blir dimensionerande jämfört med moment av pålens utböjning.

C.2 Fiktiv initialkrokighet p g a egenspanningar

För stålrorspålar av varmformade cirkulära rör förutsätts enligt Pålkommisionens rapport 96:1 avsnitt 3.6.1

$$\delta_f = 0,00031l_k$$

medan för övriga aktuella pålelement, kallformade längssvetsade rör samt kallbearbetade borrstål, förutsätts på grund av högre egenspanningar

$$\delta_f = 0,00131l_k$$

där l_k är pålens knäcklängd.

C.3 Geometrisk initialkrokighet

Dimensionerande geometrisk initialkrokighet beräknas som

$$\delta_d = \gamma_\delta (\delta_{\text{påle}} + \delta_{\text{kskarv}})$$

där partialkoefficienten γ_δ sätts till 1,0 om rakhetskontroll av alla pålar utföres vid produktionspålning, men sätts till 2,0 om sådan kontroll inte alls förekommer, vilket av praktisk skäl torde vara det normala vid de aktuella påltyperna. Vid delkontroll tillämpas värden enligt Pålkommisionens rapport 98, avsnitt 4.3.1. Mindre värde för δ_d än 0,0015 l_k , stålpelares initialkrokighet enl BSK 99, får inte väljas utan särskild utredning.

Karakteristisk initialkrokighet hos installerad påle utan rakhetskontroll kan enligt rapport 98 sättas till

$$\delta_{\text{kpåle}} + \delta_{\text{kskarv}} = l_k/600 + n v_{\text{skarv}} l_k/4$$

där n är antalet skarvar inom knäcklängden och v_{skarv} är vinkelavvikelsen i skarven, som för slagen stålpåle med dubbelkonisk skarvhylsa normalt förutsätts vara 1:300. Med max en skarv inom knäcklängden, det normala förhållandet, erhålls alltså $\delta_d = 2,0 (l_k/600 + l_k/1200) = l_k/200 = 0,0050l_k$. Med andra typer av skarvar, t ex gängad hylsa eller svets, kan andra förutsättningar om vinkelavvikelse vara motiverade.

Karakteristisk initialkrokighet hos installerad påle med rakhetskontroll skall väljas med hänsyn till aktuella förhållanden, dock minst till värden enligt ovan. Alternativt kan motsvarande värden bestämmas genom rakhetsmätning vid provpålning. En erfarenhetsbank behöver byggas upp beträffande förväntad krokighet vid olika installationsmetoder, jord- och bergförhållanden samt påldimensioner.

Det bör särskilt observeras att Bro 2002 inom sitt giltighetsområde begränsar böjstyvheten hos slanka stålplåtar till minst 500 kNm² med rakhetskontroll och till minst 2000 kNm² utan rakhetskontroll, vilket ungefärligen motsvarar ståldiametrar 100 mm resp 150 mm och utsluter framför allt huvuddelen av aktuella borrhålar.

Enligt kordasatsen kan karakteristisk pilhöjd δ_k på knäcklängden l_k bestämmas ur uppmätt pilhöjd δ_m på annan mätlängd l_m genom sambandet

$$\delta_k = \delta_m l_k^2 / l_m^2$$

Enligt samma sats kan pilhöjden beräknas ur en, t ex med tolk, bestämd krökningsradie R genom sambandet

$$\delta_k = l_k^2 / (8R)$$

Båda formlerna är baserade på att initialkrokighetens form lokalt kan approximeras med en cirkelbåge.

4.3.3 Beräkningsgång

Med dimensioneringsförutsättningar enligt 4.3.2 kan analys av pålen ske med en noggrann ”modell typ A” eller en förenklad ”modell typ B” enligt 4.3.1. Normalt ger den senare typen av modell tillräcklig noggrannhet i relation till osäkerheten i förutsättningarna vid de här aktuella pålarna med relativt liten böjstyvhet och knäcklängd.

Beräkningsgången vid den metod baserad på en ”modell typ B” som beskrivs generellt i Pålkommisionens rapport 84a kap 6 och speciellt för stålplåtar i rapport 98 avsnitt 5.2.7 redovisas nedan för injekterade plåtar. Såväl initialkrokighet som tillskottsutböjningen vid axiellast antas sinusformad med pilhöjden δ_d (enligt 4.3.2.C ovan) resp y_0 och halvvåglängden lika med knäcklängden l_k . Den initialkrokiga pålen antas före belastning opåverkad av resulterande sidomotstånd från jorden och fri från snittkrafter. Det resulterande sidomotståndet antas variera med tillskottsutböjningen y enligt 4.3.2.B ovan. Vid plasticering av jorden beräknas en reducerad bäddmodul baserad på principen om ekvivalent arbete.

För det krokiga pålelementet enligt ovan beräknas snittkrafter och utböjningar av axiellast i påltoppen enligt en approximativ metod med andra ordningens teori. Som beskrivs i BYGG K18.56 bestäms bärförmågan därefter av interaktionsformlerna för snittkontroll i BSK 99

avsnitt 6:521, dock med samtliga exponenter lika med 1,00.

Beräkningsgången innehåller följande moment:

1. Bestäm tvärsnittsdata A , I och W för det samverkande påltvärsnittet enligt 4.3.2.A, i förekommande fall reducerat för avrostning enligt 4.6.
2. Beräkna, med hållfasthetsegenskaper enligt 4.3.2.A, det samverkande påltvärsnittets normalkraftskapacitet N_d enligt additionsprincipen, jämför Pålkommisionens rapport 97 avsnitt 4.3.8, och dess böjmomentkapacitet M_d , med ev utnyttjande av stålets plasticering och förutsättningarna enligt avsnitt 4.3.2, A3 ovan.
3. Bestäm dimensionerande jordlagars bäddmodul k_{def} och gränstryck q_{bdef} samt den tillskottsutböjning $y_{bdef} = q_{bdef} / k_{def}$ då gränstrycket uppnås, enligt 4.3.2.B vid aktuell lastvaraktighet.

4. Beräkna pålens elastiska knäcklast P_k och tillhörande knäcklängd l_k enligt teorin för balkpelare på fjädrande bädd

$$P_k = 2 (k_{def} d E_d I)^{0.5}$$

$$l_k = \pi (E_d I / k_{def} d)^{0.25}$$

5. Beräkna lastkapacitet P_0 med hänsyn till excentriciteten e_0 vid pålspetsen, se 4.3.2.C, ur interaktionsformeln $P_0 / N_d + P_0 e_0 / M_d = 1,00$, dvs

$$P_0 = (1 / N_d + e_0 / M_d)^{-1}$$

6. Beräkna, ur det approximativa uttrycket för maximal tillskottsutböjning

$$y_0 = \delta_d / (P_k / P - 1), \text{ normalkraften } P_{ab} \text{ då gränstrycket uppnås som}$$

$$P_{ab} = P_k y_{bdef} / (\delta_d + y_{bdef})$$

7. Beräkna maximalt andra ordningens moment vid normalkraft P_{ab} ur det approximativa uttrycket

$$M_{ab} = 0,5 P_{ab} \delta_d / (1 - P_{ab} / P_k)$$

8. Kontrollera tvärsnittets kapacitet då gränstrycket uppnås med interaktionsformeln

$$a = P_{ab} / N_d + M_{ab} / M_d$$

9. Om $a > 1,00$ under moment 8 kommer knäckning att inträffa innan gränstrycket uppnås. Upprepa moment 6 – 8 ovan med lägre värden på y_0 och interpolera fram den normalkraft P_{ab} för vilken $a = 1,00$, d v s den sökta lastkapaciteten P_b med hänsyn till knäckning.

10. Om $a < 1,00$ under moment 8 kommer gränstrycket att uppnås och viss plasticering av jorden att ske innan knäckning inträffar. Välj nya, högre värden på y_0 och beräkna reducerad bäddmodul, baserad på ekvivalent arbete, enligt figur 4.3.2b eller motsvarande formel (47) i rapport 84a för varje y_0 . Till varje bäddmodul beräknas nytt lägre värde på elastisk knäcklast P_k och nytt, högre värde på knäcklängd l_k enligt moment 4. Upprepa därefter moment 6 – 8 ovan med de högre värdena på y_0 och tillhörande lägre P_k och interpolera fram den normalkraft P_{ab} för vilken $a = 1,00$, d v s den sökta lastkapaciteten P_b med hänsyn till knäckning.

Pålens sökta lastkapacitet är det lägsta av värdet P_0 enligt punkt 5 och P_b enligt moment 9 eller 10.

Exempel på tillämpningen av ovanstående beräkningsgång för såväl stål- som betongpålar finns i Pålkommisionens rapport 84a avsnitt 7.

Dessutom kan lastkapaciteten komma att begränsas av pålskarvarna, som skall kontrolleras för snittkrafter beräknade med approximativ andra ordningens teori enligt ovan. Verifiering kan ske genom beräkning eller genom provning av skarv.

Påle som påverkas av utmattningslast skall kontrolleras enligt gällande konstruktionsregler med beaktande av hållfasthetsreduktion på grund av utmattningen.

4.4. GEOTEKNISK BÄRFÖRMÅGA

Pålens geotekniska bärförmåga, R_s , är den lasteffekt från pålen som jorden maximalt kan uppta. Den geotekniska bärförmågan för en enskild påle kan allmänt formuleras som summan av det maximalt mobiliserbara jordmotståndet (kraften) längs pålens mantelyta (mantelbärförmågan), R_{sm} , och mot pålens spets (spetsbärförmåga), R_{sp} enligt följande:

$$R_s = R_{sm} + R_{sp} = \int (r_{sm} \pi D) dz + r_{sp} A_p \quad (4.4.1)$$

där:

r_{sm} = mantelbärförmåga (kraft/ytenhet) på djupet z

D = pålens effektiva diameter (större än eller lika med borrkronans/kragens diameter) eller borrkronans diameter, se vidare kapitel 4.4.2.

r_{sp} = spetsbärförmågan (kraft/ytenhet) mot spetsen

A_p = pålens spetsarea

Erforderlig rörelse för att mobilisera spetsbärförmågan är normalt betydligt större än den rörelse som erfordras för att mobilisera mantelbärförmågan. För aktuella påltyper är mantelytans area dessutom mångdubbelt större än spetsarean. Vid dimensionering antas därför normalt att den geotekniska bärförmågan R_s är lika med mantelbärförmågan R_{sm} .

Den geotekniska bärförmågan skall alltid beräknas med antagandet att jordbrott antingen kan ske längs den enskilda pålens mantelyta eller längs en yttre begränsningsyta för en grupp av pålar, se Pålundläggningshandboken (1993). Den sistnämnda brottmekanismen är endast aktuell för små pålavstånd då pålarna ingår i pålgrupper.

4.4.1 Grundläggande geomekaniskt funktionssätt

Mantelfriktionen längs mantelytan hos en påle installerad i friktionsjord är i princip proportionell mot den effektiva normalspänningen mot pålens mantelyta och mot råheten mellan mantelytan och den omgivande jorden. Då pålen installeras med samtidig injektering (eventuellt kombinerad med efterinjektering) ökar den effektiva normalspänningen mot mantelytan och om jorden är fridränerande (inga porövertryck uppkommer) ökar den effektiva normalspänningen omedelbart till det effektiva injekteringstrycket (det effektiva injekteringstrycket kan vara betydligt lägre än det uppmätta injekteringstrycket på grund av friktionsförluster i slangar, manschetter m m). På grund av krypning, relaxation och andra omlagringseffekter i den omgivande jorden minskar dock normalt den effektiva normalspänningen med tiden.

Då ett påsegment belastas så att dess mantelyta rör sig i förhållande till den omgivande jorden kan den effektiva normalspänningen öka avsevärt om jorden är dilatant (d v s vill öka sin volym vid skjuvning), vilket normalt är fallet vid fast lagrad jord. Dilatansen och därmed den effektiva normalspänningen minskar

Vanligen görs ingen åtskillnad mellan drag- och tryckbelastade pålar av aktuella typer då den geotekniska bärförmågan skall bedömas. Därför baseras en stor del av befintlig empiri på försök utförda på dragpålar och dragstag. Normalt krävs dock större rörelser för att mobilisera den geotekniska bärförmågan vid dragbelastning.

Eftersom mantelbärförmågan till stor del beror av den effektiva normalspänningen mot mantelytan är injekteringsförfarandet (injekteringstryckets storlek) mycket väsentligt. För de aktuella påltyperna kan två principiella huvudgrupper särskiljas för vilka olika empiriska samband redovisas för den preliminära bedömningen av den geotekniska bärförmågan, nämligen:

- Tryckinjektering vid borrning/slagning (injekteringstryck ca 0,5 – 1 MPa)
- Efterinjektering vid ett eller flera tillfällen (injekteringstryck ca 2 – 8 MPa)

Naturligtvis är även pålens effektiva diameter mycket väsentlig (jfr ekvation 4.4.1). Diametern beror dock på injekteringsförfarandet och den omgivande jordens egenskaper och kan variera avsevärt. I litteraturen rapporteras att den effektiva diametern kan variera mellan borrkronans/kragens diameter och ca 2,5 gånger borrkronans/kragens diameter. De lägre värdena erhålls företrädesvis vid lågpermeabel jord och berg medan de högre värdena erhålls i friktionsjord med högre permeabilitet.

Juran m fl (1999) samt Bruce & Juran (1997a) har sammanställt ett antal vägledningar och empiriska samband som kan anses vara tillämpbara för borrarade och injekterade pålar. I denna sammanställning ingår bl.a. tyska (DIN 4128, 1983), franska (CCTG, 1993) och engelska (BS 8081, 1989) vägledningar. Nyligen har även en vägledning tagits fram i USA (FHWA, 2000). I Finland har dessutom en vägledning nyligen tagits fram speciellt för CSG-pålar (Lehtonen, 2001).

Som framgår nedan ger de olika metoderna stor spridning. Därför rekommenderas att den preliminära bedömningen baseras på samtliga redovisade metoder. Om lokalt framtagen empiri finns tillgänglig skall den utnyttjas.

4.4.2.2 Friktionsjord: borrarade och injekterade pålar

Enbart tryckinjektering vid borrningen (injekteringstryck ca 0,5 – 1 MPa)

Mantelbärförmågan uppskattas enligt någon av följande metoder:

- FHWA (2000) anger typiska storleksordningar på mantelbärförmågan för olika jordarter enligt Tabell 4.4.1 (Injekteringsförfarande A). Värdena baseras på ett stort antal undersökningar i samband med verkliga projekt i USA. För bestämning av den geotekniska bärförmågan används pålens effektiva diameter.
- CCTG (1993) baserar mantelbärförmågan på undersökningar i Frankrike där kalibreringar skett mot resultat från Pressometerförsök, se Figur 4.4.2. Olika samband (kurvorna Q1 och Q3 i Figur 4.4.2) har erhållits för olika jordar varför aktuell kurva väljs utgående från Tabell 4.4.2 och Tabell 4.4.3. Eftersom Pressometerförsök sällan utförs i Sverige kan Tabell 4.4.3 utnyttjas för att ”översätta” resultat från CPT-sondering till gränstryck p_l enligt Pressometerförsök. För bestämning av den geotekniska bärförmågan används borrkronans diameter.
- BS 8089 (1983) avser egentligen vägledning för dimensionering av injekterade dragstag, men anses relevant även för injekterade pålar. Den geotekniska bärförmågan uppskattas direkt enligt:

$$R_{sm,k} = L n \tan \phi' \quad (4.4.2)$$

där:

L = injekterad längd [m]

ϕ' = inre friktionsvinkeln [°]

n = 130 – 165 kN/m i finsand och mellansand; 400 – 600 kN/m grovsand och grus

Ekvationen förutsätter påldiametern 0,1 m och om den effektiva påldiametern avviker från detta kan den geotekniska bärförmågan ökas/minskas proportionellt mot verklig effektiv diameter.

Efterinjektering vid ett eller flera tillfällen (injekteringstryck ca 2 – 8 MPa)

Mantelbärförmågan uppskattas enligt någon av följande metoder:

- FHWA (2000) anger typiska storleksordningar på mantelbärförmågan för olika jordarter enligt Tabell 4.4.1 (Injekteringsförfarande A).

Tabell 4.4.1.
Normal storleksordning på karakteristisk mantelbärförmåga $r_{sm,k}$ [kPa] i alla slags jordar (efter FHWA, 2000).

Jordtyp	1) Injekteringsförfarande		
	A	B	C
Silt och lera (med inslag av sand) (lös, mellanplastisk)	35-95	50-120	50-145
Silt och lera (med inslag av sand) (styv, fast till mycket fast)	70-190	95-190	95-190
Sand (med inslag av silt) (fin; lös till medelfast)	70-190	95-190	95-240
Sand (med inslag av silt och grus) (fin till grov; medelfast till mycket fast)	120-360	145-360	145-385
Grus (med inslag av sand) (medelfast till mycket fast)	120-360	145-360	145-385
Lermorän (silt, sand, grus) (medelfast till mycket fast; cementerad)	95-310	120-310	120-335

1) A = injektering med övertryck; B och C=Injektering enligt A kombinerat med efterinjektering vid ett (B) eller flera (C) tillfällen.

Tabell 4.4.2
Kriterier för val av designkurvor i Figur 4.4.2 (efter CCTG, 1993).

Effektivt injekteringstryck	1) Lera/silt			1) Sand/grus		
	A	B	C	A	B	C
Lågt (ca 0,3 – 1 MPa)	Q1	–	–	Q3	Q3	–
Högt (>ca 1 MPa) med eventuell efterinjektering	–	Q4	Q5	Q5	Q5	Q6

1) Underklasserna A, B, C väljs ur Tabell 4.4.3

Tabell 4.4.3
Definition av underklasserna A, B, C i Tabell 4.4.2 (efter CCTG, 1993).

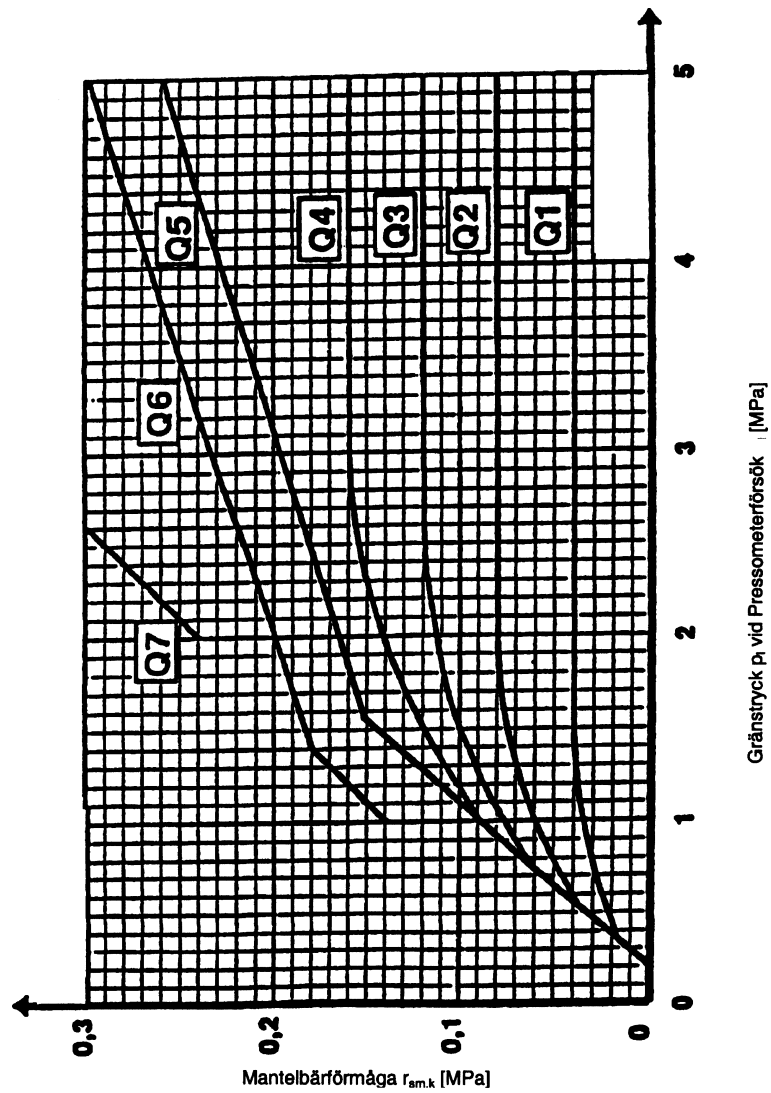
Jordtyp	Gränstryck vid pressometerförsök, p_1 [MPa]	Spetstryck vid CPT-försök, q_c [MPa]
Lera/silt	A – lös B – fast C – mycket fast	< 0,7 1,2–2 > 2,5
Sand/grus	A – lös B – fast C – mycket fast	< 3 3–6 > 6
		< 0,5 1–2 > 2,5
		< 5 8–15 > 20

rande B eller C). Värdena baseras på ett stort antal undersökningar i samband med användning i verkliga projekt i USA. För bestämning av den geotekniska bärförmågan används pålens effektiva diameter.

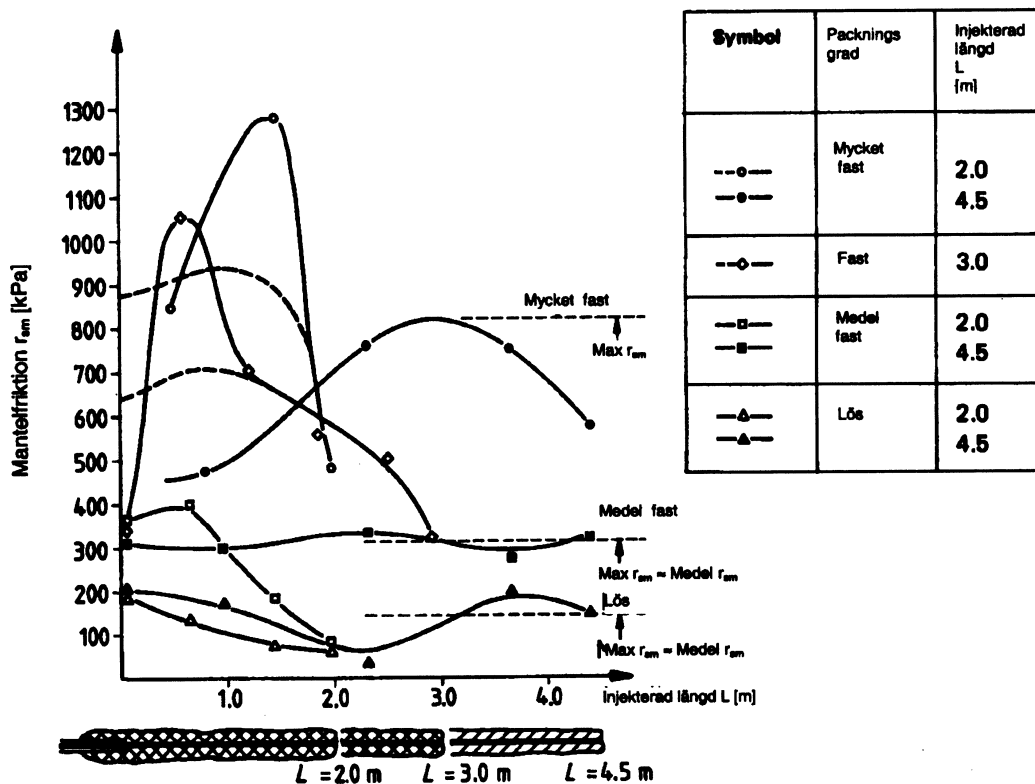
- CCTG (1993) baserar mantelbärförmågan på undersökningar i Frankrike där kalibreringar skett mot resultat från Pressometerförsök, se Figur 4.4.2. Olika samband (kurvorna Q4-Q6 i Figur 4.4.2) har erhållits för olika jordar varför aktuell kurva väljs utgående från Tabell 4.4.2 och Tabell 4.4.3. Eftersom Pressometerförsök sällan utförs i Sverige kan Tabell 4.4.3 utnyttjas för att ”översätta” resultat från CPT-sondering till

gränstryck p_1 enligt Pressometerförsök. För bestämning av den geotekniska bärförmågan används borrkronans diameter.

- BS 8089 (1983) föreslår att mantelbärförmågan uppskattas direkt från mätdata, exempelvis sådana redovisade av Ostermayer och Scheele (1977), se Figur 4.4.3. För bestämning av den geotekniska bärförmågan används pålens effektiva diameter.
- DIN 4128 (1983) rekommenderar mantelbärförmågan 150 kPa för sand och grusig sand samt 200 kPa för mellangrus och grovt grus. För bestämning av den geotekniska bärförmågan antas att den effektiva



Figur 4.4.2
Diagram för bedömning av mantelbärförmågan $r_{sm,k}$ [MPa] i alla slags jordar (efter CCTG, 1993). Kurvorna Q1-Q7 väljs utgående från Tabell 4.4.2.



Figur 4.4.3
Diagram för bedömning av karakteristisk mantelbärförmåga i sand (efter Ostermayer och Scheele, 1977).

diametern är 2 gånger borrhörens diameter.

Exempel

En borrarad och injekterad påle som efterinjekterats har installerats i en friktionsjord som bedöms utgöras av medelfast sand och grusig sand. Baserat på utförda CPT-sonderingar har spetsmotståndet q_c bestämts till ca 12 MPa.

Den karakteristiska mantelbärförmågan bedöms vara:

- Ca 145 – 360 kPa enligt FHWA (2000), se Tabell 4.4.1.
- Ca 160 kPa enligt CCTG (1993). Baserat på bedömd jordart och spetsmotstånd från CPT-sonderingen bedöms gränstrycket p_1 vara ca 1,5 – 2 MPa (se Tabell 4.4.3). Från Tabell 4.4.2 väljs designkurva Q5. Ur Figur 4.4.2 kan slutligen bedömd mantelbärförmåga utvärderas.

- Ca 300 kPa enligt BS 8089 (1983), se Figur 4.4.3
- Ca 150 kPa enligt DIN4128 (1983).

4.4.2.3 Friktionsjord: Slagna/tryckta och injekterade pålar, typ CSG-pålar

Enligt (Lehtonen, 2001) kan mantelbärförmågan för CSG-pålar uppskattas ur Tabell 4.4.4 eller enligt nedanstående samband:

$$r_{sm,k} = \beta \sigma'_v \quad (4.4.3)$$

där:

σ'_v = vertikal effektivspänning [kPa]

β bestäms ur Figur 4.4.4 och Tabell 4.4.5.

För bestämning av den geotekniska bärförmågan används en effektiv diameter som kan uppskattas preliminärt ur Tabell 4.4.6.

Tabell 4.4.4.
Bedömning av $r_{sm,k}$ [kPa] för CSG-pålar i friktionsjord på basis av geotekniskall fältundersökningar (efter Lehtonen, 2001).

Lagrings-täthet	Inre friktions-vinkel [°]	Standard penetration test SPT N_{30} (slag/0,3 m)	Viktsondering N_{HV} (halvvarv/0,2 m)	CPT-försök Spetstryck q_c (MPa)	Pressometer-försök Gränstryck p_1 (MPa)	Mantelbärförmåga (kN/m ²)
Lös	33	5	10	2	0,3	20
	34	10	30	4	0,5	40
Medelfast	35	20	40	8	1	80
	36	25	45	10	1,3	100
Fast	37	30	50	12	1,5	120
	38	35	60	15	2,0	150
	39	40	70	18	2,2	180
Mycket fast	40	50	>80	20	2,5	200
	41	60		22	3	220
	42	70		25	3,2	250

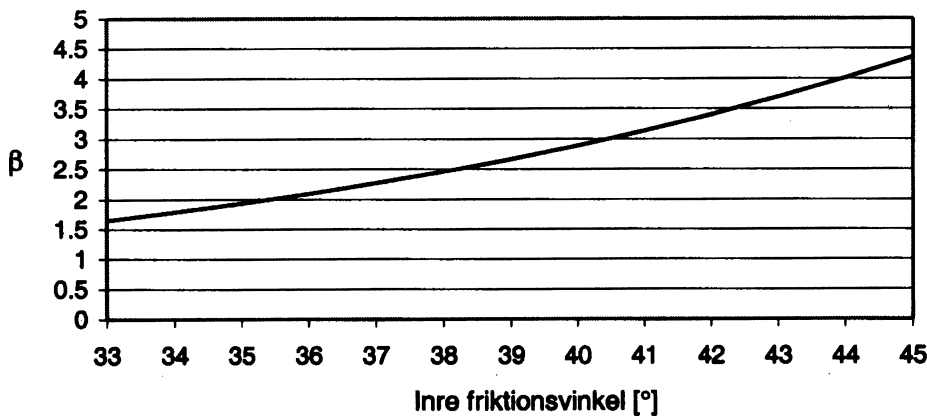
Tabell 4.4.5.
Ökning av jordens inre friktionsvinkel i friktionsjord då CSG-pålar installeras genom slagning (efter Lehtonen, 2001).

	Jordens inre friktionsvinkel [°]		
	Ursprunglig	Efter påslagning	Ökning
34		37	3
35		37,5	2,5
36		38	2
37		38,5	1,5
38		39	1
39		39,5	0,5
40		40	0

Tabell 4.4.6
Effektiv påldiameter D för CSG-pålar (efter Lehtonen, 2001).

Jordtyp	¹⁾ a-faktor
Lera	1,0
Silt	1,0 – 1,1
Sand	1,0 – 1,2
Grus	1,0 – 1,2
Morän	1,0 – 1,2

¹⁾ $D = (a\text{-faktor}) \times D_{krage}$



Figur 4.4.4
Bärighetsfaktorn β som funktion av den inre friktionsvinkeln i friktionsjord för CSG-pålar (efter Lehtonen, 2001). Om CSG-pålen installeras genom slagning kan jordens ursprungliga inre friktionsvinkel ökas enligt Tabell 4.4.5.

4.4.2.3 Kohesionsjord

Normalt installeras aktuella påltyper så att deras geotekniska bärförmåga huvudsakligen utbildas i friktionsjord. Om en stor andel av en påle passerar genom lera som överlagras friktionsjord kan det dock vara motiverat att tillgodoräkna sig mantelbärförmågan på grund av leran. Detta kan göras enligt samma principer som för slagna kohesionspålar, se Pålggrundläggningshandboken (1993).

4.4.2.4 Berg

Pålar nedförda till eller i berg förekommer normalt inte eftersom andra påltyper, t ex stål kärnepålar eller liknande, då vanligen är tekniskt och ekonomiskt mer fördelaktiga. Om så ändå är fallet kan den geotekniska bärförmågan bestämmas enligt samma principer som för tryckbelastade stål kärnepålar med mantelburen kärna, se Pålkommisionen (2000a).

4.4.3 Provbelastning

Provbelastning av enskilda pålar bör utföras innan produktionspålningen påbörjas för att kontrollera att den preliminärt uppskattade karakteristiska geotekniska bärförmågan kan uppnås alternativt möjliggöra en reviderad projektering. Dessutom bör provbelastning av produktionspålar utföras för att vidimera att den dimensionerande geotekniska bärförmågan har erforderlig säkerhetsmarginal, se vidare kapitel 4.4.4.

Provbelastning bör utföras som statisk provbelastning, inklusive bestämning av kryplast, se Pålkommisionen (1980). Om det är svårt eller orrealistiskt dyrt att ordna mothåll för tryckbelastning av pålen kan provning genom dragbelastning istället utföras. Vid utvärdering av resultaten bör dock beaktas att det normalt krävs större rörelser för att mobilisera den geotekniska bärförmågan för dragbelastade pålar.

Erfarenheterna av dynamisk provning, för bedömning av denna typ av pålars geotekniska bärförmåga och/eller för integritetskontroll, är begränsade. Tolkningen av resultaten försäkras av att pålens diameter och materialsammansättning (impedans) varierar längs pålen och att pålen huvudsakligen är mantelbärande. Därför bör dynamisk provbelastning (CAP-WAP) kalibreras mot enstaka statiskall provbelastningar. Risken för att cementbruket slås sönder vid dynamisk provbelastning gör även metoden mindre lämplig i detta sammanhang.

Allmänt rekommenderas att åtminstone två pålar belastas till brott genom statisk provbelastning innan produktionspålning påbörjas. Dessutom bör ca 5 % av produktionspålarna belastas upp till en last som överstiger den dimensionerande geotekniska bärförmågan med ca 70 %. Omfattningen och utformningen på provbelastningen bör naturligtvis anpassas med hänsyn till de konsekvenser som uppkommer om bärförmågan överskattas och med hänsyn till erfarenheter av användning av aktuella påltyper i jämförbara jordförhållanden.

4.4.4 Dimensionerande geoteknisk bärförmåga

Vid val av den dimensionerande geotekniska bärförmågan $R_{s,d}$ skall beaktas både omfattningen hos beslutsunderlaget vid bedömning av karakteristisk geoteknisk bärförmåga $R_{s,kd}$ och konsekvenserna av en överskattning av den geotekniska bärförmågan.

Den dimensionerande geotekniska bärförmågan $R_{s,d}$ bestäms därför enligt:

$$R_{s,d} = R_{s,k} / F \quad (6)$$

där:

F = säkerhetsfaktor enligt Tabell 4.4.7

Tabell 4.4.7
Val av säkerhetsfaktor F
för bestämning av di-
mensionerande geotek-
nisk bärförmåga $R_{s,d}$

Andel statistiskt provbeltade produktionspålar [%] / minsta antal	GK 1	GK 2	GK 3
0 / 0	2,3	2,4	2,5
5 / 1	2,0	2,1	2,2
5 / 2	1,8	1,9	2,0

4.5 RÖRELSER I BRUKSSTADIET

Ofta finns krav att pålens dimensionerande geotekniska bärförmåga skall kunna mobiliseras utan att påltoppens rörelse överskrider uppställda kravnivåer.

Pålens last-förskjutningskurva beror dels av pålens egenskaper (axialstyvhet och längd) och dels av överföringsmekanismen påle-jord längs pålens mantelyta. Dessa egenskaper varierar dock från plats till plats och även längs den enskilda pålen.

Uppföljning av ett stort antal provbelastningar av borrade och injekterade pålar installerade i såväl friktionsjord som kohesionjord visar dock att påltoppen vanligen sjunker ca 3 – 20 mm vid en belastning motsvarande den dimensionerande geotekniska bärförmågan $R_{s,d}$ (Bruce & Juran, 1997b). Genom att förspänna pålarna kan rörelsen dock minskas till i princip noll.

Om rörelsekraven är högt ställda bör last-förskjutningskurvan uppskattas utgående från resultat av statisk provbelastning.

4.6. BESTÄNDIGHET

4.6.1. Allmänt

Enligt BKR 99 avsnitt 2:13 skall pålarna uppfylla kraven i brott- och bruksgränstillstånd under hela sin fordrade livslängd, vilken bör sättas till minst 100 år om inte det uppburna byggnadsverket uppenbart är av mer kortvarig karaktär. Eftersom pålarna inte är åtkomliga för inspektion och underhåll återstår alternativt att

- välja ett fullgott korrosionsskydd för hela tidsperioden.
- vid dimensioneringen beakta förväntade förändringar under hela tidsperioden (rostmån).
- välja ett korrosionsskydd med kortare livslängd och vid dimensioneringen beakta förväntade förändringar under återstoden av tidsperioden (reducerad rostmån).

Beständighet hos stålpålar behandlas ingående i Pålkommisionen (2000:b), rapport 98, kapitel 7, utarbetat i samråd med Korrosionsinstitutet och baserat på Pålkommisionen (1994), Korrosion och korrosionsskydd av stålpålar och stålspond i jord och vatten, rapport 93. Detta mer kortfattade avsnitt är baserat på rapport 98 och specialiserat på tillämpning för här behandlade pålar, för vilka beständighetskravet kan tillgodoses med hjälp av:

- det skikt av injekteringsbruk som omger borrhålet eller pålröret i en injekterad påle.
- eventuellt omgivande foderrör vid passage genom t ex sprängsten eller lösa jordlager.
- invändig utfyllnad med injekteringsbruk.
- beläggning av plast och/eller zink på borrhålet eller pålrör.
- rostmån hos borrhålet eller pålrör.
- korrosionsbeständigt material i borrhålet eller pålrör.

Markmiljöns korrosivitet är starkt beroende av jordart och läge i förhållande till grundvattensytan, vilket kan leda till varierande korrosionsskydd längs pålen. Beständighetsdimensionering måste ske för varje enskilt pålningsobjekt, med omfattning och kompetenskrav beroende av rådande förhållandens komplexitet.

4.6.2. Injekteringsbruk och ev foderrör

I en injekterad påle blir normalt hålrummet inuti borrhålet eller pålrör fullständigt utfyllt med injekteringsbruk, vilket ger ett fullgott skydd mot invändig korrosion.

Även det hålrum som bildas omkring borrhålet eller pålrör på grund av att borrhålet respektive kragen har större diameter utfylls normalt med injekteringsbruk som bidrar till korrosionsskyddet. På grund av injekteringstrycket kan dessutom i vissa jordarter injekteringskroppens diameter komma att öka avsevärt, upp till 2,5 ggr borrhålets diameter, vilket ger ökat täcksikt.

Erforderligt täcksikt bestäms enligt BBK 94 tab 3.9.5b för aktuell miljöklass och aktuellt vct, förutsatt att borrhålet eller pålrör kan klassificeras som föga korrosionskänsligt, i annat fall tillkommer 10 mm. Exempelvis erfordras vid miljöklass A2 (tillgång till syre men försumbar kloridhalt) och vct max 0,45 täcksiktets basmått 25 mm (minustolerans lokalt 10 mm). (I anvisningarna för TITAN-pålen anges, med hänvisning till en kommande Eu-

rocode, erforderligt täcksikt vid tryckt påle till 20 mm.)

Teoretiskt kan på detta sätt i de flesta fall tillräckligt täcksikt påvisas. Det finns dock en risk för lokalt mindre täcksikt, t ex genom bristfällig centrering i hålet eller inblandning av jordpartiklar i injekteringsbruket, och resultatet är praktiskt taget omöjligt att kontrollera. Liksom vid bestämning av lastkapacitet och styvhet hos pålen bör därför försiktighetsprincipen tillämpas vid bedömningen av vilket täcksikt som kan betraktas som säkerställt i det enskilda fallet. Framschaktade injekteringsprovkroppar för det aktuella fallet eller andra fall med snarlika förhållanden kan därvid ge god vägledning.

Vid användning av foderrör, t ex för att möjliggöra injektering i mycket genomsläppliga jordlager eller för att öka pålens styvhet och lastkapacitet i lösa jordlager, ger röret normalt fullgott korrosionsskydd åt pålen såväl vid användning av plaströr som stålrör. För erforderlig tjocklek hos stålrör se avsnittet om rostmån nedan. Röret medför också en tillförlitlig centrering av borrhålet.

4.6.3. Varmförzinkning

Med de avfrättningshastigheter som anges i rapport 98, tabell 7.94, framgår att enbart varmförzinkning av borrhål eller pålrör inte kan ge fullgott korrosionsskydd. Kombinationen med ett något knappt täcksikt av injekteringsbruk kan dock bli tillfredsställande. Vid för kort livslängd hos korrosionsskyddet kan även kombination ske med en reducerad rostmån.

Risken för repsskador vid installation är relativt liten vid injekterade pålar. Varmförzinkningens låga känslighet för sådana skador är därför av mindre betydelse i detta fall.

4.6.4. Organiska beläggningar

En tjock, extruderad plastmantel på pålröret ger tillsammans med täcksikt av injekteringsbruk i de allra flesta fall ett fullgott korrosionsskydd. Tunnare plastbeläggningar eller målningsbehandlingar av olika slag bör bedömas från fall till fall i kombination med täcksikt och ev rostmån med hänsyn till markmiljöns korrosivitet.

Vidare förekommer s k Combi Coat, epoxibeläggning på varmförzinkad yta, där plastskiktet reducerar zinkens avfrättningshastighet och på det sättet förlänger skyddets livslängd avsevärt.

Belägningens reptålighet och förmåga att förhindra underkorrosion vid skada är på grund av det skonsammare installationsförfarandet av mindre betydelse vid injekterade pålar jämfört med vanliga slagna stålpålar.

4.6.5. Rostmån

Dimensionerande rostmån ner till 1 m under grundvattenytan respektive på större djup för s k enkla förhållanden kan hämtas ur Pålkommisionens rapport 98, tabell 7.52, alternativt ur tabell F1 i SS-ENV 1993-5:1998 – Piling. Förfarandet vid komplexa eller korrosiva förhållanden beskrivs i rapport 98, avsnitt 7.6.

Enligt ovan bestämd rostmån reduceras med hänsyn till förekommande täcksikt av injekteringsbruk samt eventuell beläggning.

4.6.6. Korrosionsbeständigt material

För särskilt aggressiva miljöer samt vid krav på avsevärt längre livslängd än normalt eller s k dubbelt korrosionsskydd finns vissa borrhålsstål i rostfritt material, närmare bestämt ferritiskt-austenitiskt stål med 22 % krom.

5. Kontroll vid förberedelser och utförande

I arbetshandling skall anges vilka kontrollåtgärder som skall utföras inför och under pålinstallationen. Dessutom skall framgå vem som skall utföra kontrollen, hur denna skall dokumenteras samt vilka parter som skall ta del av kontrollresultaten. Exempelvis kan avvikelser mellan förväntade och verkliga förhållanden göra kompletterande pålning nödvändig. Vid installation av pålarna kan nedanstående kontrollpunkter tjäna som checklista:

5.1 MATERIALHANTERING OCH LAGRING

- Kontrollera att rätt kvalitet/sort på stål, cement och tillsatsmedel används.
- Kontrollera att det är rätt dimensioner på borrstål och borrkronor.
- Kontrollera att det är rätt rostskydd på stålet.
- Kontrollera att det inte finns defekter, skador eller tecken på djupt inträngande korrosion på stålet.
- Kontrollera att materialet hanteras och förvaras på rätt sätt (exempelvis inte för kallt och inte för fuktigt).

5.2 UTSÄTTNING

- Kontrollera att pålen är rätt utsatt.
- Kontrollera att pålens beteckning stämmer med ritningen.
- Kontrollera att utsättningen inte har rubbats.
- Kontrollera att pålarna installeras i föreskriven ordningsföljd.

5.3 INSTALLATION OCH INJEKTERING

- Kontrollera att installationsförfarandet för respektive påle dokumenteras.
- Kontrollera att borrstål och borrkrona är rätt monterad.
- Kontrollera borrhjullens ansättningsriktning med hänsyn till givna toleranser.

- Kontrollera att skarvhylsor och -gångor är rengjorda och oskadade och att det finns verktyg för kontroll av att tillräckligt åtdragningsmoment påförts vid skarvningen.
- Kontrollera att snedställighet i skarvarna dokumenteras.
- Kontrollera att injekteringsbruket har rätt vct och att rätt tillsatsmedel används.
- Kontrollera att pump- och blandningsutrustning har tillräcklig kapacitet.
- Kontrollera att risk inte föreligger för att luft kan sugas in i injekterings slangarna.
- Kontrollera att borrhastigheten och injekteringsflödet anpassas så att injekteringsbrukets överyta ligger i markytan.
- Kontrollera att kontinuerlig registrering av injekteringsmängd och borrhast sker.
- Kontrollera att provtagning av injekteringsbruket sker för kontroll av t ex hållfasthet och vct.
- Kontrollera att urspolning av för stor mängd jordmaterial inte sker.
- Kontrollera att borrhjullspersonalen känner till förväntade jordförhållanden och att denna dokumenterar verkliga jordförhållanden utgående från de observationer som sker vid borrhjull- och injekteringsarbetet.
- Kontrollera hur förväntat och verkligt djup till berg stämmer överens.
- Kontrollera att eventuell glidning på lutande berg dokumenteras.
- Kontrollera att korrosionsskyddet stannar kvar när pålen går in i jorden.
- Kontrollera att anordningar finns för omhändertagande av cementspill vid miljö-känslig omgivning.

6. Referenser

- Bruce, D. A. & Juran, I. (1997a).** Drilled and grouted micropiles: state-of-practice review, volume II – Design. FHWA-RD-96-017, US Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Bruce, D. A. & Juran, I. (1997b).** Drilled and grouted micropiles: state-of-practice review, volume IV – Case Histories. FHWA-RD-96-019. US Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- BS 8081 (1989).** British Standard Code of practice for Ground anchorages. British Standards Institution.
- CCTG (1993).** Règles Techniques de Conception et de Calcul des Fondations des Ouvrages de Génie Civil, Fascicule 62, Titre V. Cahier des Clauses Techniques Générales.
- Dimensioneringsguide/2 för Ischebeck TITAN stag och påle (2000).** de neef Scandinavia AB (www.deneef.se).
- DIN 4128 (1983).** Verpresspfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser – Herstellung, Bernessung und zulässige Belastung. Deutsches Institut für Normung.
- FHWA (2000).** Micropile Design and Construction Guidelines Implementation Manual. FHWA-SA-97-070. US Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Juran, I., Bruce, D. A., DiMillio, A. & Benslimane, A. (1999).** Micropiles: the state of practice. Part II: design of micropiles and groups and networks of micropiles. Ground Improvement, Vol 3.
- Ostermayer, H (1975).** Construction, carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors. Proc. Conf. on Diaphragm walls and anchorages. Institution of Civil Engineers, London.
- Ostermayer, H & Scheele, F. (1977).** Research on ground anchors in non-cohesive soils. Proc. 9th Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo.
- Pålkommisionen (1980).** Provbekastning av friktionspålar – En studie av olika provningsmetoder.
- Pålkommisionen (1994).** Korrosion och korrosionsskydd för stålpålar och stålsfont i vatten och jord, rapport 93.
- Pålkommisionen (1995).** Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord, rapport 84a.
- Pålkommisionen (1998).** Dimensioneringsprinciper för pålar – Lastkapacitet, rapport 96:1, med supplement nr 1.
- Pålkommisionen (2000a).** Stålkärnepålar. Anvisningar för projektering, dimensionering, utförande och kontroll, rapport 97.
- Pålkommisionen (2000b).** Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar, rapport 98.
- Pålgrundläggningshandboken (1993).** Svensk Byggtjänst och SGI. ISBN 91-7332-663-1
- Lehtonen, J (2001).** Design and Execution of CSG piles. (www.rautaruukki.com).
- CONRAD** – ett program för redovisning och utvärdering av CPT-undersökningar. Kan rekvireras från SGI (www.swedgeo.se).
- Dessutom refereras i texten till svenska normer och handböcker samt Eurocodes som inte listats här.

Ischebeck TITAN

Stag/påtyp	30/16	30/14	30/11	40/20	40/16	52/26	73/56	73/53	73/45	103/78	103/51	130/60
Ytterdiam. (mm)	30	30	30	40	40	52	73	73	73	103	103	130
Innerdiam. (mm)	16	14	11	20	16	26	56	53	45	78	51	60
Tvsnarea (mm ²)	382	395	446	726	879	1337	1414	1631	2260	3146	5501	9540
Brottlast (kN)	220	260	320	539	660	929	1194	1160	1630	2282	3460	7940
Sträckgräns (MPa)	470	556	580	590	590	550	560	590	510	570	500	500
Sträcklast (kN)	180	220	260	430	525	730	785	970	1180	1800	2750	5250
Vikt (kg/m)	2,7	2,9	3,3	5,6	7,0	10,0	11,1	12,3	17,8	24,9	43,4	75,0
TITAN-gänga	vå	vå	vå	vå	vå	vå/hö	hö	hö	hö	hö	hö	hö
Stålkvalitet*	S460 NH			S460 NH			S460 NH			S460 NH		

Skarvhylsa												
Ytterdiam. (mm)	38		54		70		89		123		178	
Längd (mm)	105		140		160		225		255		350	
Vikt (kg)	0,42		1,12		2,42		3,72		7,47		30	

Mutter												
Nyckelvidd (mm)	46		65		80		95		125		155	
Längd (mm)	35		50		70		70		80		165	
Vikt (kg)	0,34		0,87		2,20		2,22		3,42		6,5	

Borrkrona												
Jord (Ø mm)	46 - 75		70 - 150		115-175		130 - 250		175 - 280		**	
Berg (Ø mm)	42 - 51		70-90		115		110 - 130		145		220	

Förankringsplatta												
Dimension (mm)	200x200, 200x300		200x200 & 300x200		220x220 300x200		250x250		330x330		**	
Godstj. (mm)	8 - 35		12 - 35		30 - 35		40		60		**	

- * S460 NH (Enligt DIN EN 10210-1) är utgångsmaterialet.
Sträckgränsen höjs genom kalldragning vid tillverkningen.
** Kontakta leverantören för detaljer.

de neef SCANDINAVIA AB

Långavallsgatan 15
424 57 GUNNILSE

Tel: 031-330 05 90
Fax: 031-330 80 41

www.deneef.se

G-Pålar / TRM piles

Stag/påltyp	118/7,5	118/9,0	170/9,0	170/10,6
Ytterdiam. (mm)	118	118	170	170
Innerdiam. (mm)	103	100	152	148,8
Tvsnarea (mm ²)	2304	3082	4552	5308
Brottlast drag (kN)	968	1294	1912	2229
Brottlast tryck (kN)	2074	2774	4097	4777
Sträckgräns (kN) 0,2% fyk	691	925	1366	1592
Vikt (kg/m)	21,6	24,6	37,2	42,6
Stålkvalitet	GGG 40		GGG 40	

Pålskor		
Injekterad (Ø mm)	200	250
Ej injekterad (Ø mm)	120	175
Ej injekterad med påltopp (Ø mm)	120	175

Skarvhylsa		
Ytterdiam. (mm)	160	220
Längd (mm)	320	380
Vikt (kg)	20,5	38

Topplatta		
Dimensioner (mm)	155x155 225x225	240x260
Godstj. (mm)	20 resp. 25	30

Comp.strength	900 MPa
Tensile strength	420 MPa
Prop.limit (0,2%), f_{yk}	300 MPa

de neef SCANDINAVIA AB

Långavallsgatan 15
424 57 GUNNILSE

031-330 05 90
031-330 80 41

RR- och RD-CSG-pålar

Pålelement	RR60/6.3	RR75/6.3	RR90/6.3	RR115/6.3	RR115/8	RR140/8	RR140/10	RR170/10	RR170/12.5
Ytterdiam. (mm)	60,3	76,1	88,9	114,3	114,3	139,7	139,7	168,3	168,3
Innerdiam. (mm)	47,7	63,5	76,3	101,7	98,3	123,7	119,7	148,3	143,3
Tvsnarea (mm ²)	1069	1381	1635	2137	2672	3310	4075	4973	6118
Vikt (kg/m)	8,4	10,8	12,8	16,8	21,0	26,0	32,0	39,0	48,0
Stålkvalitet	S440J2H								
Brottlast (kN)	>520	>680	>800	>1050	>1310	>1620	>2000	>2440	>3000
Sträckgräns (kN)	470	610	720	940	1180	1460	1790	2190	2690
Stålkvalitet	S550J2H								
Brottlast (kN)	>640	>830	>980	>1280	>1600	>1990	>2450	>2980	>3670
Sträckgräns (kN)	590	760	820	1180	1470	1820	2240	2740	3360
Tryckplatta									
Dimension (mm)	120x120	150x150	150x150	200x200	200x200	250x250	250x250	300x300	300x300
Godstj. (mm)	15	15	15	20	20	25	25	30	30

Skarvhylsa	RR-CSG-påle								
Ytterdiam. (mm)	72,9	88,7	101,5	126,9	130,3	155,7	159,7	188,3	193,3
Längd (mm)	200	200	240	270	270	300	300	400	400

Skarvhylsa	RD-CSG-påle								
Ytterdiam. (mm)	70	88,9	101,6	127	127	152,4	152,4	180	180
Längd (mm)	80	100	110	120	120	140	140	180	180

Krage	RR-CSG-påle								
Ø (mm), min.	101,6	127	139,7	159	159	193,7	193,7	219,1	219,1

Borrkrona	RR-CSG-påle								
Ø (mm), min.	100	116	129	154	154	180	180	208	208



Box 127
781 22 BORLÄNGE

Tel: 0243-887 44
Fax: 0243-842 10

www.rautaruukki.com

Atlas Copco MAI - pålar/stag



Stag/påltyp	R25N	R32N	R32S	R38N	R51L	R51N	T76N	T76S
Ytterdiameter	25	32	32	38	51	51	76	76
Effektiv. Diam (mm)	22,5	29,1	29,1	35,7	47,8	47,8	76	76
Innerdiam. (mm)	14,0	18,5	15,0	19,0	36,0	33,0	51,0	45,0
Tvårsnittsarea (mm ²)	244	396	488	717	776	939	1835	2400
Brottlast (kN)	200	280	360	500	550	800	1600	1900
Sträckgräns (kN)	150	230	280	400	450	630	1200	1500
Vikt (kg/m)	2,3	3,4	4,1	6,0	7,0	8,4	15,0	19,7
Gängtyp	R-gänga, ISO 10208				R, ISO 1720		MAI T76	
Stålkvalitet	EN 10083-1							

Skarvhylsa								
Ytterdiameter (mm)	36	42	42	51	63	63	95	95
Längd (mm)	150	160	160	220	140	200	200	200
Vikt (kg)	0,60	0,85	0,85	1,70	1,15	1,90	6,40	6,40

Mutter								
Nyckelvidd (mm)	41	46	46	50	75	75	100	100
Längd (mm)	35	45	45	50	70	70	80	80
Vikt (kg)	0,25	0,35	0,35	0,40	1,55	1,55	3,60	3,60

Borrkrona					
Jord (Ø mm)	42-51	51-76	76-110	100-115	130
Berg (Ø mm)	42	51	76	89	120

Förankringsplatta								
Dimension (mm)	150x150	150x150	200x200	200x200	200x200	250x250	250x250	250x250
Godstjocklek (mm)	8	8	12	12	30	40	60	60

Distributör



Stockholms Geomekaniska AB

Uplagsvägen 17
117 43 STOCKHOLM

Tel: 08-744 05 00 www.geomek.com
Fax: 08-744 22 10



PÅLKOMMISSIONEN

Meddelanden

- 1 Slagningsprov av pålskor med bergdubbar.
Bror Fellenius
1963
- 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
lösa lera till släntberg vid Tingstadsdelen,
Göteborg.
Bror Fellenius
1964
- 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
- 7 Beräkning av vertikala pålars bärförmåga.
Bengt Broms
1965
- 8 Provpålning mot släntberg vid Skansen
Lejonet, Göteborg.
Waldemar Pejrud
1965
- 9 Inverkan av armeringsmängd, förspänning
och fallhöjd på sprickrisken hos betongpålar
vid slagning.
Sven Sahlén
1965
- 10 Bärförmågan hos armerade betongpålar
slagna till fast bergbotten.
Hjalmar Granholm
1967
- 11 Bärförmågan hos pålar slagna till släntberg.
Bengt Broms
1965
- 12 Dynamisk draghållfasthet hos modellpålar av
oarmerad betong. Resultat av orienterade
försök.
Sven Sahlén – Lars Hellman
1966

- 13 Pålgruppers bärförmåga.
Bengt Broms
1967
- 14 Påkänningar, sprickbildning och utmattning
vid slagning av armerade modellpålar av
betong.
Bo Göran Heders – Sven Sahlén
1971
- 15 Bärförmåga hos släntberg vid statisk
belastning av bergspets. Resultat av
modellförsök.
Sven-Erik Rehnman
1968
- 16 Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök
med lätta slagdon.
Gunnar Fjellkner
1970
- 17 Bergdubbens hållfasthet. Resultat från
statiska belastningsförsök.
Sven-Erik Rehnman
1970
- 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
- 19 Damping of stress waves in piles during
driving. Results from field tests.
Gunnar W Fjellkner - Bengt B Broms
1972

Särtryck och preliminära rapporter

- 1 Allowable bearing capacity of initially bent
piles.
Bengt Broms
Referat från pålkommitténs informationsdag
25 okt 1965
- Provbelastning av påle slagen i lera och
friktionsmaterial.
Gunnar Hellström
- Knäcklasten för momentstyvt skarvade pålar
i lera.
Krister Cederwall
1965
- 2 Provbelastning av stödpålar av betong inom
östra Nordstaden, Göteborg. Delrapport.
Gunnar Hellström
1965

3	Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök. Sven-Erik Rehnman 1966	18	Pålkraftmätare. Bengt H Fellenius – Thomas Haagen Negative skin friction for long piles driven in clay.
4	Om påslagning och pålbärighet. (Informationsdagen 14/11 1966) 1967 Slut		Bengt H Fellenius – Bengt Broms 1969
5	Resultat av pålprovning vid Göteborg C. Bror Fellenius 1955 (omtryckt 1967)	19	Datorberäkning av stötvägsförlopp i pålar medelst variation av modellparametrar. Delrapport III Lennart Vilander 1969
6	Om stoppslagning av stödpålar. Lars Hellman 1967	20	Nya pålnormer. Föredrag vid informationsmöte 25/4 1969. Göte Åström – Per Sahlström – Erik Sandegren 1969 Slut
7	Undersökning med syfte att uppställa stoppslagningsregler för stålålar slagna med tryckluftshammare. Delrapport 1. Gunnar Fjellkner 1967 Ersatt av Medd 16	21	Negative skin friction on piles in clay. A literature survey. Bengt H Fellenius 1969
8	Industriell tillverkning av betongpålar. Kajsa Sundberg – Arne Forsell 1968	22	Deformationsegenskaper hos slagna betongpålar. Bengt H Fellenius - Torsten Eriksson Friktionspålar bärformåga. Resultat från fältförsök i Kanada. Bengt H Fellenius 1969
9	Digitalisering av stötvägs mätningar. Delrapport I Lennart Vilander 1968		
10	Stoppslagning av stålålar med lätta slagdon (tryckluftshammare). Delrapport II Gunnar Fjellkner 1968 Ersatt av Medd 16	23	Pålar bärformåga i elastiskt medium under hänsynstagandé till egenspanningar i pålmaterialet. Stig Bernander 1969
11	Förslag till anvisningar för pålprovning och enkel provbelastning. (Andra omarbetade upplagan) 1970	24	IVA Pålkommision 1959-1969. Uppsatser utgivna i samband med Pålkommisionens tioårsjubileum 1969
12	Tillåtna laster på långa stödpålar av betong i östra Nordstaden, Göteborg. Slutrapport. Gunnar Hellström 1969	25	Statistik över antal slagna pål meter år 1962, 1966 och 1968 1969 Ersatt av SPR 30
13	Kvarstående förspänningskraft i slagna betongpålar. Undersökning av pålar från grunden till Silo 68, Köping. Bo-Göran Hellers 1968	26	Föredrag vid Pålkommisionens jubileumsmöte den 20 november 1969 Den norske pelekomités arbeide. Klaare Flaate
14	Föredrag vid Halmstad Järnverks armeringsdag 17/11 1967. Bengt Broms – Gunnar Sundberg – Per Möller – Thorild Blomdahl 1968		Aktuella forskningsbehov inom pålningsområdet. Bengt Broms 1970
15	Statistik över antal slagna pål meter 1962 och 1966. 1968 Ersatt av SPR 30	27	Rapport från en resa till Mexiko, USA, Kanada och England 23.8–13.9 1969. Bengt H Fellenius 1970
16	Friktionspålar bärformåga. En studie av utförda provbelastningar. Sven Hultsjö – Jan Svensson 1969	28	Mätning av fallhejarens anslagshastighet vid påslagning. Karl-Erik Sundström 1970
17	Ett program för beräkning av stötvägsförloppet vid friktionspålning. Delrapport II Lennart Vålender 1969	29	Studier av en friktionspåles verkningssätt Åke Nilsson – Torbjörn Winqvist 1971

- 30 Statistik över antal slagna pålmetrar 1962, 1966, 1968 och 1970.
1971 Ersatt av SPR 38
- 31 Friktionspålning för brostöd nr 2 vid Albysjön, tunnelbana 2 SV, Botkyrkabanan.
Sven-Erik Rehnman
1971
- 32 Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige i juni 1971.
Ulf Bergdahl
1971
- 33 Sättningar vid pålning olika djupgrundläggningsmetoder.
Intryck från pålkonferens
1972
- 34 On the bearing capacity of driven piles.
1972
- 35 Load testing of piles according to the Polish regulations.
B K Mazurkiewicz
1972
- 36 Undersökning av konventionell slagdyna. Beräkningsanalyser och beräkningsresultat för olika fall.
Martti Laine
1972
- 37 Approximativ bestämning av böjstyvheten i ett förspänt, delvis uppsprucket betongtvärsnitt.
Bo-Göran Hellers
1973
- 38 Statistik över antal slagna pålmetrar år 1962, 1966, 1968, 1970 och 1972.
1973
- 39 Inventering och sammanställning av utförda böjprovningar med oskarvade och skarvade betongpålar.
Björn Kvist - Pär Sandin
1973
- 40 Undersökning av avklingande stötvågs utseende efter pasage genom dyna med tallriksfjädrar.
Bo Larsson
1973
- 41 Om korrosion på stål, speciellt i betongpålar.
Bengt H Fellenius
1974
- 42 Pålar i lera. En geoteknisk återblick med speciell anknytning till Göteborgs-förhållandena.
Bror Fellenius
1974
- 43 Jordundantvängning vid pålslagning – resultat av modellförsök.
Rainer Massarsch
1974
- 44 Pålning för Silo 68 i Köping. En redovisning av mätresultat.
Ulf Bergdahl – Åke Nilsson
1974

Rapporter

- 45 Aktuellt forskningsbehov för pålområdet i Sverige 1974.
Ulf Bergdahl
1974
- 46 "Root-piles" Small-diameter injected borepiles.
Anton Frank
1975
- 47 Jordgjutna pålar – en redovisning av vanliga metoder.
K Rainer Massarsch
1975
- 48 Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962–1974.
1975
- 49 Deformationsmätningar vid slagning av pålar nära en stenmur – resultat av stereofotogrammetriska mätningar.
K Rainer Massarsch – Gunnar Ivmark
1975
- 50 Pålgrundläggning i Sovjetunionen 1976. Soil movements caused by pile driving in clay.
K Rainer Massarsch
1976
- 52 Angelägenheten hos forskningsprojekt inom pålområdet i Sverige 1975 – enkätresultat.
Ulf Bergdahl – Gunnar Ivmark
1977
- 53 Svensk statistik över antal tillverkade och slagna pålmetrar åren 1962–1976.
1978
- 54 Pålgrupper med sidomotstånd och inspänning.
Håkan Bredenberg – Bengt Broms
1978
- 55 Rälspålars böjstyvhet – resultat av böjprovningar.
Elvin Ottosson
1979
- 56 Provbekastning av friktionspålar – En studie av olika provningsmetoder.
U Bergdahl – G Hult
1979

Övrigt

Slagning och provbelastning av långa pålar. Försök i Gubbero, Göteborg. (Statens Råd för Byggnadsforskning, rapport 99).

Pålningensprotokoll. Blanketter upprättade enligt Särtryck och preliminära rapporter nr 11. Block om 50 blad Pris per block

- 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
- 58 Grävpålanvisningar.
Dimensionering, utförande och kontroll av
grävda, i jorden gjutna pålar.
1979
- 59 Anvisningar för provpålning med
efterföljande provbelastning.
1980
- 60 Negativ mantelfriktion längs pålar.
Bengt Broms
1979
1980
- 61 Recent pile research.
Activitis of The Swedish Commission
on Pile Research.
Bengt Broms
1980
- 62 Svensk statistik över antal tillverkade och
slagna pålmetrar åren 1962–1978.
1980
- 63 Slagning av betongpålar med tryckluftshejare.
Resultat av fältförsök i Västerås 1973.
Gunnar Fjelkner – Åke Eriksson
– Håkan Bredenberg
1981
- 64 Kohesionspålars bärförmåga.
En studie av utförda provbelastningar på
kohesionspålar av betong.
Ulf Bergdahl – Åke Eriksson – Ture Nilsson
1981
- 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)
- 66 Svensk statistik över antal tillverkade och
slagna pålmetrar åren 1962-1980.
1982
- 67 Negativ mantelfriktion längs pålar.
Resultat av enkät år 1979.
Lars Bjerin – Jan Fallsvik
1982
- 68 Parameterstudie av olika faktorer
inverkan på pålars bärförmåga som funktion av
sjunkningen
Carl-John Grävare – Ingemar Hermansson
1982
- 69 Stålpålar - Användningsområden och praxis
för utförande.
Håkan Bredenberg – Ulf Eriksson
– Anders Eriksson – Göran Camitz
1983
- 70 Buller vid pål- och spontslagning.
En studie av mätmetoder, buflernivåer och
bekämpningsåtgärder.
Ove Bennerhult – Ulf Bergdahl
1983
- 71 Svensk statistik över antal tillverkade och
slagna pålmetrar åren 1962–1982.
1983
- 72 Förspänd tallriksfjäderdyna.
Resultat av stötvågsteoretiska studier,
datorsimulering, modell- och
fullskaleprovning.
Bo BergLars
1983
- 73 Svensk pålningsteknik under 1980-talet.
Håkan Bredenberg – Crister Bådholm
– Lars Hellman – Göran Holm
1984
- 74 Skarv för kombinationspålar träbetong.
Resultat av drag- och böjprovningar.
Elvin Ottosson
1984
- 75 Förtillverkade betongpålar.
Förslag till standard med
dimensioneringsunderlag.
1984
- 76 Initialspänningens variation vid pålslagning.
Elisabeth Stensgård – Elisabet Olsson
1984
- 77 Grävpålar i friktionsjord
Anvisningar för dynamisk förbelastning
Bo Berggren - Per-Evert Bengtsson
1985
- 78 Statistik över antal tillverkade och slagna
pålmetrar i Sverige åren 1962-1984
1985
- 79 Expanderkroppar
Anvisningar för dimensionering, utförande
och kontroll
1988
- 80 Statistik över antal tillverkade och slagna
pålmetrar i Sverige åren 1962–1986
1988
- 81 Systempålar
Stödpålar av höghållfasta, korrosions-
skyddade stålrör, slagna med lätta
höghastighetshejare.
Anvisningar för beräkning av
dimensionerande bärförmåga.
Anders Fredriksson – Sven Hultsjö
– Håkan Stille
1989
- 82 β -metoden vid pålberäkning, en förstudie.
Claes Alén – Mats Jansson – Hans Lindgren
– Lars Olsson – Jan Romell
1990
- 83 Beräkning av pålars last-rörelsesamband
med utgångspunkt från sonderingsdata.
Håkan Bredenberg – Staffan Hintze
1990

- 84 Beräkning av dimensionerande bärförmåga för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord.
Per-Evert Bengtsson – Åke Bengtsson
– Anders Fredriksson
1991
- 85 Statistik över antal tillverkade och slagna pålmeter i Sverige åren 1962 – 1989.
1991
- 86 Friktionspålar bärförmåga och last/förskjutningssamband.
Karin Rankka
1991
- 87 Bro C339 över Ekolsundsviken.
Grundläggning på stålörspålar -
konstruktion och arbetsutförande.
Håkan Bredenberg
1991
- 88 Sprickbildning i betongpålar slagna i vatten eller i jordarter med hög permeabilitet.
Stig Bernander
1992
- 89 Integritetskontroll av pålar med stötvågsmätning.
Inemar Hermansson – Jan Romell
– Carl-John Grävare
1992
- 90 Grova stålörspålar – anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll.
1993
- 91 Friktionspålar – bärförmågans tillväxt med tiden.
Björn Åstedt – Lars Weiner – Göran Holm
1994
- 92 Datorsimulering av påslagning.
Bo Berglars – Carl-John Grävare
– Per Löfling – Lars Weiner
1993
- 93 Korrosion och korrosionsskydd av stålpålar och stålspont i jord och vatten.
Göran Camitz
1994
- 84a Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord.
1995
- 94 Standardpålar av betong – lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga.
1996
- 95 Omgivningspåverkan vid pål- och spontslagning
Staffan Hintze – Sven Liedberg
– Rainer Massarsch
– Magnus Hanson / Hans Elvhammar
– Björn Lundahl – Sven-Erik Rehnman
1997
- 96:1 Dimensioneringsprinciper för pålar – Lastkapacitet.
1998
- 97 Stålkärnepålar – anvisningar för projektering, dimensionering, utförande och kontroll.
Håkan Bredenberg
2000
- 98 Dimensioneringsanvisningar för slagna, slanka stålpålar.
Åke Bengtsson – Bo Berglars
– Sven Hultsjö – Jan Romell
2000
- 99 Vibratorers användningsmöjligheter vid drivning av pålar och spont.
K. Rainer Massarsch
2000
- 100 Kohesionspålar.
Per Eriksson – Leif Jendeby – Tord Olsson
– Tomas Svensson
2004
- 101 Höghus Lilla Bommen, Göteborg.
Uppföljning av kohesionspållning i mäktiga lerlager.

I september 1959 bildades Pålkommittén för påslagning och påbärighet.

Till grund för kommissionens verksamhet ligger samhällets och branschens behov av forskning och information inom pålningsområdet. Medlemmar är entreprenörer, tillverkare, konsulter, forskare, kommuner samt representanter från olika myndigheter. Organisationen Pålkommisionen, som sammanfogar dessa grupper, är unik i Europa.

Ytterligare upplysningar om Pålkommisionens verksamhet och medlemskap lämnas av kommissionens sekreterare Wilhelm Rankka.

Pålkommisionen

c/o Statens geotekniska institut

581 93 Linköping, Tel: 013-20 18 00, Fax: 013-20 19 14

E-post: wilhelm.rankka@swedgeo.se Internet: www.palkommisionen.org