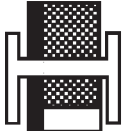




PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research



Borrade stålrörspålar

Anvisningar för projektering,
dimensionering, utförande och kontroll

HÅKAN BREDEBERG

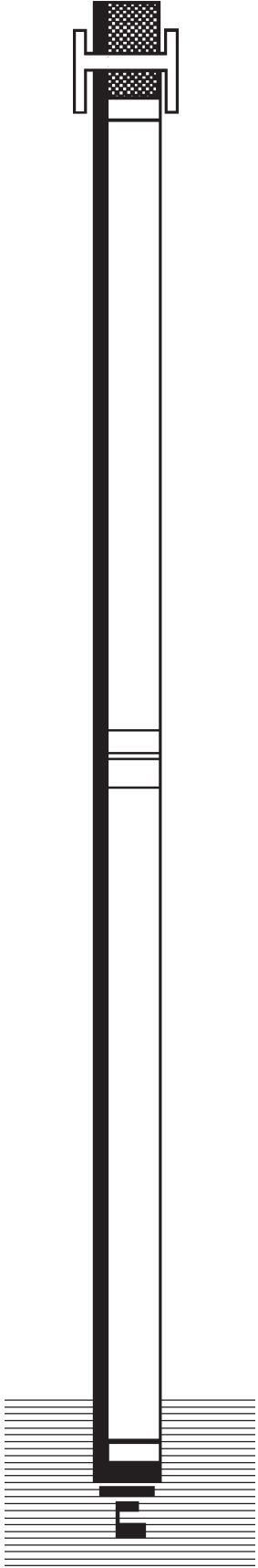
BO BERGLARS

WILHELM RANKKA

GUNNAR HOLMBERG

SAMI ERONEN

HANNU JOKINIEMI



Linköping 2010

rapport 104

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

rapport 104

Borrade stålrörspålar
**Anvisningar för projektering,
dimensionering, utförande och kontroll**

HÅKAN BREDENBERG

BO BERGLARS

WILHELM RANKKA

GUNNAR HOLMBERG

SAMI ERONEN

HANNU JOKINIEMI

| | |
|----------------|---|
| 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.palkommissionen.org |
| ISSN | 0347-1047 |
| ISRN | IVA/PAL/R--10/104--SE |
| Upplaga | 400 |
| Tryck | LTAB 10-1380 |

Förord

Vid början av 1960-talet började borrade stål kärnepålar användas i de nordiska länderna. Under mitten av 1970-talet introducerades slagna, slanka stål rörspålar. Dessa användes till en början mest för grundförstärkningar. Successivt utvecklades denna påltyp mot större dimensioner och högre lastkapacitet. Utvecklingsarbetet utfördes till betydande del i Finland. Idag utgör stål rörspålar mer än 30 % av den årligen installerade längden pålar i Sverige.

Den senaste påltypen i familjen stål rörspålar utgörs av den borrade stål rörspålen. I denna rapport används dock beteckningen ”borrade stål rörspålar”. Pålen har drag gemensamma med både stål kärnepålen och den slagna stål rörspålen, men samtidigt finns vissa signifikanta skillnader.

Exempelvis utgör kontaktytan mot omgivande jord för en borrad stål rörspåle, i likhet med en stål kärnepåle, av ett till berg nedfört stål rör. Den borrade stål rörspålen har dock ingen kärna av stål. Istället är röret det primärt bärande konstruktionselementet, normalt tillsammans med betongfyllning i röret.

Till skillnad från slagna stål rörspålar installeras borrade stål rörspålar, som namnet anger, genom borming istället för slagning. Borming är i allmänhet en säkrare och mer skonsam metod.

Borrade stål rörspålar utförs med dimensioner inom intervallet 100 till 800 mm (ytterdiameter). Godstjockleken är ca 5 a 6 mm för de mindre och upp till ca 16 mm för de största dimensionerna. Rören ska borraras ned till bärcraftigt berg. Armeringsstål, eller annan förstärkning, kan gjutas in inom stål röret. Pålen är i sitt grundutförande spetsburen. Lasten förs ned till spetsen dels genom röret, dels genom betong och eventuell förstärkning. Bärförmågan för berget under varje påle verifieras.

Man kan konstatera att borrade stål rörspålar i ökande utsträckning används, men att särskilda regler för dimensionering, utförande och kontroll för denna påle saknats i Sverige, till skillnad från Finland där normer för borrade rörspålar av stål funnits sedan flera år tillbaka. Pålkommisionen beslöt därför 2005 att skapa en arbetsgrupp vars uppgift var att ta fram anvisningar för borrade stål rörspålar.

Syftet med rapporten är att vara till nytta för inom grundläggningsområdet verksamma konsulter, beställare, byggherrar och entreprenörer. Arbetet med att ta fram materialet till rapporten har gjorts av en grupp bestående av följande författare:

| | |
|------------------|---------------------------------|
| Håkan Bredenberg | Bredenberg Teknik, ordförande |
| Bo Berglars | Piling Development, sekreterare |
| Gunnar Holmberg | Skanska Teknik |
| Wilhelm Rankka | WSP |
| Sami Eronen | Ruukki |
| Hannu Jokiniemi | Ruukki |

Till projektet utsåg Pålkommisionen en referensgrupp med Peter Nilsson, PEAB Grundläggning, som sammankallande. Medlemmarna har varierat under projektets gång.

Därtill har synpunkter och förslag till ändringar och kompletteringar erhållits från myndigheter, högskolor och Pålentreprenörföreningen i samband med att rapporten sänds på remiss. Värdefulla förslag till ändringar och kompletteringar har erhållits från

| | |
|-----------------|-----------------------------------|
| Kurt Palmqvist | Trafikverket |
| Håkan Jacobsson | PEAB Grundläggning AB |
| Johan Lindgren | Nilsson & Lindgren Markkonsult AB |
| Ivar Nöre | Geometrik i Stockholm AB |
| Mats Larsson | Ruukki Sverige AB |
| Gunnar Westberg | Statens geotekniska institut |

Erhållna synpunkter har inarbetats i rapporten.

Det är en förhoppning att de metoder och förfaranden som redovisas får en bred acceptans. Ett varmt tack riktas till alla som på olika sätt bidragit till arbetet. Ett särskilt tack framförs till Jan Lindgren, SGI, som svarat för layout och typografisk utformning.

2010-05-14 / Arbetsgruppen

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| Förord | 3 |
| Summary | 7 |
| Sammanfattning | 8 |
| 1. Inledning | 10 |
| 1.1 Allmänt om borrade stålörspålar | 10 |
| 1.2 Teknikutveckling | 11 |
| 2. Projektering | 13 |
| 2.1 Allmänna förutsättningar | 13 |
| 2.2 Användningsområden | 14 |
| 2.3 Förundersökningar | 14 |
| 2.4 Planering av borrhingsarbetet | 16 |
| Borrutrustning | 16 |
| Pålmaterial | 16 |
| Skarvning | 17 |
| Borrkronor | 17 |
| Utformning av borrkrona | 18 |
| 2.5 Betong | 19 |
| 2.6 Kontrollinsatser | 19 |
| 3. Dimensionering | 21 |
| 3.1 Allmänt | 21 |
| 3.2 Regler och anvisningar | 21 |
| Laster | 21 |
| Lastkapacitet | 21 |
| Borrade stålörspålar, normer och föreskrifter för broar och liknande konstruktioner | 22 |
| 3.3 Lastkapacitet | 22 |
| Samverkan mellan stål/betong/berg – allmänt | 22 |
| Samverkan stålör – betongfyllning | 23 |
| Samverkan vid enbart normalkraft | 23 |
| Samverkan i bruksgränstillstånd | 23 |
| Lokal buckling av ör | 23 |
| Platta vid påltopp | 23 |
| Kraftöverföring vid pålspetsen | 23 |
| Dimensionering med hänsyn till sidoutböjning och knäckning | 25 |
| Inverkan av pålens inspänningsförhållanden vid ändarna | 27 |
| 3.4 Beständighet | 28 |
| Regler | 28 |
| Rostmån | 28 |
| Betongfyllning | 28 |
| Korrosionsskyddande beläggningar | 28 |
| Katodiskt skydd | 29 |
| Marin miljö, isskydd | 29 |
| 3.5 Stålmateriäl i ör | 29 |
| Stålmateriäl och infästning av borrkronor | 29 |
| Dragförankrade pålar | 31 |
| Borrdjup i berg | 31 |

| | | |
|---------------|--|----|
| 4. | Utförande | 32 |
| 4.1 | Borrmeter | 32 |
| | Excentrisk borrar | 32 |
| | Centrisk borrar | 32 |
| | Sänkborrhämmare | 32 |
| | Toppämmare | 32 |
| 4.2 | Rörskarvning | 33 |
| 4.3 | Betong | 33 |
| 4.4 | Pålkapning | 33 |
| 4.5 | Topp-platta | 33 |
| 5. | Kontroll | 34 |
| 5.1 | Grundkontroll | 34 |
| 5.2 | Tilläggskontroll | 34 |
| 5.3 | Arbetsplan (Arbetsberedning) | 34 |
| 5.4 | Kvalitetsplan | 34 |
| 5.5 | Personal | 34 |
| 5.6 | Dokumentation av arbetsförloppet | 34 |
| 5.7 | Verifiering av bärförmåga | 34 |
| | Geoteknisk bärförmåga | 34 |
| | Lastkapacitet | 35 |
| | Stötvågmätning av borrade stålrörspålar | 35 |
| | Statisk provbelastning av borrade stålrörspålar | 37 |
| 6. | Omgivningspåverkan | 38 |
| 6.1 | Allmänt | 38 |
| 6.2 | Markvibrationer | 38 |
| 6.3 | Buller | 38 |
| 6.4 | Utsläpp | 38 |
| 6.5 | Sättningar orsakade av uppspolning | 38 |
| | Referenser | 39 |
| Bilaga | Exempel på utförd borrade stålrörspåle (RD-påle) | 41 |

Summary

The topic for this report is drilled steel tube piles with an outer diameter in the interval 100 to 800 mm and a tube wall thickness from 5 to 16 mm. The tubes are drilled down to contact with competent bedrock. When the drilling is completed the tube is driven by means of a hammer to full contact with rock.

This type of pile is similar to the Scandinavian Steel Core pile. The difference is that the tube itself is carrying the load together with concrete filling and reinforcement.

The bearing capacity is checked with stress wave measurement or, more seldom, with static load tests. All piles are checked with respect to straightness assumed for design. In this way, high utilisation of steel and concrete can be obtained.

The way external loads are transferred from the superstructure into the pile is as important as the way the load is leaving the pile at its lower part. These topics are treated in detail in the report and suggestions how to design are given.

The use of drilled steel tube piles has in Sweden to some extent been hampered by the lack of rules and information material. It is expected that this report will provide designers for pile foundations with a tool to facilitate the employment of this type of pile.

Sammanfattning

Rapporten avser borrade stålrörspålar i dimensionsintervallet 100 till 800 mm ytterdiameter. Godstjockleken för rören varierar mellan 5 till 16 mm. Rören borrar ned till kontakt med bärkraftigt berg. Efter nedborrningen fylls röret i allmänhet med betong. Ytterligare förstärkning i form av armering, balk, eller liknande används också.

Lasten påförs i de flesta fall påltoppen via en stålplatta, som ska ligga an mot både rör och betong för att pålens maximala kapacitet ska kunna mobiliseras. Lasten förs ned till berget genom rör, betong och eventuell förstärkning. Pålarna är då helt spetsburna. I denna rapport behandlas enbart axiell belastning vid påltoppen. Stålrörspålar av de större dimensionerna har dock en betydande momentkapacitet och böjstyvhet, vilket innebär att dessa pålar upp till kan ta upp förhållandevis stora horisontalkrafter.

Den redovisade metoden för dimensionering stämmer överens med det omfattande arbete som tidigare utförts inom Pålkommisionen beträffande slanka stålpålars lastkapacitet. Vidare har innehållet i Bronormer utgivna av f.d. Vägverket och Banverket beaktats, liksom Boverkets Byggregler och Konstruktionsregler. Vidare finns för EU gemensamma regler, EN-normer, som där så befunnits tillämpligt utgjort förutsättning för redovisade metoder. I första hand gäller detta samverkan mellan stål och betong samt frågor som rör beständighet.

En borrade stålrörspåle liknar till stor del en stålkärnepåle, med den viktiga skillnaden att ingen stålkärna installeras. Istället utgörs de bärande komponenterna av pålröret, med reduktion av tvärsnittet med hänsyn till korrosion, samt betongfyllningen och eventuell armering. Regler för beräkning av samverkan mellan betong och armering redovisas i EN 1994 (Eurocode 4) och kan användas vid dimensioneringen. Vid dimensioneringen ska uppkommande krafter beräknas med utgångspunkt från motsvarande regelverk.

Kraftöverföringen vid pålspetsen är av speciellt intresse. En serie provbelastningar av rör placerade på framborrade bergyta har utförts i Finland, som underlag för beräkningsmetoder för denna påltyp. Verifiering av rörets bärförmåga kan ske med stötvågsmätning, medan provning av den av stålrör och betong sammansatta pålens kapacitet, där betongen beräknas bärande, säkrast sker med statisk provbelastning. Efter nedborrning till bedömt bärkraftigt berg ska röret alltid stoppslås, dels för att penetrera kvarvarande borrhax och liknande, dels för att verifiera att röret neddrivits till bärkraftigt underlag.

För de borrade rörpålar som omfattas av rapporten förutsätts kontroll av raket och för bärförmågan hos berget under pålspetsen för alla pålarna i respektive projekt. Kontrollmätningen förutsätts utförd så att en viss minsta krökningsradie innehålls. I tidigare rapporter från Pålkommisionen redovisas beräkningsmetoder för slanka rörpålars lastkapacitet (Rapport 96:1 och Rapport 98, m fl).

Hållfastheten för den betong som används för rörpålar, injekterade eller i efterhand fyllda, ska normalt vara minst 30 MPa. Det är emellertid möjligt att använda betong av betydligt högre hållfasthet, s k högpresterande betong där hållfastheter 100 till 120 MPa kan uppnås. Detta sker genom användning av finmalen cement och tillsats av Silica. En möjlighet att uppnå hög lastkapacitet för en betongfylld stålrörspåle är därför att utnyttja mer avancerade recept för betongen än de som av tradition används.

För broar och liknande konstruktioner brukar gälla en övre tillåten gräns för permanenta konstruktioner vad beträffar i beräkningarna utnyttjad hållfasthet för undervattensgjuten betong. Ett utnyttjande av höga hållfastheter, även om man gjuter i torrhet, bör kompletteras med kontrollprogram för att verifiera utförandet av gjutningen.

Borring utgör det byggtidsmässigt säkraste och mot omgivningen skonsammaste sättet att installera en påle. Det är dessutom en metod som medger att toleranserna för placeringen av pålarna kan hållas snävare än för slagna pålar. De konstruktioner som placeras på borrade pålar, exempelvis plattor, balkar, sulor och pelare, kan dra nytta av detta förhållande. Exempelvis kan en plint med 4 eller fler pålar ersättas med en enda påle under en pelare eller väggskiva.

Från Finland finns exempel på broar där borrade stålrörspålar över mark direkt övergår i pelare upp till brobanan, vilket givetvis ger stora besparingar. På så sätt elimineras behovet av en konventionell pålplint som fundament för en skiva eller ett antal pelare.

Vid bedömning av byggkostnaden måste grundläggningen och valet av pålar vägas in i ett större sammanhang för att den bästa lösningen tids- och kostnadsmissigt ska uppnås. Det har då ofta visat sig att borrade pålar utgör den totalt sett bästa lösningen. I många fall utgör boring den enda möjliga metoden för installation, exempelvis vid olika typer av hinder i marken samt vid arbeten i tätbebyggd miljö.

1. Inledning

1.1 ALLMÄNT OM BORRADE STÅLRÖRSPÅLAR

En borrade stålörspåle består i sitt enklaste utförande endast av ett stålör som drivits ned till kontakt med bärkraftigt berg, se Figur 1a. Rörret kan fyllas med betong för att eliminera invändig korrosion och öka påles lastkapacitet, Figur 1b. För att ytterligare öka kapaciteten kan en armeringskorg, Figur 1c, eller annan förstärkning, exempelvis en balkprofil eller ett stålör, gjutas in.

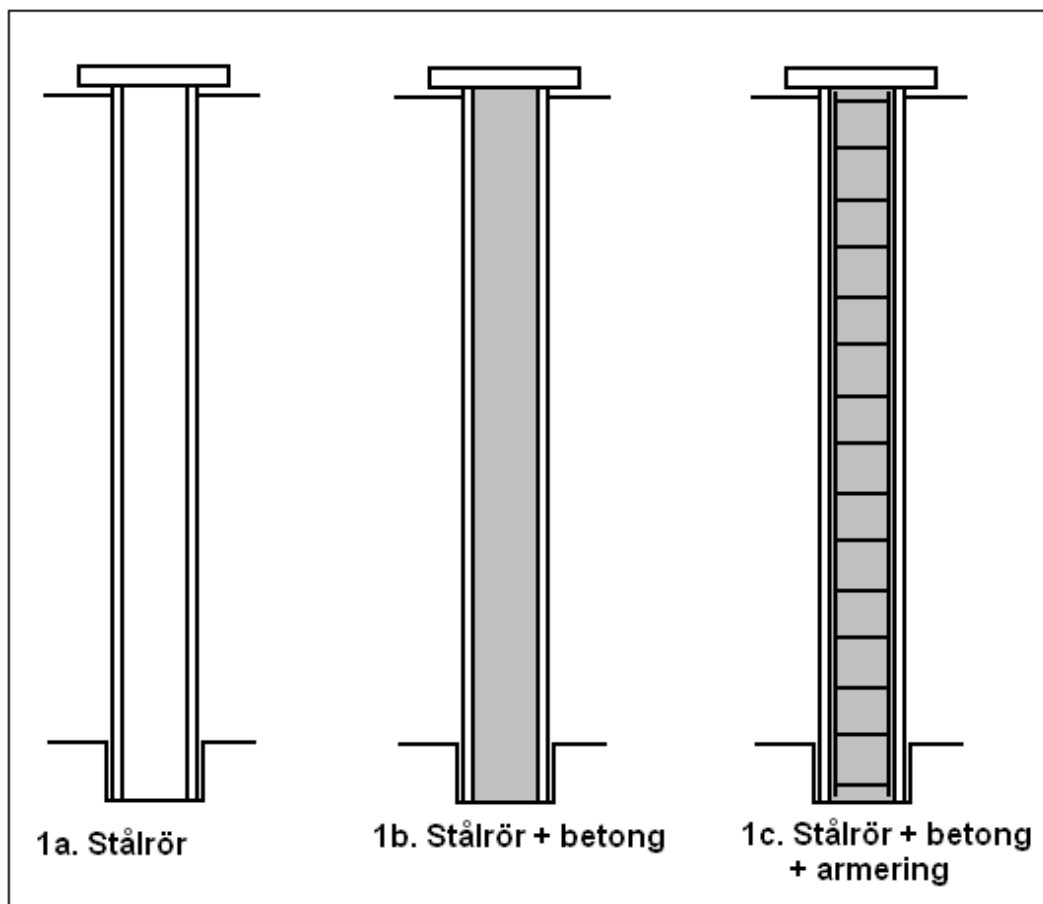
I de flesta fall används sänkborrhämmare för borring av stålörspålar. För mindre dimensioner och begränsade längder kan topphämmare användas.

De rördiameterer som är aktuella varierar i de flesta fall mellan ca 100 till 273 mm, men borrade stålörspålar har även utförts med så stor rördiameter som 813 mm. Godstjockleken för olika dimensioner varierar mellan ca 5 till 16 mm.

Den dimensionerande bärförmågan är normalt som lägst 500 kN för pålar med liten diameter upp till 6 000 kN, eller högre, för stor diameter. Borrade stålörspålar för lasteffekten 10 MN har föreslagits för projekt där mycket höga pållaster varit aktuella.

Installation

Installation av borrade stålörspålar görs givetvis genom borring. Olika bormetoder beskrivs under rubriken utförande.



Figur 1.
Olika varianter av
borrade stålörspålar.

Konstruktionsutformning

Olika konstruktionsmässiga frågeställningar samt utformning av detaljer, aktuella vid borrade stålrorsspålar, behandlas i avsnittet "Dimensionering". Där redovisas även förhållanden som påverkar kraftspelet vid påltoppen och pålspetsen. I röret kvarlämnat borrhax under betongfyllning i pålröret påverkar exempelvis i hög grad resultatet, därav fördelningen av krafter mellan rör och betong.

Verifiering av bärförmåga

Kontroll och verifiering av installerade stålrorsspålar bärförmåga behandlas under avsnittet "Kontroll". Eftersom pålarna i de flesta fall är spetsburna avser kontroll och verifiering i första hand bärförmågan hos berget närmast under pålspetsen.

Korrosion

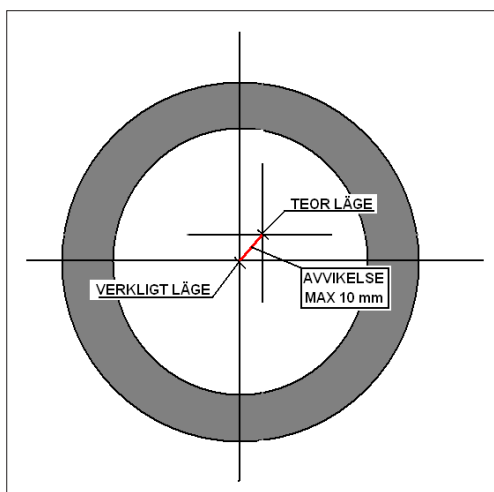
I likhet med andra stålplåtar utgör bestämning av den korrosion, som en borrade stålrorsspåle ska dimensioneras för, en viktig faktor vid dimensioneringen. Frågor som avser korrosion redovisas i avsnittet "Dimensionering".

Dimensionering med hänsyn till knäckning och pålens krökning

Borrade stålrorsspålar dimensioneras förutom för axiellkraft även för ett böjmoment. Detta uppkommer som följd av en initieell uppmätt eller antagen krokighet och den beräknade tillskottsutböjning som den axiella lasteffekten orsakar. Beräkningssättet utgör gällande praxis för dimensionering av pålar. Rekommenderade värden, som krävs för beräkningarna, redovisas i avsnittet "Dimensionering".

Borring medger snäva toleranser

En speciell egenskap som borrade pålar har är den stora **noggrannhet** med vilken pålen kan placeras i horisontalplanet, se Figur 2. Utförs exempelvis borrhingsarbetet från en grovbetongplatta på schaktbotten kan avvikelser mellan teoretiskt och verkligt läge hållas mindre än ca ± 10 mm. Detta innebär att pålar kan placeras ensamma under pelare, till skillnad från slagna pålar där minst 3 pålar och en plint brukar krävas under en pelare med hänsyn till avvikelser vid installationen. Om borrhingsarbetet utförs från en schaktbotten utan grovbetong med förborrade hål minskar precisionen.



Figur 2. Hög noggrannhet vid installationen medger högt utnyttjande av pålmaterialet för borrade stålrorsspålar.

1.2 TEKNIKUTVECKLING

Borrade stålrorsspålar är en relativt ny företeelse inom pålningsområdet, vilket innebär att utvecklingspotential fortfarande finns. Man kan förutse att teknikutveckling kommer att ske inom följande områden:

Högre hållfasthet hos stål

Sett i ett historiskt perspektiv har hållfastheten hos stål ökat kontinuerligt. Utvecklingen kommer sannolikt att fortsätta. Idag utnyttjas för borrade stålrorsspålar hållfastheter upp till 550 MPa.

Högpresterande betong, fiberbetong

Den betong som gjuts i borrade stålrorsspålar har idag en hållfasthet som inte överstiger 40 MPa. Bidraget till pålens bärförmåga begränsas av vidhäftningen mellan rör och betong, betongens krypegenskaper samt draghållfastheten. Nyare rön inom betongteknologin, exempelvis högpresterande betong (HPB), enskilt eller i kombination med fibrer, kan medföra förbättringar så att lastkapaciteten kan ökas och arbetsutförandet förenklas.

Nya material

En nackdel med stål som konstruktionsmaterial är korrosion. Inom andra områden används korrosionsresistenta material med hållfasthet som är lika eller högre än stålets, exempelvis kolfiber och plaster. Användning av sådana material för borrade pålar är ett föga undersökt område.

Rakare pålar

En påles bärförmåga beror till stor del på hur rak den är innan last påförs. Borring ger rakare pålar än neddrivning med slagning. Genom att med förbättrade borrhingsmetoder ytterligare minska pålaxelns avvikelse från en rät linje från påltopp till pålspets kan lastkapaciteten ökas i motsvarande grad.

Skarvteknik

Stålrören skarvas i de flesta fall med svetsning. Detta ställer stora krav på stålmaterialet och kontrollen av arbetet. Det är också ett tidskrävande arbetsmoment som i byggplatsmiljö kan vara svårt att genomföra på ett sätt som uppfyller ställda kvalitetskrav. I trånga utrymmen är svetsgaser en negativ faktor ur arbetsmiljösynpunkt. Vid svetsade skarvar krävs oförstörande provning, som är tidskrävande.

Skarvning med hylsa och gängor ger stora fördelar, men kan medföra viss försvagning i skarvsnittet. En skarvutformning som eliminerar svetsning och inte nedsätter lastkapaciteten är därför ett önskemål. Vidare måste skarvsystemet vara utformat så att inte borrhingsarbetet försvåras. Detta kan exempelvis bli fallet om utanpåliggande skarvhylsor fastnar på borrhål genom sten eller block.

Rakhetsmätning

Det nedborrade rörets läge i tre dimensioner längs längdaxeln måste vara känt för att pålens kapacitet ska kunna beräknas. Koordinaterna kan mätas upp med en inklinometer. Där noggrann information om storleken av utböjningen inte krävs väljs istället enklare metoder, exempelvis tolkning, men denna och liknande metoder ger begränsad information om krökningen längs pålen. En snabb, tillförlitlig och produktionsanpassad metod för bestämning av ett nedborrat och stoppslaget rörs utböjningskurva utgör en viktig komponent för att tillämpa optimalt utnyttjande av borrade stålrörspålar.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av det nedborrade rörets spetsmotstånd när det borrhats ned till kontakt med berg kan undersökas med stötvågsmätning. Här utgör emellertid rörets stuklast vid spetsen en begränsande faktor.

För en betongfylld stålrörspåle med godstjocklek som överstiger ett visst värde är inte stötvågsmätning tillämplig. Istället krävs statisk provbelastning för verifiering av pålspetsens bärförmåga. Sådan provning är emellertid dyrbar och tidskrävande, med de förfaranden som finns tillgängliga. Bättre tekniklösningar för utförande av statisk provbelastning är därför ett önskemål. Någon typ av mobil enhet utrustad med erforderliga resurser (mothåll, kraftgivare, m.m.) kan erbjuda en lämplig lösning.

Teknik för installation

De maskiner som idag används för installation av borrade stålrörspålar är i olika utsträckning inte speciellt anpassade för denna verksamhet, vilket leder till bieffekter i form av låg produktionstakt och belastningar på arbetsmiljö och omgivning som skulle kunna undvikas med utrustning utvecklad för att i första hand utföra denna typ av pålar.

I allmänhet uppbär olika pålar inom en pålgrundläggning olika last. Beroende på svårigheter att anpassa borrhmaskiner för borrhning av olika dimensioner väljs normalt den rördimension som motsvarar den högst belastade pålen. Genom utveckling av borrhmaskiner kan det bli möjligt att enkelt utföra pålar med olika dimensioner utan tidskrävande och kostsam modifiering av maskinutrustning.

Skonsammare installation

Den för närvarande mest skonsamma metoden för att installera pålar är borrhning. Genom att ytterligare öka bullerdämpning, minska utsläpp samt uppnå minskad vibrationspåverkan kan borrade stålrörspålar utföras ännu mer skonsamt med avseende på omgivningspåverkan.

2. Projektering

2.1 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

Projekteringsfasen föregår detaljutformningen och upprättandet av arbetshandlingarna för pålningsarbetet. För ett pålningsprojekt kan det vara aktuellt att i projekteringsfasen undersöka förutsättningar för användning av borrade stålörspålar. De viktigaste faktorer som talar för användning av sådana pålar är:

- berg på inte alltför stort djup (helst mindre än 20 till 30 m)
- krav på skonsam installation av pålar vad gäller buller och vibrationer
- hinder för slagna pålar finns i marken, exempelvis sten och block
- massundanträngande pålar får ej utföras
- mycket viktigt att tidplanen för pålningen hålls. Borrning innebär i allmänhet mindre risk för försening än andra installationsmetoder för pålar
- viktigt med små utförandetoleranser för pålarna
- pålarna ska klara signifikant momentbelastning
- pålarna måste nå ned till berg
- tunga pålmaskiner kan inte användas
- högt ställda kontrollkrav gäller för pålningen

För ett visst pålningsobjekt kan förstås också finnas ett antal förhållanden som talar mot användning av borrade stålörspålar. Som exempel kan nämnas följande omständigheter:

- bergytan ligger mycket djupare än 30 m
- berget har vid ytan dokumenterat dålig kvalitet, exempelvis en känd krosszon i bergmassan inom pålningsområdet
- brant sluttande bergyta
- korrosionen i marken kan väntas bli kraftig, exempelvis vid förorenad industrimark
- pålningsförhållandena innebär att andra påltyper, som innebär lägre kostnader, kan användas, exempelvis prefabricerade, slagna betongpålar

Vid projekteringen ska undersökningar och utredningar som ger svar på dessa frågor genomföras. Det är också viktigt att beakta samspillet pålning och överbyggnad för att det bästa valet av pålutformning ska kunna göras. I många fall är det lönsamt att välja en dyrare pålning räknat per meter påle såtillvida att detta medför en stor besparing för den på pålarna grundlagda konstruktionen.



Figur 3.
Nedborrning av
borrad stålörspåle
(Ruukki).

I projekteringsfasen måste också ingå att undersöka tillgången på förutsatta dimensioner och material. Ett vanligt fel vid projektering är att förutsätta alltför korta leveranstider. Ett annat frekvent fel är att välja dimensioner som inte ingår i leverantörernas standardsortiment. Dessutom förutsätter normalt tillgänglig borrhinsutrustning vissa värden för diameter och godstjocklek för borrade rör.

2.2 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN

Listan över faktorer som är gynnsamma för användning av borrade stålrospålar ger anvisningar om vilka användningsområden som lämpar sig för denna påltyp. Pålarna har fördelar för följande pålningsobjekt:

- grundförstärkningar i städer (utförs ofta i trång, omgivningskänslig miljö)
- broarbeten intill existerade konstruktioner (massundanträngning orsakad av slagna pålar kan inte godtas)
- pålgrundläggning där pålarna direkt kan övergå i pelare, se Figur 4.
- tunga byggnader med pelarstomme (en påle under varje pelare kan ersätta pålplintar för flera pålar)

För ensamma pålar under pelare är det motiverat att ställa särskilt stora krav på kontroll av dimensioneringen och utförandet.

Borrade stålrospålar är allmänt sett lämpliga där hinder i mark medför problem för slagning av pålar. För grundläggningsarbeten i tätortsmiljö är sådana hinder mer regel än undantag.

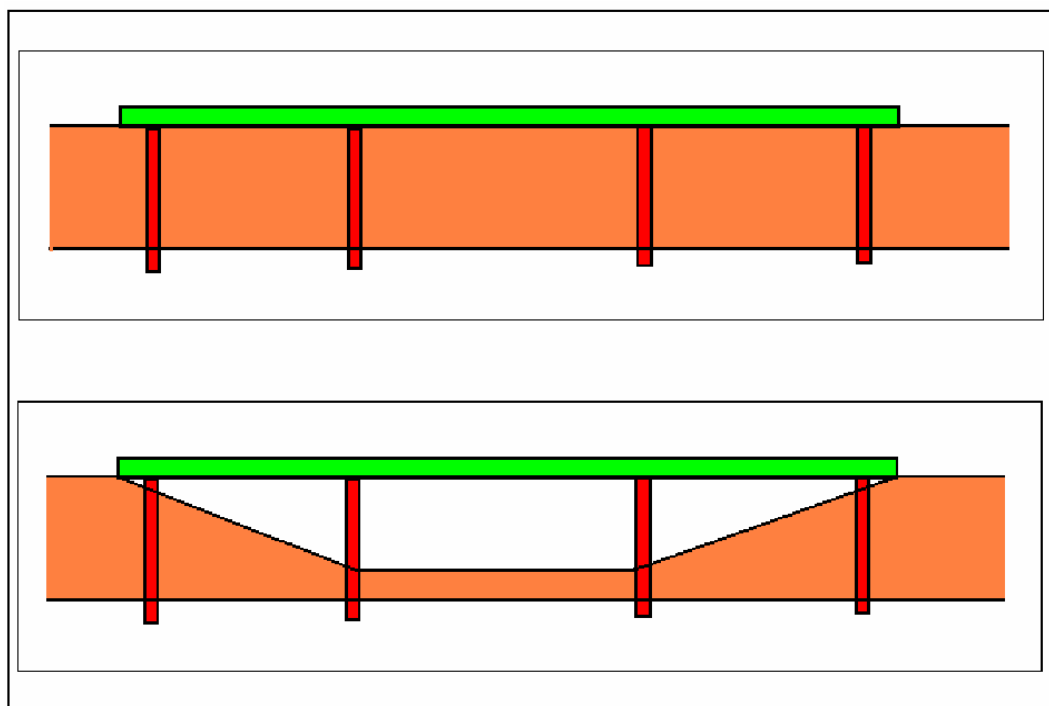
Vid pålning nära ledningar och befintliga grundkonstruktioner måste massundanträngande pålning undvikas vilket gör borrade stålrospålar, där den jordvolym som tas upp nominellt motsvarar rørets diameter, lämpliga.

Borrade stålrospålar i diameterintervallet 100 – 400 mm kan utföras av ett flertal grundläggningsföretag. Detta innebär att priserna för borrade stålrospålar är utsatta för konkurrens i högre grad än andra "exklusiva" metoder för pålning, dvs sådana som bara kan utföras av ett, eller ett fåtal, pålningsföretag. Enbart kompetens att utföra borrhinsarbetet är dock inte tillräckligt för att kunna utföra borrade stålrospålar. Erfarenhet och kunskap måste omfatta alla de processer som krävs.

2.3 FÖRUNDERSÖKNINGAR

Behovet av förundersökningar motsvarar de krav på besked som nämnts beträffande projektering. För att dimensionera pålarna krävs därutöver kompletterande uppgifter. Förundersökningarna ska främst ge underlag för bedömning av drivbarhet, omgivningspåverkan och pålarnas bärförmåga.

Förundersökningar kan bestå av genomgångar av erfarenheter från närliggande projekt och utredningar av geologiska förutsättningar och geotekniska undersökningar. Vilka förundersökningar som behöver göras beror på projektets art och omfattning, konstruktionens krav på pålarna samt pålarnas förväntade verkningsätt och utnyttjandegrad.



Figur 4.
Borrade stålrospålar övergår i pelare upp till brobana. Brobanan och pålarna utförs från markytan, varefter schakt sker för utrymme under bron.

En **kategorisering** av förutsättningar och krav som ställs för ett pålningsobjekt kan vara till hjälp i kommunikationen mellan deltagarna i projekteringen och vid val av vilka förundersökningar som ska göras. Exempel på kategorier är:

- De geotekniska klasserna GK1, GK2 och GK3 enligt BKR.
- Geotekniska kategorier (Geotechnical Categories) enligt Eurokod 7 del 1

I Sverige har det varit praxis att använda de geotekniska klasserna GK1, GK2 och GK3 för kategorisering av ett grundläggningsprojekt. För borrade stålörörspålar är i de flesta fall GK2 eller GK3 aktuella. Successivt kommer Eurokod 7 att börja tillämpas för många projekt och därmed motsvarande indelning i Geotechnical Categories. Dessa motsvarar de geotekniska klasserna GK1, GK2 och GK3 ganska väl. I Finland, där relativt stor erfarenhet finns av borrade stålörörspålar, görs en indelning i kategorierna easy, demanding och very demanding enligt den finska normen Finlands byggbestämmelsesamling, del B3, Geokonstruktioner 2004.

Vägledning för val av förundersökningar kan hämtas från följande litteratur:

- SGI (1993) kapitel 8
- FRA (2003) kapitel 5
- Smolczyk (2002)
- Pålkommisionen Rapport 97

SGI (1993), kapitel 8, avser i första hand slag-na pålar, främst förtillverkade, slagna betong-pålar. Där finns en sammanställning av under-sökningsmetoder som kan vara till hjälp vid upphandling av geotekniska undersökningar för pålningsprojekt. Kapitlet utgör en grundlig genomgång av lämpliga undersökningsmetoder för pålningsarbeten. Innehållet ger också vägledning för projekt med borrade stålörörspålar.

FRA (2003) avser borrade pålar och ger mer specifika råd än SGI (1993), till exempel avse-ende sonderingsdjup och avstånd mellan under-sökningspunkter.

I Smolczyk (2002) listas geotekniska under-sökningsmetoder för jord och berg. De geotek-niska data som respektive metod kan bestä-ma i olika typer av jordar och berg beskrivs. För dynamiska sonderingsmetoder ges kortfat-tade beskrivningar och referenser för bestäm-ning av drivbarhet och geoteknisk bärförmåga.

I Pålkommisionen Rapport 97 beskrivs utfö-rande av borring för stålörörspålar. Beskriv-ningen omfattar problemställningar som också gäller för borring för borrade stålörörspålar. I kapitel 2.3 listas förundersökningar som kan komma ifråga för stålörörspålning och för borrade stålörörspålar.

Bestämning av jordarter, jords egenskaper och grundvattennivåer är viktig för att kunna be-döma:

- drivbarhet och lämplig borrrutrustning
- risk för uppspolning av finjord
- risk för förhöjda porttryck
- förekomst av artesiskt vattentryck
- buller och vibrationer
- risk för kollision med ledningar och andra pålar
- geoteknisk bärförmåga för mantelburna pålar
- pålars beständighet.

För att kunna bedöma drivbarhet och lämplig borrrutrustning med avseende på borring ge-nom jord, är det i allmänhet lämpligt att an-vända dynamisk sondering, till exempel hej-arsondering.

Silt och finkornig sand under grundvattenytan kan under vissa omständigheter spolans upp i för stor omfattning vid borring. Speciell borrrutrustning kan dock väljas när det finns risk för sådan urspolning (se Pålkommisionen Rapport 97, kapitel 2.2.3). CPT sondering och provtagning ger information om före-komst av silt och finkornig sand.

För beräkning av jordens sidostöttande förmå-ga brukar man för lera utgå från lerans odrä-ne-rade skjuvhållfasthet eller friktionsjords lag-ringstäthet. Egenskaperna kan bestämmas med empiriska metoder, CPT- sondering, vingbor-ring eller ostörd provtagning med kolvborr, se Larsson et al (1984) och Pålkommisionen Rapport 96:1. Se även Geoteknisk Fälthand-bok från SGF.

För pålar som beräknas bli spetsburna på berg, vilket är det normala för borrade stålörörspålar, är bestämning av bergets läge, lutning, håll-fasthet och sprickkaraktistik viktig för att kunna bedöma:

- drivbarhet
- lämplig borrrutrustning
- omgivningspåverkan, främst buller och vibrationer
- pållängd
- geoteknisk bärförmåga

De geologiska förutsättningarna för spetsburna borrarade stålrovspålar borrarade till berg är för stora delar av Sverige generellt sett goda med hållfast berg på måttliga djup under markytan. Hållfastheten för kristallint urberg brukar uppgå till 200 till 300 MPa. På en del platser är dock bergets yta uppsprucken och i en del berggrunder, till exempel för en del sedimentär berggrund, är bergytan ofta inte distinkt. En del bergytor är också brant lutande, till exempel i Göteborg och i Stockholm, vilket kan försvåra borrhörningsarbetet.

Erfarenheten visar att under ytberg med hållstruktur döljer sig ofta bergmassa av sämre kvalitet, vilket kan innebära att ökat inborrningsdjup i berg inte medför någon förbättring av spetsbärförmågan för borrarade stålrovspålar.

Geotekniska fältundersökningar av berg omfattar borrhörmetoder, kärnprovtagningar och geofysiska metoder. Enligt Smolczyk (2002) kan, då geologisk information om platsen finns, borrhörmetoder användas för att få en uppfattning om bergets material och hållfasthet. För att få en bättre uppfattning om till exempel sprickvidd och orientering kan loggning av borrhål utföras i foderrörborrade undersökningshål. Jordbergsondering (Jb) ska vara utförd som klass 2 eller 3 för att kunna antas ge relevant information. Jb-sondering med tidigare metoder ger i många fall otillräcklig information beträffande bergmassans kvalitet. För den som ansvarar för förfrågningsunderlag för borrarade stålrovspålar, t ex en geokonsult, är det viktigt att inte ge vare sig för optimistisk eller pessimistisk bild av bergets kvalitet.

2.4 PLANERING AV BORRNINGSARBETET

I projekteringsfasen är det viktigt att göra en genomgång av hur borrhörningsarbetet kan utföras på bästa sätt med avseende på de olika faserna. Arbetet och de olika insatserna behöver i projekteringsfasen inte planeras i detalj, men det ska i stora drag klarläggas vilka resurser och vilka metoder som i första hand ska tillämpas.

Borrrutrustning

Val av borrrutrustning för borrarade stålrovspålar görs i första hand med utgångspunkt från följande faktorer:

- föreskrivna miljökrav, främst buller, vibrationer och utsläpp
- djup till berg
- tillgängligt utrymme på arbetsplatsens, främst begränsningar i höjddled (källare)
- tillgång på vatten och el

- produktionsbegränsningar, t ex förbud mot arbete viss tid
- faciliteter för personal
- hinder för transporter
- underlagets bärförmåga
- toleranskrav
- produktionskapacitet
- jordförutsättningar, främst hinder och uppspolningsrisk
- kompetens och erfarenhet beträffande aktuella förutsättningar
- tillgång på utrustningen

Listan kan göras längre om alla styrande villkor ska tas med, men ett minimikrav bör vara att man i projekteringsfasen ägnar uppmärksamhet åt ovan nämnda förhållanden. I allmänhet finner man då att den maskinuppställning som lämpar sig bäst i vissa avseenden i andra inte utgör det bästa alternativet. Valet blir istället en kompromiss, där en del förhållanden blir styrande, exempelvis krav på begränsning av miljöpåverkan. Utan det kravet hade kanske en kraftigare, men mer bullrande, maskin varit ett bättre val.

Pålmaterial

Vid projekteringen av borrarade stålrovspålar är det viktigt att bestämma vilka stålsorter samt vilka rördimensioner och godstjocklekar som ska förutsättas. För ett visst objekt, där borrarade stålrovspålar ska användas, är det alltid möjligt att med vissa förutsättningar beräkna den teoretiskt optimala kombinationen av rördiameter, godstjocklek och stålsort. Lagerhållning och leveranstider begränsar emellertid möjliga val och dessutom tillverkas de borrhörkronor som kan användas i vissa bestämda dimensioner.

Man måste dock alltid vara uppmärksam på vilka bestämmelser som gäller för ett visst objekt. Bronnormer som styr materialkraven för borrarade stålrovspålar med Trafikverket som beställare, medför exempelvis många gånger högre krav på stålmaterialet än vad som är fallet med andra beställare eller byggherrar.

Beträffande val av stålsort rekommenderas att välja stål från existerande Europastandarder. De vanligaste standarderna som förekommer är SS-EN 10219 för varmformade rör och SS-EN 10210 för kallformade svetsade rör. Stålsorter i nuvarande utgåvor av dessa standarder finns redovisade i BSK 07. Det finns även andra Europastandarder för rör med andra stålsorter som kan användas. Val av annan stålsort än från existerande Europastandarder bör göras med försiktighet då ett sådant val kan

medföra krav på omfattande provningar (se även avsnitt 3.5).

Beträffande materialutnyttjandet för stålmaterial gällande BSK (Bestämmelser för Stålkonstruktioner) i allmänhet, för svenska förhållanden, innebär vissa begränsningar beträffande möjligheterna att fullt ut utnyttja den nominella hållfastheten hos en viss lagerhållen stålsort. S440 kan klassas som S420, för att normerade värden enligt viss standard ska kunna tillämpas, exempelvis vid brokonstruktioner. Där aktuella regler så medger används hållfasthet motsvarande S550.

Arbetet med att ta fram standarder som motsvarar aktuella behov och praxis pågår kontinuerligt. Detta innebär att specifikationerna i en viss standard aktuell för stålrörspålar ständigt förändras. Därtill kan nämnas att olika regioner, Europa, Asien, USA, har standarder som i vissa delar avviker från varandra. Det är upp till den som ansvarar för ett visst projekt att avgöra om den standard som krävs i ett projekt uppfylls. En sådan situation kan exempelvis uppkomma om beställaren föreskriver EN-standard och rörmaterial levereras från ett område utanför EU.

Skarvning

Skarvning med svetsning är den vanligaste metoden, men med ökade krav på kompetens och kontroll för utförandet har skarvning med yttre skarvhylsa och gängor blivit allt mer använd. Det kan nämnas att svetsning vid projekt som avser broar normalt i särskilt hög grad kräver oförstörande provning och långa väntetider mellan svetsning och provning.

Figur 5 visar det skarvsystem som Ruukki utvecklade. Gängskarv med yttre hylsa finns för dimensionerna 90 till 220 mm. Skarven förspänns genom att ett specificerat åtdragningsmoment anbringas. Detta är minst 1 kNm. Förspänningen genom åtdragning syftar till att kraften i pålen ska överföras genom de skarvade påldelarnas ändtytor.

Som nämnts ovan innebär eliminering av svetsning betydande fördelar för arbetet med borrade stålrörspålar. Det rekommenderas därför att gängad skarvning alltid tillämpas där så är möjligt. Krav på verifiering av gängade skarvars drag- och böjkapacitet samt beständighet kan kräva särskild objektspecifik provning eller intyg från tidigare utförd verifiering av godkänd provningsinstans.



Figur 5.
Skarvning av RD-påle
med gängor och yttre
hylsa (Ruukki).

En nackdel med utvändigt hylsskarv, om den har större diameter än borrhönan, är att hylsan kan fastna på block som genomborras. Pålsystemet RD inkluderar specificerade ringborrhönan vars dimension passar respektive hylsdimension. Syftet är att undvika nämnda svårigheter vid genomborring av sten och block.

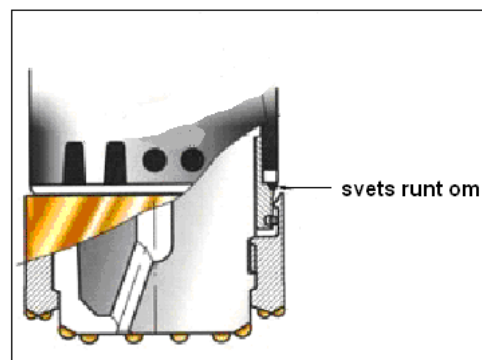
Invändig hylsskarv innebär hinder för att föra ned och att ta upp borrhönan. För att undvika dessa nackdelar skulle istället rörändarna kunna gängas, dvs den typ av API-skarv som används för oljeborrör. En sådan skarv kräver dock tillräckligt stor godstjocklek och momentkapaciteten blir mindre än för en skarv med hylsa.

I Pålkommisionens Tekniska PM 1:2010 visas resultat av utförda tryck-, böj- och dragprov med hylsskarvar för RD-pålar. Provningen omfattar såväl betongfyllda som tomma rör.

Borrhönan

De borrhönan som i första hand kommer till användning för borrade stålrörspålar är borrhönan för centrisk borrhönan, dvs en ringborrhönan kopplad till änden av den borrade stålrörspålen.

Det finns flera olika tillverkare av borrhonor och tillhörande delar för centrisk borrar. Ett ofta använt system är det finska SYMMETRIX. I Figur 6 visas hur slagskon svetsas fast på stålroret med SYMMETRIX centriska borrar-metod.



Figur 6.

Svetsning av slagsko vid spetsen av borrarad stålrovspåle (ROTEX OY), enbart svets "runt om" vid rörspets.

I Figur 7 visas dimensioner för ringborrhonor tillverkade av ROTEX. Fördelar med centrisk framför excentrisk borrar för pålningsändamål är att större raket uppnås samt att större godstjocklekar än 5 till 6 mm kan användas.

En nackdel med att använda ringborrhona är kostnaden för borrhona, som blir kvar i marken. Denna kostnad måste ställas mot de fördelar som uppnås jämfört med att använda excentrisk borraringsmetod, där borrhona, som nämnts, tas upp efter avslutad borrar.

I kolumnen "Casing OD" (rör-ytterdiameter) och "Casing Wall max" (största godstjocklek för rör) återfinnes standardvärden för rör. Kolumnen DTH (Down The Hole Hammer) anger dimension för sänkborrhammare, vilket är den vanliga använda typen av hammare. I Figur 8 visas rekommenderade borrhonor för olika dimensioner för RD-pålar. Som nämnts

ovan är det viktigt att redan på projekteringsstadiet räkna med de dimensioner på rör, borrhonor och hammare som normalt finns tillgängliga.

Utformning av borrhona

De borrhonor som finns allmänt tillgängliga för borrarad stålror är inte specifikt utformade med syfte att utgöra en pålspets. Istället är kronorna optimerade för produktion av borrhål för brunnar, sprängningsborrar och liknande. I och med att användning av borrarad stålrospålar ökat har kronor tagits fram där följande faktorer beaktats:

| SYSTEM | CASING OD mm/inch | CASING WALL MAX mm/inch | RING BIT ID/Drill Through mm/ inch | RING BIT OD | PILOT BIT OD | DTH-HAMMER |
|--------|-------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------|--------------|------------|
| 71 | 101,6/4" | 5,6/ 0,219" | 72 / | 108 | 89 | |
| 72 | 88,9/ 3 1/2" | 3,2/ 0,125" | 72 | 100 | 81 | |
| 82 | 114,3/ 4 1/2" | 6,0/ 0,234" | 83 | 125 | 101 | 3" |
| 90 | 114,3/ 4 1/2" | 5,0/ 0,203" | 91/ 3 1/2" | 128 | 102 | 3" |
| 98 | 139,7/ 5 1/2" | 10,0/ 0,391" | 99 | 147 | 116 | 4" |
| 105 | 146,0/ 5 3/4" | 8,0/ 0,313" | 106/ 4 1/8" | 152 | 128 | 4" |
| 115 | 139,7/ 5 1/2" | 5,0/0,203" | 116/ 4 1/2" | 151 | 128 | 4" |
| 126 | 168,3/ 6 5/8" | 10,0/ 0,391" | 127/ 5 " | 178 | 146 | 5" |
| 135 | 168,3/ 6 5/8" | 5,5/ 0,219" | 135/ 5 1/4" | 184 | 154 | 5" |
| 140 | 168,3/ 6 5/8" | 5,5/ 0,219" | 141/ 5 1/2" | 184 | 155 | 5" |
| 142 | 177,8/ 7" | 8,0/ 0,313" | 142 | 191 | 160 | 5"-6" |
| 151 | 193,7/ 7 5/8" | 11,0/ 0,438" | 151 | 205 | 169 | 6" |
| 155 | 193,7/ 7 5/8" | 9,0/ 0,360" | 1567/ 6 1/8" | 205 | 174 | 6" |
| 165 | 193,7/ 7 5/8" | 6,0/ 0,234" | 167 | 210 | 180 | 6" |
| 170 | 219,1/ 8 5/8" | 12,7/ 0,5" | 170 | 232 | 191 | 6" |
| 185 | 219,1/ 8 5/8" | 6,0/ 0,234" | 186 | 234 | 205 | 6" |
| 190 | 219,1/ 8 5/8" | 5,0/ 0,203" | 192/ 7 1/2" | 236 | 206 | 6" |
| 212 | 254,0/ 10" | 8,0/ 0,313" | 213 | 268 | 236 | 8" |
| 218 | 273,0/ 10 3/4" | 12,7/ 0,5" | 219/ 8 5/8" | 285 | 246 | 8" |
| 224 | 254,0/ 10" | 5,5/ 0,219" | 225 | 274 | 241 | 8" |
| 231 | 273,0/ 10 3/4" | 8,0/ 0,313" | 232 | 287 | 255 | 8" |
| 274 | 323,9/ 12 3/4" | 12,7/ 0,5" | 275 | 339 | 297 | 8"-12" |
| 281 | 323,9/ 12 3/4" | 8,0/ 0,313" | 281/ 11" | 341 | 306 | 8"-12" |
| 300 | 355,6/ 14" | 12,7/ 0,5" | 298 | 369 | 327 | 10"-12" |
| 315 | 355,6/ 14" | 9,0/ 0,360" | 315/ 12 1/5" | 370 | 335 | 10"-12" |
| 354 | 406,4/ 16" | 12,7/ 0,5" | 354 | 420 | 378 | 10"-12" |
| 365 | 406,4/ 16" | 7,0/ 0,276" | 366/ 14 1/5" | 421 | 388 | 10"-12" |
| 396 | 457,2/ 18" | 12,7/ 0,5" | 396 | 472 | 430 | 12"-16" |
| 445 | 508,0/ 20" | 12,7/ 0,5" | 445/ 17 1/2" | 522 | 479 | 12"-18" |

Figur 7.

Centrisk borrar-system SYMMETRIX, dimensionstabell (ROTEX OY).

Tabell 4: Utvändigt diameter för gängade skarvar samt rekommenderade typer samt dimensioner för borkkronor.

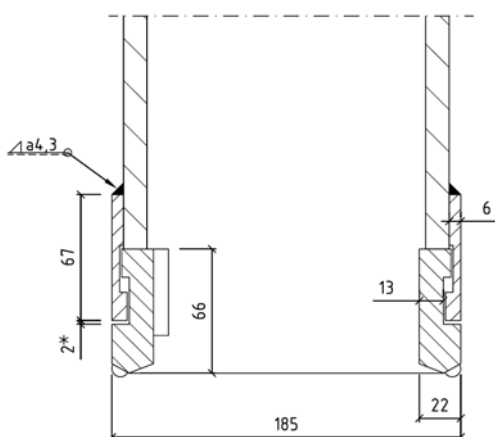
| Påle | Pålar | | Borkkronor | | | |
|------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| | Pålens utvändiga diameter [mm] | Skarvens utvändiga diameter [mm] | Atlas Copco | Borkkronans utvändiga diameter [mm] | Robit | Borkkronans utvändiga diameter [mm] |
| RD90 | 88,9 | 101,6 | Symmetrix P89/8-RD * | 107 | ROX+ RD90/8 * | 105 |
| RD115/6,3 | 114,3 | 127,0 | Symmetrix P114/8-RD | 132 | DTH-ROX+ RD115/10 | 134 |
| RD115/8 | 114,3 | 127,0 | Symmetrix P114/8-RD | 132 | DTH-ROX+ RD115/10 | 134 |
| RD140/8 | 139,7 | 152,4 | Symmetrix P140/8-RD | 158 | DTH-ROX+ RD140/10 | 160 |
| RD140/10 | 139,7 | 152,4 | Symmetrix P140/10-RD | 158 | DTH-ROX+ RD140/10 | 160 |
| RD170/10 | 168,3 | 177,8 | Symmetrix P168/10-RD | 183 | DTH-ROX+ RD170/12,5 | 188 |
| RD170/12,5 | 168,3 | 180,0 | Symmetrix P168/12,5-RD | 188 | DTH-ROX+ RD170/12,5 | 188 |
| RD220/10 | 219,1 | 229,0 | Symmetrix P219/10-RD | 239 | DTH-ROX+ RD220/12,5 | 240 |
| RD220/12,5 | 219,1 | 234,9 | Symmetrix P219/12,5-RD | 239 | DTH-ROX+ RD220/12,5 | 240 |

All borkkronor avser sänkborkhammare förutom de (*) markerade som avser topphammare.
Vänstergängade pålelement och skarvar används för sänkborkhammare och högergängade för topphammare.

Figur 8.
Borkkronor för
RD-pålar (Ruukki).

- flat botten för bästa överföring av kraft från påle till berg
- minimering av korrosionsexponerade ytor
- anläggning av hela rörtvärsnittet på borkkronan
- ökad diameter så att hylsskarvar ej hindrar nedborrning av pålrör

I Figur 9 visas ett exempel på lämplig utformning av ringborkkrona och borsko.



2.5 BETONG

Sammanställningen av betongen som gjuts i det nedborrade stålröret styrs normalt av de krav som gäller för gjutning av betong i vatten ("undervattensgjutning"), eftersom rör i de flesta fall är fyllda med vatten upp till grundvattenytans nivå.

Gjutningen ska göras genom slang som mynnar vid botten vid pålspetsen. Vid gjutning i torrhet brukar föreskrivas minst 325 kg cement per m³. Motsvarande värde vid gjutning i ett vattenfyllt rör (undervattensgjutning) är minst 375 kg/m³. Vattencementtal ≤ 0,45. Största stenstorlek väljs med hänsyn till

rördiameter, pållängd och förekommande armering. Ofta väljs max 8 mm. Föreskriven hållfasthetsklass brukar vara högst C45/55, vilket ungefär motsvarar tidigare hållfasthetsklass K60. Gjutröret ska inte lyftas innan betong utan inblandning av borkkax och liknande strömmar ut vid rörets överände.

Fyllning av betong i röret vid övre änden, s.k. "störtning" får aldrig tillämpas utan särskild utredning och provning, eftersom separation av betongens beståndsdelar (cement, sand sten) kan väntas uppkomma utom för mycket korta pålar utan vattenfyllning.

På projekteringsstadiet ska säkerställas att den kvalitet på gjutningen som krävs kan uppnås under aktuella förhållanden. I allmänhet ska betongen vara förtillverkad. Det är en fördel, framförallt vid långa pålar, att använda självkompakterande betong.

Genom att använda s k högpresterande betong (HBP) kan hållfastheter 100 till 120 MPa uppnås. Detta sker genom användning av finmalen cement och tillsats av Silica. Betongens draghållfasthet kan ökas, jämfört med konventionell betong, genom tillsats av stålfibrer, s.k. fiberbetong. En möjlighet att uppnå hög lastkapacitet för en betongfylld borrarad stålrörspåle kan därför vara att utnyttja mer avancerade recept för betongen än de som av tradition brukar användas.

2.6 KONTROLLINSATSER

För ett pålningsprojekt ska omfattningen av aktuell **grundkontroll** och en för objektet särskild **tilläggskontroll** vara klarlagd innan arbetets utförande planläggs och kommer igång. För brokonstruktioner ska en kontrollplan för tilläggskontroll även omfatta tilläggskontroll av svetsar.

Figur 9.
Ringborkkrona och
borsko utformad för
borrad spetsburen
stålrörspåle.

Vanliga punkter för grundkontrollen, innan införandet av bindande Euronormer, är:

- kontrollkrav enligt BSK (Bestämmelser för Stålkonstruktioner)
- kontrollkrav enligt BBK (Bestämmelser för Betongkonstruktioner)

Omfattningen av tilläggskontrollen ska normalt finnas med i förfrågningsunderlaget för projektet. Tilläggskontrollen för borrade stål-rörspålar ska alltid innehålla följande avsnitt:

- raket
- bergkvalitet
- verifiering av bärförmåga
- avvikelser

Utöver kontrollkrav som framgår av arbetsritningarna specificeras även kontrollåtgärder i en svetsplan, som ska upprättas av entreprenör i samråd med konstruktör. För den som utför borrhningsarbetet krävs i allmänhet också en plan för kvalitetssäkring, vilken innehåller kontrollpunkter för arbetsutförandet.

3. Dimensionering

3.1 ALLMÄNT

Dimensioneringen syftar till att i detalj specificera en påle som fungerar på avsett sätt under avsedd tid. För objektet uppställda regler och normkrav måste följas. Säkerheten mot brott måste vara tillräcklig, vilket undersöks i analys av **brottgränstillståndet**. Dessutom måste pålen vid normala driftförhållanden uppfylla ställda krav, vilket undersöks i **bruksgränstillståndet**. Vidare kan i vissa fall även andra gränstillstånd behöva undersökas, exempelvis det som motsvarar **olycksfall**, brand, fortskridande ras och liknande.

Pålar ska även kontrolleras för **utmattning**, både för installations- och driftskedet. Regler i BSK anger kriterier för sådan beräkning. Vid installationen kan dimensionerande utmattning uppkomma genom upprepad reflexion av stötkrafter i pålen. Man brukar räkna med att sådana reflexer klingar av efter 2 till 5 reflexer. Där tryckvåg inkommer mot fri yta sker reflexion i form av dragvåg och vice versa.

I *brottgränstillståndet* medges i allmänhet ett utnyttjande av spänningsnivåer som innebär att kvarstående deformationer och förskjutningar uppkommer, under förutsättning att de inte är för stora. Plastiskt spänningsområde för pålmaterial och jord kan alltså utnyttjas.

I *bruksgränstillståndet* krävs istället i allmänhet att de rörelser och formförändringar som uppkommer ska vara återgående när variabla laster på pålen avlägsnas. Vidare får rörelserna inte heller i detta gränstillstånd vara oacceptabelt stora. För bruksgränstillståndet görs i de allra flesta fall analys med elasticitetsteori och begränsning av materialutnyttjandet till spänningsnivåer som med tillräcklig marginal säkerställer elastiskt beteende hos den borrade stålrörspålen.

Detta innebär att **lasteffekten** i både brott- och bruksgränstillståndet måste tas fram för att konstruktionsberäkningar ska kunna genomföras på ett fullständigt sätt. Detta är ett minimikrav. I vissa fall kan lasterna även i andra gränstillstånd behöva beaktas, som nämnts ovan.

Många gånger innehåller en förfrågan om vilken pålutformning som ska väljas endast en enda lastuppgift utan att gränstillstånd anges. Det finns då en betydande risk att förutsättningar för konstruktionsberäkningarna väljs felaktigt, exempelvis att ett materialutnyttjande som är relaterat till ett brottgränstillstånd används för förhållanden som innebär ett bruksgränstillstånd.

Som exempel på ett sådant misstag kan nämnas felaktigt val av jordrespons vid analys av bruksgränstillståndet. Som nämnts ska variabla laster inte medföra kvarstående rörelser. Detta innebär att den plasticering av jorden kring pålen som brukar utnyttjas i beräkning av pålars lastkapacitet inte är tillämplig för bruksgränstillståndet.

3.2 REGLER OCH ANVISNINGAR

Nedan redovisas några vanliga handlingar som tillämpas vid dimensionering av borrade stålrörspålar. Beträffande generella dimensioneringsförutsättningar hänvisas till Pålkommisionens rapporter 84a, 96:1, 98 samt 105.

Laster

Dimensionerande lasteffekt på pålarna ska beräknas i enlighet med gällande regler och föreskrifter.

Lastkapacitet

Lastkapaciteten för borrade stålrörspålar beräknas enligt gällande föreskrifter, handböcker och normer. Boverkets handböcker kan laddas ner från www.boverket.se. Handlingar utgivna av Trafikverket finns på www.trafikverket.se. Eurokoder, med tillhörande handlingar, säljs av SIS, www.sis.se.

Handböcker och rapporter från Pålkommisionen (www.palkommissionen.org), som beskriver olika beräkningsmetoder som i tillämpliga delar kan användas vid dimensionering för borrade stålrörspålar, är:

- Pålkommisionen Rapport 81
- Pålkommisionen Rapport 84a
- Pålkommisionen Rapport 90
- Pålkommisionen Rapport 96:1
- Pålkommisionen Rapport 97
- Pålkommisionen Rapport 98

Se även handboken Bygg, del G och del K.

Borrade stålrörspålar, normer och föreskrifter för broar och liknande konstruktioner

Trafikverket föreskriver regler (bronormer), som också gäller borrade stålrörspålar. Vid dimensionering av stålrörspålar där sådana bronormer, eller motsvarande från myndighet utgivna regler, utgör förutsättning för pålning- en måste därför alltid noga kontrolleras vad som gäller, eftersom dessa föreskrifter löpande ändras för anpassning till andra regler (t ex Eurocoder) samt erfarenheter från tillämpning av tidigare utgåvor av normer.

3.3 LASTKAPACITET

Beräkningen av lastkapaciteten för en borrade stålrörspåle skiljer sig principiellt inte från beräkningen av lastkapaciteten för andra typer av pålar. Beräkningsmodellen för axiellt belastade pålar beskriven i Pålkommisionens rapport 84a lämpar sig mycket väl även för borrade rörpålar. Även de övriga beräkningsmetoderna beskrivna i kapitel 4.1 – 4.3 i Pålkommisionens rapport 96:1, Dimensioneringsprinciper för pålar, Lastkapacitet, är tillämpliga för borrade rörpålar.

Vid stötvågsmätning eller statisk provbelastning av betongfylld stålrörspåle som förutsätts vara i full kontakt med underliggande bergyta begränsas den kraft som kan påföras av hållfastheten hos stålet, betongen eller berget.

Bergets tryckhållfasthet kan uppgå till ca 200 – 300 MPa. Präglingstrycket (då röret tränger ned i berget) är ca 3 till 5 ggr bergets hållfasthet, d v s minst ca 600 MPa. Eftersom stålets hållfasthet i allmänhet är mindre än detta värde brukar inte berget utgöra en dimensionerande faktor för provbelastning.

Stålets hållfasthet kan dock utgöra en begränsad faktor för provbelastning, såväl dynamisk som statisk.

Även *betongens hållfasthet* kan vare begränsande för provbelastningen vid ett betongfyllt rör.

Samverkan mellan stål/betong/berg – allmänt

Det är några områden där betongfyllda rörpålar skiljer sig från pålar i övrigt och ytterligare några avseenden där borrade rörpålar skiljer sig från slagna rörpålar. Dessa områden är främst:

- Samverkan mellan stål och betong
- Fördelning av laster vid påltopp
- Fördelning av laster vid överföringen till berg

Vid beräkning av pålens böjstyvhet brukar stålrörets och betongens styvheter adderas. För att uppnå fullständig samverkan mellan stål och betong krävs teoretiskt att åtgärder vidtas, exempelvis svetsbultar, på insida rör, vilket inte är särskilt praktiskt. Försök där betongfyllda stålrör utsatts för böjning visar att vidhäftningsspänningen mellan rörets insida och betongfyllningen vid brott är ca 0,4 MPa utan sådana åtgärder. Denna samverkan är för de rördimensioner som används för borrade stålrörspålar tillräckning för att signifikant samverkan ska uppnås mellan betong och stålrör, se Leskelä och Eronen, 1998.

Betongens böjstyvhet kan beräknas enligt schablonmetod för tryckta konstruktioner. Stålrörets böjstyvhet beräknas enligt rapport 96:1, där hänsyn tas till egenspanningar genom att E-modulen reduceras med faktorn 0,9.

Fördelningen av lasten mellan stålrör och betong skiljer sig åt beroende på vilket snitt som studeras. Uppe vid påltoppen kan önskad fördelning styras aktivt genom att man tillser att last påförs både rör och betong. Även om inte lasten belastar både betong och stål vid överändan kan man för ett snitt ett stycke ner på pålen räkna med att lasten fördelas på betong och stål i förhållande till respektive axialstyvhet, EA, med vedertagna beteckningar, se Figur 10.

Lastfördelningen mellan rör och betong i anslutningen mellan påle och berg skiljer sig väsentligt i de två fallen nedan:

- Kontakten mellan betong och berg är verifierat fullständig
- Kontakten mellan betong och berg har inte verifierats

I det första fallet kan betongen antas överföra den egna lastandelen direkt till berget, medan i det andra fallet lasten helt måste förutsättas föras över via stålröret.

Lastkapaciteten i snittet genom rör och betong vid pålspetsen dimensioneras i brottgränstillstånd för en excentricitet på rörets ytterdiameter genom 30, dock minst 20 mm.

Samverkan stålrör – betongfyllning

Samverkan mellan stålrör och i röret gjuten betong behandlas i Eurokod 4, EN 1994. Där beaktas även inverkan av armering eller andra ingjutna förstärkningar. För pålningsområdet är i första hand den samverkan som kan tillgodoräknas utan att särskilda kraftöverförande komponenter monteras, exempelvis svetsbultar, av intresse.

Man kan skilja på samverkan vid enbart axialkraftbelastning och sådan belastning tillsammans med böjmoment. I den beräkningspraxis som numera tillämpas för pålar antas alltid en viss momentbelastning tillsammans med axiallasten. Att enbart anta axiallast innebär att man förutsätter en i matematisk mening initieellt rak påle. Detta synsätt kan sägas representera tidigare, idag förlegad, beräkningspraxis. Denna typ av förenklad samverkan beskrivs nedan.

Samverkan vid enbart normalkraft

Förutsättningarna för den betongfyllda borrade stålrörspålen illustreras i Figur 10. Pålen antas vid topp och spets ha full anliggnings mot både stålrör och betong. Den uppburna axiella lasten F antas verka i påltvärsnittets mittpunkt. Lasten fördelas på stål respektive betong enligt följande:

$$F_s = F \cdot (EA)_s / (EA)_{s+c}$$

och

$$F_c = F \cdot (EA)_c / (EA)_{s+c}$$

där

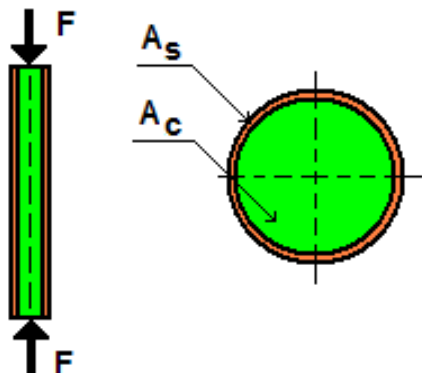
F_s = kraftandel för stålröret

F_c = kraftandel för betongen

$(EA)_s$ = axialstyvhet för stålröret

$(EA)_c$ = axialstyvhet för betongen

$(EA)_{s+c} = (EA)_s + (EA)_c$



Uttrycken ovan härleds ur villkoret att töjningen (kompressionen) för både stål och betong är lika för alla tvärsnitt i pålen.

Samverkan i bruksgränstillstånd

Om lasten i pålen förutsätts belasta underlaget i proportion till axialstyvheten EA för rör respektive betong och tryckspänningen i betongen begränsas till dimensionerande värde för bruksgränstillståndet, finner man att spetskapaciteten beräkningsmässigt blir större för vissa kombinationer rör/godstjocklek om enbart rörets kapacitet beaktas.

Lokal buckling av rör

Vid medräkning av rörets kapacitet måste kontrolleras att lokal buckling inte uppkommer. Villkor för kontroll redovisas i BSK, kapitel 6.2 samt EN 1994. Uttryck för att beräkna kapacitet med avseende på lokal buckling för tomma respektive betongfyllda stålrörspålar redovisas även i Pålkommisionen Rapport 98.

Platta vid påltopp

Upp till förses påltoppen i de flesta fall med en stålplatta som överför belastningen från den uppburna konstruktionen till pålen. För att uppnå maximal bärförmåga ska plattan placeras på ett plant avskuret, avjämnat påltvärsnitt så att lasten överförs till pålen genom plattans anliggnings mot både pålröret och pålens betongfyllning samt eventuell armering eller annan förstärkning. Avplaningen av påltvärsnittets topp är viktig eftersom i annat fall pålens kapacitet kan avvika från den förutsatta, se Figur 11.

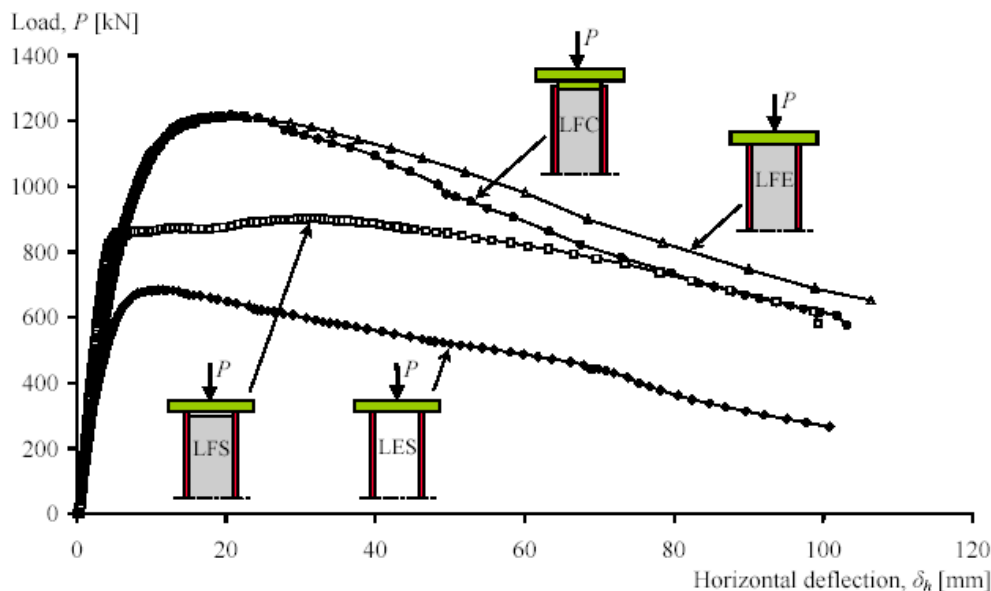
Notera att sambanden uppmätta i figuren avser anpassning i laboratoriemiljö mellan platta och rör. På en arbetsplats är motsvarande precision svår att uppnå. Snittkontroll av röret närmast plattan bör därför förutsätta att plattan där endast belastar röret.

Kraftöverföring vid pålspetsen

Generellt gäller att **snittkontroll** för aktuella värden på axialkraft och böjmoment utförs för tvärsnitten närmast påltoppen och bergytan. För mellanliggande del ska dessutom undersökas den kombinerade inverkan av axiell tryckkraft och motsvarande böjmoment, dvs effekten av andra ordningens moment, med hänsyn tagen till pålens knäcklast. Speciell uppmärksamhet måste ägnas **pålspetsen** hos den borrade stålrörspålen. På samma sätt som kraftöverföringen vid påltoppen påverkas av hur toppplattan ligger an mot rör och betong, blir kraftöverföringen från påle till berg beroende

Figur 10. Samverkan vid enbart axiell last.

Figur 11.
Samband mellan last och sidoutböjning för 3 m långa betongfyllda stålrör vid olika sätt att anbringa lasten vid rörtoppen. Figuren visar horisontell utböjning på mitten hos en 3 m lång pelare vid olika axiell last vid pelartoppen. LFC = last påförs endast betongkärnan. LFS = last påförs endast stålröret. LFE = last påförs både betong och stålrör. LES = tomt stålrör. (Mathias Johansson 2000).



av kontakten mellan bergytan i botten av borrhålet och betongfyllningen i pålröret, se Figur 12.

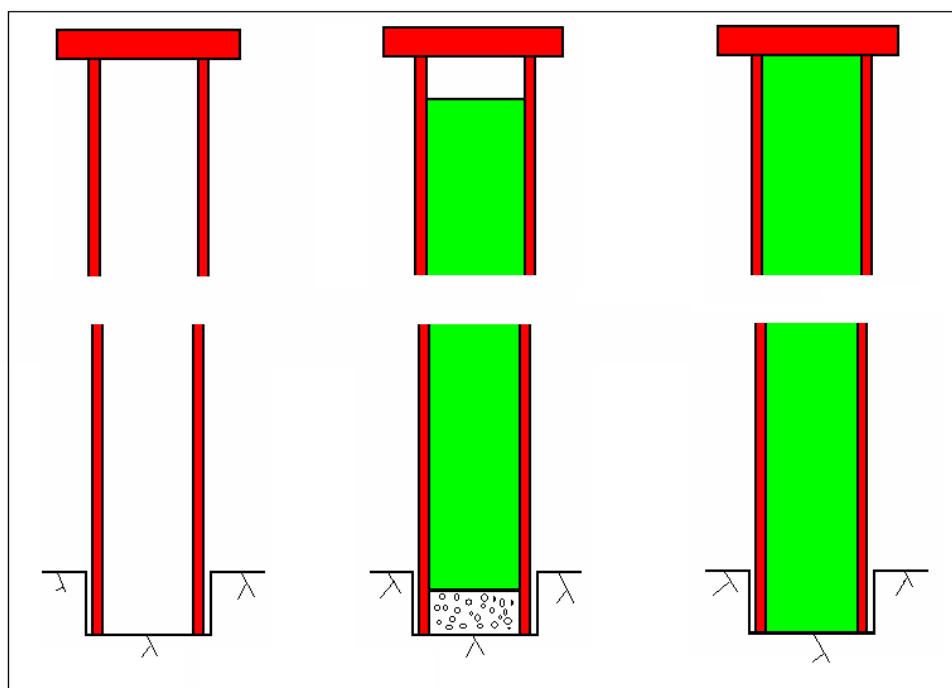
Tre olika situationer kan särskiljas, se Figur 12:

- ingen betong finns i röret, röret har full kontakt med bergytan
- mellan betongen och bergytan finns en "kudde" av jord och borrhax
- både betongen och röret har full kontakt med bergytan

I det första fallet, pålen längst till vänster i figuren, är det uppenbart att lasten förs över enbart från röret till bergytan. I de fall både

betongen och röret står i direkt kontakt med berget, situationen längst till höger i figuren, kommer både rör och betong att delta i kraftöverföringen från påle till berg, under förutsättning att lasten vid påltoppen förs in i pålen så att inte enbart röret belastas.

Om en "kudde" finns kvar under betongen, (pålen i mitten i Figur 12), uppkommer ett mellanting mellan dessa två gränslägen. Vilken kraft som förs över från betongfyllning till berg beror av tjockleken och egenskaperna hos det inlagrade jordmaterialet mellan berg- och betongytan. Eftersom kvarvarande jord och borrhax kan beräknas vara betydligt mjukare än betongen är det för denna situation



Figur 12.
Kraftöverföringen vid pålspetsen beror av kontakten mellan betong och berg.

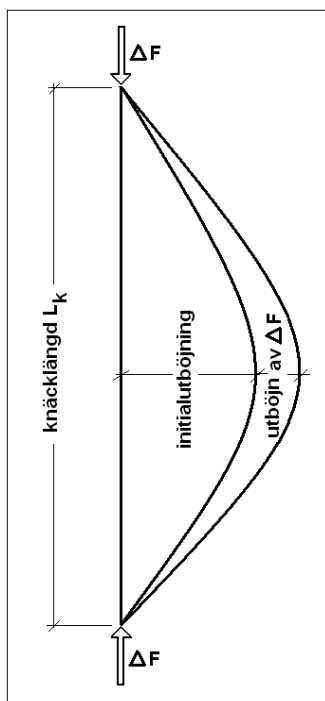
motiverat att anta att hela pållasten ska föras över till berget genom stålröret, om inte det inlagrade materialets tjocklek är mycket liten.

Vid dimensioneringen väljs vilken av de två förutsättningarna beträffande överföringen vid spetsen av pålens last som ska förutsättas. Om betongen förutsätts ha full kontakt med bergytan krävs att man verifierar att bergytan är helt frilagd före betongfyllningen av pålröret. I annat fall ska antas att lastöverföringen mot berget sker i kontakten mellan rör och berg samt att både ut- och invändig korrosion måste förutsättas för röret närmast berget.

Dimensionering med hänsyn till sidoutböjning och knäckning

Slanka pålar måste undersökas för knäckning, särskilt pålar i lös lera. I ett flertal rapporter från Pålkommisionen har beräkningsmetoder redovisats (Rapport 23, 81, 84a, 96:1, 98 och 100).

Beräkningarna utgår från en sinusformad initial utböjning i ett plan, se Figur 13. Den initiala utböjningen antas ha uppkommit som en följd av installationen samt rörets tillverkning och existerar innan belastningen påförts påltoppen. Då pålen belastas uppkommer ett tillägg till denna utböjning. Genom att den förutsatta utböjningsformen motsvarar knäckningsfiguren för en sträva i elastisk omgivning med konstanta egenskaper förenklas beräkningarna. Utböjningen antas ske på en längd som motsvarar pålens knäcklängd L_k .



En påle kan inte installeras i matematiskt mening helt rakt. Dels finns en viss från tillverkningen av röret kvarstående krökning, dels medför installationen i marken viss krokighet. Rörets **krökningsradie** efter nedborrningen utgör en viktig förutsättning för dimensioneringen. Radien beräknas med utgångspunkt från storleken av den initiala geometriska utböjningen y_i ("initialutböjning" i Figur 13). Regler för pålars raket (krokighet) ges i denna rapport, Pålkommisionens Rapport 98 samt Pålkommisionens Rapport 96:1 (Lastkapacitet) samt för pelare i BSK och BBK. Man har där tillämpat enheten för raket/ krokighet ska vara **pilhöjd** ($\delta = L_k / xxx$).

Till den initiala geometriska utböjningen adderas en viss fiktiv krokighet för att ta hänsyn till egenspanningar (från tillverkningen kvarstående spänningar) i stålmaterialet. Den fiktiva utböjningen relateras till rörets egenspanningsgrupp. För de rör som används till borrade stålrörspålar, nämligen svetsade rör, rekommenderar Pålkommisionens Rapport 96:1 att den fiktiva initialutböjningen sätts till $0,0013L_k$, med hänvisning till Handboken BYGG K18:56. L_k är pålens knäcklängd. Beräkning av L_k redogörs för i avsnittet Dimensionering.

Varje nedborrat och stoppslaget rörs krökning kan mätas för att verifiera att den vid dimensioneringen förutsatta geometriska initialutböjningen inte överskrids. Denna mätning kan utföras med tolk, inklinometer eller annan metod. Genom att varje påles raket kan mätas så kan ett högt kapacitetsutnyttjande för stålmaterialet i rören uppnås. Kontroll med ficklampa (man sänker ned en tänd ficklampa med ljusskenet uppåt i röret och godtar pålens raket under förutsättning att ljuset från lampan kan observeras tills den når ned till pålspetsen) ger ingen för verifiering med beräkning användbar information om den initiala geometriska utböjningen.

Storleken av den geometriska krokighet som uppkommer vid installationen beror av flera faktorer:

- rördimension
- markförhållanden
- maskinutrustning
- borrhåll
- personalens kompetens
- övriga faktorer

Vid normala förhållanden kan värden av den storleksordning som anges i Tabell 1 förutsättas som normal undre gräns för krökningsradien i de fall centrisk borrhåll används. Vär-

Figur 13. Den antagna initialutböjningen för röret motsvarar en sinuskurva på längden L_k .

dena i tabellen avser den geometriska utböjningen R. Mindre krökningsradier kan uppkomma vid svår borrhning i mark med hinder, lutande berg och många rörskarvar. Vid mycket gynnsamma förhållanden kan större krökningsradier, dvs mindre geometriska initialutböjning y_i , uppnås. Det finns exempel på R strax under 1000 m, där borrhade pålar utförts med centrisk metod. I Finland räknas för borrhade pålar ofta med $R = 1000D_y$ upp till 2 500 D_y , där $D_y =$ ytterdiameter för pålröret.

Tabell 1.
Undre gränser för geometriska krökningsradien R vid normala förhållanden.

| Påle D_y mm | Krökningsradie i m | |
|------------------|--------------------|-------------------|
| | Lera | Friktionsmaterial |
| 60-90 | 100-150 | 70-100 |
| 90-140 | 150-200 | 100-150 |
| 140-200 | 175-225 | 125-175 |
| 200-400 | 250-350 | 200-250 |

Notera att initialutböjningen ska mätas på knäcklängden Lk, inte pålens totala längd, se Figur 13.

Sambandet mellan geometriska initialutböjning y_i och krökningsradie brukar beräknas med förutsättningen att utböjningskurvan är en cirkelbåge:

$$y_i = Lk^2 / (8 \cdot R) \quad (\text{"kordasatsen"})$$

Enligt praxis (BSK) godtas att den geometriska initialkrokigheten antas vara 0,0015Lk. Detta är ett schablonvärde, dvs någon uppmätning av utböjning föreskrivs inte. Värdet beaktar enligt BSK även oförutsedd excentricitet vid upplagen (BSK 6:231). För borrhade stålrörspålar görs uppmätning av den geometriska initialkrokigheten och det är därför motiverat att istället för BSK:s schablonvärde använda det uppmätta värdet. Den geometriska initialutböjningen 0,0015Lk motsvarar krökningsradien $R = 83,3 \cdot Lk$.

Ofta anges, som nämns ovan, den geometriska initialkrokigheten (y_i) som en andel av knäcklängden Lk, dvs

$$y_i = Lk / \text{konstant}$$

Pålkommisionens Rapport 96:1, anger exempelvis för oskarvade stålrörspålar att den minsta förutsatta initialkrokigheten $y_{i,min}$ ska sättas till schablonvärdet

$$y_{i,min} = Lk / 600$$

Krökningsradien R kan då uttryckas som en andel av knäckningslängden Lk. För exempelvis det ovan nämnda värdet enligt Pålkommis-

sionens Rapport 96:1, nämligen $K = 600$, blir motsvarande krökningsradie $R = Lk \cdot 600 / 8 = 75 \cdot Lk$.

Den beräknade knäcklängden Lk blir för rörpålar omgivna av lös lera i allmänhet av storleksordningen ca 2 m för borrhade stålrörspålar med liten diameter och upp till ca 5 m för pålar med stor diameter. Används schablonvärdet 75Lk för pålarna motsvarar det krökningsradierna 150 m respektive 375 m. Utförda uppmätningar visar att borrhade stålrörspålar brukar få krökningsradier som approximativt motsvarar dessa krökningsradier.

Det kan vara av intresse att studera vilken raket stålrören har när de levereras. Initialkrökningen för röret nedborrat i marken kan ju inte gärna bli mindre än den vid leverans. Enligt standarden EN10219, som tillverkare av rör till borrhade stålrörspålar följer, anges att avvikelserna från en generatris från ena röränden till den andra högst får uppgå till 0,2 % av rörlängden L. Med L avses den rörlängd som levereras. Används även här kordasatsen motsvarar värdet 0,2 % av krökningsradien

$$R = 62,5 \cdot L$$

Stålrörets krökningsradie blir således beroende av den levererade längden. För exempelvis ett 12 m långt levererat rör blir den garanterade avvikelserna högst $12000 \cdot 0,2 / 100 = 24$ mm, vilket motsvarar $R = 12 \cdot 62,5 = 750$ m. För kortare levererade längder blir krökningsradien mindre, t ex för $L = 4$ m får man $R = 62,5 \cdot 4 = 250$ m. Medan värdet 750 m är större än vad som brukar mätas upp så är 250 m ett mindre värde än det som enligt tabellen ovan brukar uppnås vid rördiametrar större än 140 mm.

För att undvika att onödigt stor geometriska initialkrokighet förutsätts i beräkningarna, är det därför lämpligt att i arbetshandlingarna föreskriva att alla rördelar som borrhade ned dessförinnan mäts upp med avseende på avvikelserna längs en generatris från den ena änden av röret till den andra. Det är viktigt att inte mindre toleransvärden än vad som normalt kan levereras föreskrivs.

Pålen antas spänningslös och likaså antas spänningen mellan jorden och omgivande jord lika med noll efter det att initialutböjningen utbildats i marken. Detta motiveras närmare i Rapport 81, avsnitt 3.2.1. Om ändå det mot krökningsradien svarande böjmomentet M ska beräknas, kan detta göras med uttrycket

$M = EI/R$, där EI = stålrörets böjstyvhets

För slagna stålplålar vilkas raket inte kontrolleras, gäller regeln i allmänhet $Lk/200$ för skarvade plålar och $Lk/300$ för oskarvade plålar. Som jämförelse kan nämnas att för betongplålar räknas med krokigheter $Lk/150$ (skarvade) och $Lk/300$ (oskarvade).

I Tabell 2 visas förslag till antagen initial krokighet R (meter) och knäcklängd Lk för några vanliga dimensioner för stålörspålar. Det föreslås att man för borrade plålar ska räkna med krokigheter $Lk/400$ i lera och $Lk/300$ i friktionsjord. Beräkningarna ovan är utförda utan avrostning på pålen. Görs beräkningar med 2 mm avrostning + betongfyllning C30/37 fås i stort samma knäcklängder som de här redovisade i Tabell 2.

Notera att Lk i BSK avser pelare i luft, varför en direkt jämförelse med knäcklängden Lk för en påle (pelare) i lera inte är rättvisande.

Sammanfattningsvis kan överdrivet stora geometriska initialutböjningar bli resultatet om schablonvärden antas för borrade stålörspålar. Istället bör ett för aktuella förhållanden anpassat värde för krökningsradien användas vid beräkning av den geometriska initialkrokigheten y_i . För att inte riskera att rör redan vid leveransen har för stor krökning, ska uppmätning alltid göras innan rördelen monteras för nedborrning. För RD-pålen är toleransen

avseende initial utböjning y_i vid tillverkning ungefär lika med (levererad längd)/ 800.

Inverkan av pålens inspänningsförhållanden vid ändarna

Det kan nämnas att rekommendationer och metoder som anges i nämnda rapporter från Pålkommisionen, bl a förutsätter att pålen är ledat-styrd infästad vid toppen och spetsen. I de fall andra randvillkor förekommer, t ex fri eller inspänd ände, så blir den beräkningsmässiga knäcklasten mindre eller större än vad som motsvarar ledad infästning.

Om pålen står fri en sträcka över inbäddning i jord minskar det knäcklasten jämfört med värdet som motsvarar jord längs hela pålen. I rapporterna från Pålkommisionen förutsätts stöd av jorden för hela pålen, varför det är viktigt att verifiera att fri längd inte förekommer när resultaten redovisade i rapporterna används.

En redovisning av inverkan av sådana ”avvikande” förhållanden tas inte med i denna rapport. För beräkning av inverkan av olika randvillkor hänvisas istället till Granholm (1929) och Hetény (1943). En sammanställning av uttryck för beräkning av knäcklaster redovisas i Wang m fl (2005). Den beräkningsmässiga grunden till gällande beräkningspraxis, rekommenderad av Pålkommisionen, visas av Bernander & Svensk (1970).

| Påle Dy*t (mm) | cud kPa | Lk m | Beräkning av radie för olika Lk/xxx, meter | | | |
|-------------------|------------|---------|---|-------------------------------|---------------------------|--------|
| | | | Lk/200 ingen kontroll enl. Pålkomm R 98 | Lk/300 Förslag friktion | Lk/400 Förslag lera | Lk/600 |
| 88,9*6,3 | 10 | 2,54 | 64 | 95 | 127 | 191 |
| | 40 | 1,80 | 45 | 67 | 90 | 135 |
| 139,7*10 | 10 | 4,0 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| | 40 | 2,83 | 71 | 106 | 141 | 212 |
| 168,3*10 | 10 | 4,64 | 116 | 174 | 232 | 348 |
| | 40 | 3,28 | 82 | 123 | 164 | 246 |
| 219*12,5 | 10 | 5,99 | 150 | 225 | 300 | 450 |
| | 40 | 4,24 | 106 | 159 | 212 | 318 |
| 273*12,5 | 10 | 7,13 | 178 | 267 | 356 | 535 |
| | 40 | 5,04 | 126 | 189 | 252 | 378 |
| 323*12,5 | 10 | 8,13 | 203 | 305 | 407 | 610 |
| | 40 | 5,75 | 144 | 216 | 287 | 431 |

Tabell 2.
Förslag till antagen initial geometrisk krokighet för några vanliga dimensioner för stålörspålar.

3.4 BESTÄNDIGHET

Regler

Stålröret utsätts under pålens livslängd för **korrosion**. Storleken av denna kan variera mellan ca 1 mm till i extrema fall mer än 10 mm, beroende på förhållandena vid rörets mantelyta och förutsatt livslängd. I de fall röret inte fyllts med betong brukar antas även invändig korrosion, även om mycket talar för att tillgänglig mängd syre inne i ett borrhör inte medger uppkomst av nämndvärd korrosion. I de flesta fall ökas rörets godstjocklek med den beräknade avrostningen, se rostmånsdimensionering.

Där stålrörspålen står exponerad mot jord, vatten eller luft och korrosionen beräknas bli kraftig, exempelvis nära en sjöbotten eller en vattenyta, är istället kringgjutning av pålen ofta ekonomisk, se Figur 14.

För de flesta jordförhållanden och stålsorter är korrosionshastigheten förhållandevis låg på stålytor hos pålar i jord. Det finns dock miljöer som leder till hög korrosionshastighet. Sådana miljöer kan till exempel uppstå

- i gytta
- i sulfid- eller svavelhaltig jord
- i industriområden
- i genomsläpplig jord (sprängsten)
- i jord med elektriska strömmar (läckströmmar)

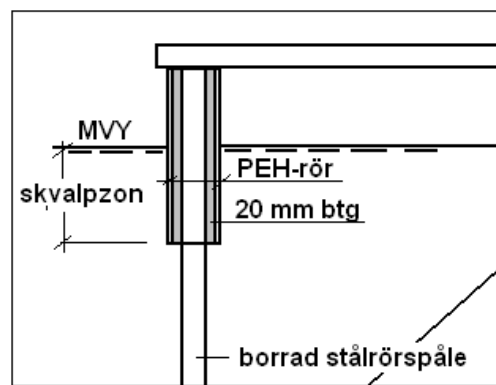
Korrosionsskydd av pålar kan utgöras av

- kringgjutning betong,
- extra godstjocklek (rostmån)
- målning
- plastbeläggning
- katodiskt skydd

Vid dimensionering av korrosionsskydd måste hänsyn tas till risk för repning eller annan påverkan från installation. Om borrhörade stålrörspålar inte fylls med betong måste invändig korrosion förutsättas.

Borrhörade stålrörspålar i marin miljö är speciellt utsatta och måste skyddas mot korrosion och isnötning med speciella åtgärder, till exempel kringgjutning och omslutande iskydd (Pålkommisionen Rapport 93).

Eurokod 3 för stål omfattar regler för dimensionering med hänsyn till korrosion. Eurokod 3 anvisar i en nationell bilaga (NA) dimensioneringsanvisningar för Sverige. Vägledning för dimensionering med hänsyn till korrosion kan hämtas från Pålkommisionen Rapport 93 och VTT (Jouko Törnqvist). I FRA



(2003) ges dimensioneringsanvisningar för pålar som omges av betong och för pålar med stålyta exponerad mot jord. En studie av stålpålars korrosionsskydd och deras reptålighet finns redovisad av Bergdahl och Tränl (2005).

Krav på korrosionsskydd av täckande betongskikt finns ställda i Bronormer och i BBK. För broar ska normalt livslängden 120 år förutsättas, vilket med det i Pålkommisionens Rapport 98 för normala förhållanden rekommenderade 100-årsvärdet för avrostningen 2,0 mm innebär korrosionstillägget $2,0 \cdot 120 / 100 = 2,4$ mm. Se även Pålkommisionens Rapport 105.

Rostmån

Rostmån är det vanligaste, och i de flesta fall, mest ekonomiska sättet att beakta korrosion.

För konstruktioner exponerade för luft eller vatten kan korrosionshastigheten bli betydligt snabbare, se exempelvis Pålkommisionen Rapport 93, 98 och 105.

Betongfyllning

Betongfyllning i kontakt med stålrörets insida förhindrar invändiga korrosionsangrepp på en stålrörspåle i och med att ytan blir passiverad genom betongens basiska kontakt med stålet. I allmänhet har betongfyllning även andra funktioner, i första hand ökning av bärförmågan samt minskning av risken för lokal buckling.

Korrosionsskyddande beläggningar

Målning, epoxi och liknande ytskikt som syftar till att minska korrosionshastigheten är av tveksamt värde för pålar. Skador i form av repor uppkomma vid neddrivningen av pålarna kan enligt vissa undersökningar t o m leda till snabbare korrosionsangrepp än för obehandlade stålytor. Fenomenet benämns spaltkorrosion. Många typer av ytskikt syftande till rostskydd är mycket kostsamma .

Figur 14.
Kringgjutning och betongfyllning av borrhörad stålrörspåle för kajkonstruktion.

Katodiskt skydd

Korrosion är en elektrokemisk process i vilken anod och katod spelar en roll. Genom att göra stålörspålen till katod och koppla en stålstång som får frätas upp till anod ("offeranod") kommer rörspålen teoretiskt inte att korrodera alls. I verkligheten finns dock betydande problem att styra strömmarna genom marken till rätt objekt om andra anodkandidater finns i närheten (t ex vattenledningar), och den i och med strömmen och jonvandringen initierade vattenströmningen (s k elektrofores) kan leda till konsolidering och sättning hos marklagren. Vidare innebär till likström kopplade stålelement en viss säkerhetsrisk. Metoden används sällan i urbana miljöer och även sparsamt på andra håll.

Marin miljö, issskydd

Den snabbaste korrosionen för stålörspålar uppkommer för kajpålar. Där kan korrosionshastigheten uppgå till så mycket som 30 mm/100 år, eller t o m ännu högre värden. För att förhindra detta brukar pålarna gjutas in ned till ca 1 m vattendjup under nivån motsvarande medelvatten. Sådan ingjutning medför emellertid besvärlig formsättning.

3.5 STÅLMATERIAL I RÖR

Rören som används för borrade stålörspålar består i de allra flesta fall av **längs-** eller **spiral**svetsade rör. Utgångsmaterialet är varmvalsad plåt. Längssvetsade rör tillverkas upp till ca 323 mm diameter och 12,5 mm godstjocklek. Rör med större diameter tillverkas spiralsvetsade.

Hållfastheten för materialet brukar variera mellan 275 till 460 MPa, dock har högre värden ibland utnyttjats. Det finns även rör som tillverkats på annat sätt än genom svetsning, s k sömlösa rör, men sådana används inte som borrade stålörspålar, främst beroende på ett högt pris.

Eftersom röret i en borrade stålörspåle utgör en bärande konstruktionsdel, så ställs vid vissa

konstruktioner, främst broar, samma krav på stålmaterial i rören som för övrigt stål hos objektet. Eftersom regler och normer ganska ofta ändras är det vid konstruktionsarbetet viktigt att kontrollera att aktuella föreskrivna egenskaper föreskrivs och kan tillhandahållas till rimliga villkor och inom förutsatta tidsramar.

I skrivande stund gäller för konstruktionsrör standarder SS-EN 10210 och SS-EN 10219. Vid dimensioneringsarbetet är det givetvis viktigt att klarlägga vilken standard som gäller. Notera att tillverkare, t ex Ruukki, i många fall tillhandahåller stålsorter som inte helt följer de standarder som för tillfället gäller. Detta kan leda till att lägre hållfasthet än den som tillverkaren anger måste förutsättas, s k "nedklassning". Användning av icke standardiserat stål kan medföra krav på omfattande provningar.

Stålmaterial och infästning av borrhonor

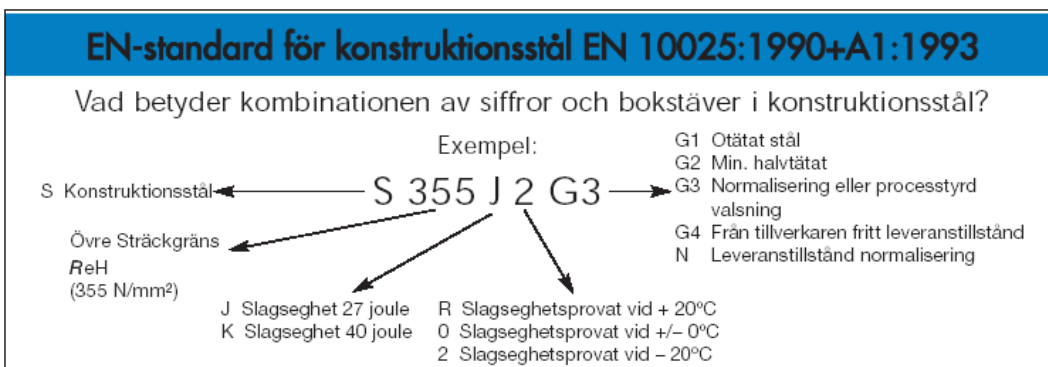
Borning med symmetrisk metod och fastsvetsad, kvarlämnad ringborrkrona utgör en vanlig spetsutformning för borrhonor. Det är därför av intresse vilka egenskaper stålet har i den på röret svetsade slagskon och ringborrkronan som omger nedre delen av slagskon, se Figur 16.

Notera att slagkraften från sänkborrhammaren överförs till röret från den till underkanten svetsade slagskon. Det är därför viktigt att svetsen där kan klara uppkommande krafter. Olika utformningar av anslutningen för slagskon och ringborrkrona visas i Figur 16.

Som framgår av figuren består svetsanslutningen av en svets runt om röränden, kompletterad med svets i slitsar eller hål i foderröret.

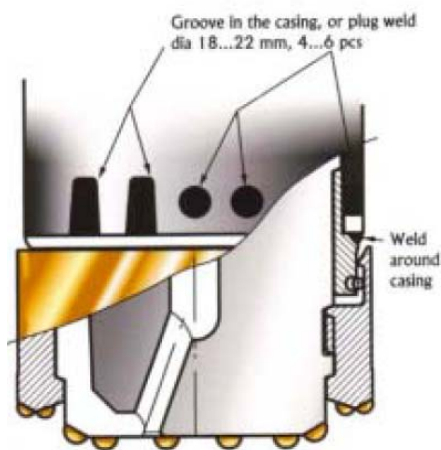
Den kraft som kan överföras beror av

- rörets impedans $Z = EA/c$
- sänkborrhammarens utformning (främst kolvens impedans)
- kolvens anslagshastighet



Figur 15. Beteckningar för konstruktionsstål enligt den äldre standarden EN 10025:1990+A1:1993. (Bröderna Edstrand). I senare standard har uppgiften om tätning (G1 – G4) utgått.

Figur 16.
Svetsanslutning av
slagsko till rörspets
(Atlas Copco AB).



- rörets längd (slagpulser reflekteras mot rörändar)
- spetsunderlagets motstånd

I allmänhet utförs endast svetsen runt om vid änden av röret, se Figur 17. Borraren måste då använda borrarutrustningen så att slagkraften mot slagskon inte blir för stor, särskilt när spetsmotståndet är lågt, för att inte överbelasta svetsen. Om slagskon slås loss kan förutom slagsko och ringborrkrona även den s k piloten, se Figur 17, förloras. Att dra upp ett rör där skon slagits loss är förknippat med betydande svårigheter, i många fall omöjligt.

Rotex och Robit, som producerar borrarutrustning för symmetrisk borrar, uppger att materialet i de ringborrkronor som man tillverkar, är härdat. Stålet i slagskon kan också vara härdat. Härdningen kan omfatta upprepad uppvärmning och nedkylning. Utgångsmaterialet för kronor och skor är sömlösa rör. Olika stålsorter används för olika dimensioner. Detaljer

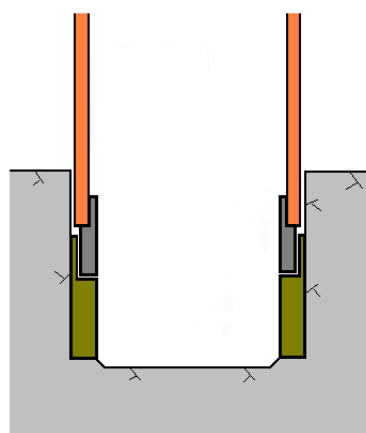
na för tillverkningen är ”tillverkningshemligheter”.

Det erbjuder därför svårigheter att få fram uppgifter om alla egenskaperna hos kronor och skor. Man kan förmoda att härdningen av delarna medför att de inte uppfyller krav avseende slagseghet och andra egenskaper som krävs i normer och föreskrifter för stål som ingår i belastade konstruktioner.

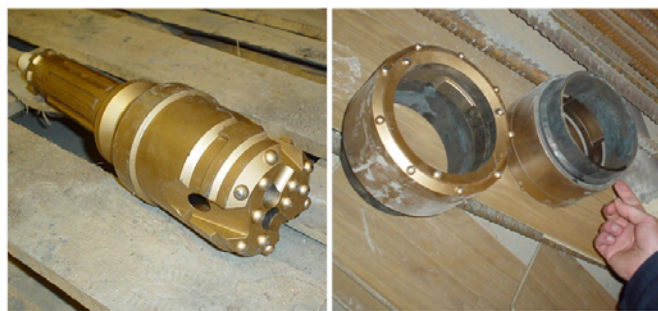
Situationen liknar den för bergskor för konventionella betongpålar. Spetsen av en sådan bergsko består av en dubb av härdat stål. Avsikten med härdningen är att dubben ska hålla för inmejsling i berg. Genom provning och erfarenhetsåterföring har tillverkare av bergskor till betongpålar skaffat sig kunskap om hur dubbarna ska tillverkas för att fungera under den omilda behandling stoppslagning utgör. Det är uppenbart att många krav för belastat stål i bro- och anläggningskonstruktioner inte uppfylls för dessa bergdubbar, vilket dock inte hindrar att grundläggning på betongpålar med bergsko rutinmässigt används för broar.

Ett argument kan vara att det härdade, ”icke normenliga” stålet i en bergdubb eller ringborrkrona inte är sämre än bergmaterialet stålet vilar på. Bergunderlaget har en tryckhållfasthet som är betydligt lägre än det härdade stålmaterialets, och definitivt lägre draghållfasthet och högre sprödhet.

Hållfastheten för utgångsmaterialet för slagskon och ringborrkronan är minst 355 MPa. I analogi med vad som gäller för bergdubbar för betongpålar är det därför befogat att betrakta den kvarlämnade slagskon och ringborrkronan



Drilled pile walls - equipment



Pilot (återvinns)

Ringborrkrona (kvarlämnas)

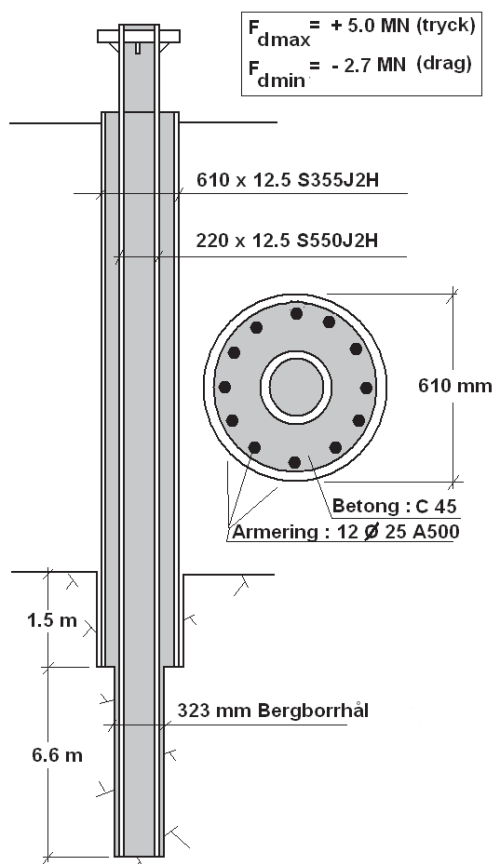
Figur 17.

Efter avslutad borrar med symmetrisk borrar metod vilar röret på ringborrkronan, se figuren till vänster. Handen i figuren till höger pekar på slagskon, som svetsas på röret. Ringborrkronan och slagskon kvarlämnas, medan "piloten" återvinns (system SYMMETRIX, Atlas Copco AB).

enbart som ”mellanlägg” mellan rör och berg, utan att här ställa fullständiga normenliga krav, exempelvis svetsbarhet och slagseghet.

Dragförankrade pålar

Borrade rörpålar utförs i de flesta fall för att ta upp trycklast. Genom att gjuta in ett stag, eller ett inre rör, som förankras i berget under rörspetsen kan dock även **dragkrafter** tas upp med borrade stålrörspålar. Ett exempel på en sådan påle återges i Figur 18, som visar dragförankring av borrade stålrörspålar för ett vindkraftverk i Finland.



Det dimensionerande värdet för dragkapaciteten för pålen i Figur 18 var 2,65 MN, medan motsvarande värde för tryckkapaciteten var 5,0 MN. Att använda ett rör som dragförankring, dvs en ”passiv” förankring, är fördelaktigt jämfört med att använda förspända bergförankringar, eftersom den senare lösningen genererar en tryckkraft som ska adderas till trycklasten som belastar pålen.

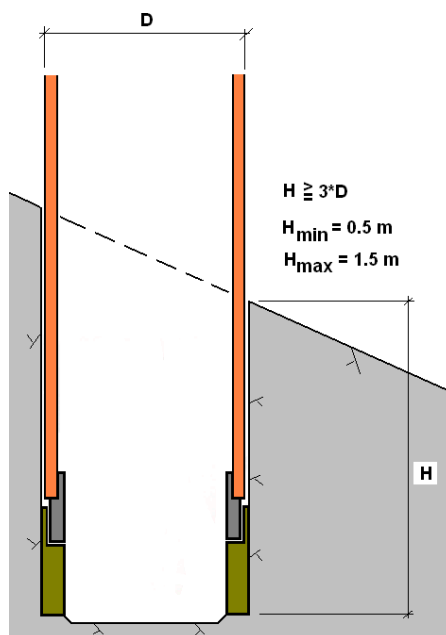
Borrdjup i berg

När borrkronan når bergytan är ytan hos berget givetvis endast i undantagsfall plan och vinkelrät mot rörets längdriktning. Därför måste borrningen fortsättas ett stycke för att säkerställa att hela spetsytan hos den borrade stålrörspålen kommer i kontakt med berg, se Figur 19. Borrningen brukar därutöver föreskrivas fortsätta en sträcka, dels för att penetrera ytberg, som erfarenhetsmässigt kan uppvisa lokal sprickighet, dels för att öka spetsbärförmågan.

Finska normer anger att borrningen ska utföras till minst 0,5 m för lättare belastade borrade stålrörspålar och till 1,5 m för högbelastade pålar. Inom detta intervall brukar djupet H i Figur 19 väljas till $3 \cdot D$, där D = rörets ytterdiameter. Djupare borrning ökar inte pålspetsens bärförmåga vid horisontell, eller approximativt horisontell, bergyta.

Pålspetsen representerar ett koncentrerat kraftangrepp i bergmassan. Det är självfallet viktigt att spetsen inte placeras inom eller för nära ett svagt parti i berget, inte heller nära en brant lutande slänt. Bärförmågan hos den lokala bergvolymen närmast under pålspetsen kan verifieras med hjälp av stötvågsmätning eller statisk provbelastning.

Den geotekniska undersökningen ska vara tillräckligt detaljerad för att tvära stup i bergytan ska kunna undvikas. Finns misstanke om att mycket branta berglutningar förekommer, så ska kompletterande bestämmningar av bergytans lägen utföras närmast pålen. I vissa fall kan det också vara lämpligt att inborringsdjupet ökas utöver ovan rekommenderade värden.



Figur 18. Dragförankring av borrade stålrörspålar.

Figur 19. Borrdjup (H) i berg vid olika rördiameter (D).

4. Utförande

4.1 BORRMETODER

Excentrisk borrhning

Om borrhningen utförs med **excentrisk** metod, exempelvis ODEX eller TUBEX, tas borrhkronan upp efter det att borrhningen nått avsett djup, se Figur 20. Vid rörspetsen svetsas innan borrhningen startar, en sk borrhsko, vars uppgift är att överföra borrhhammarens stötkraft till röret. Beroende på att borrhkronan för sådana metoder rymmer upp ett hål under röret, måste röret drivas ned till kontakt med berg efter det att borrhkronan tagits upp. Vid excentrisk borrhmetod är den maximala godstjockleken 5 mm till 6 mm, med den utrustning som brukar användas. Ett motiv till att använda centrisk borrhmetod kan därför vara att större godstjocklek för rören än 5 à 6 mm ska installeras.

För att inte stålröret ska bli stående på en ”hylla”, se Figur 20, ska urgröpningen som borrhkronans främsta del borrar ut alltid fyllas med betong, även om inte röret i övrigt betongfylls.

Centrisk borrhning

Utförs istället borrhningen med **centrisk** metod, t ex SYMMETRIX, kvarlämnas borrhkronan under rörspetsen. Denna ringborrkrona svetsas fast på rörändan vid pålspetsen innan borrhningen påbörjas. Stålröret vilar då på borrhkronan som är i kontakt med framborrad bergbotten, se Figur 21.

I allmänhet kan centrisk borrhmetod beräknas ge rakare borrhål och medföra bättre penetrationsförmåga än excentrisk metod.

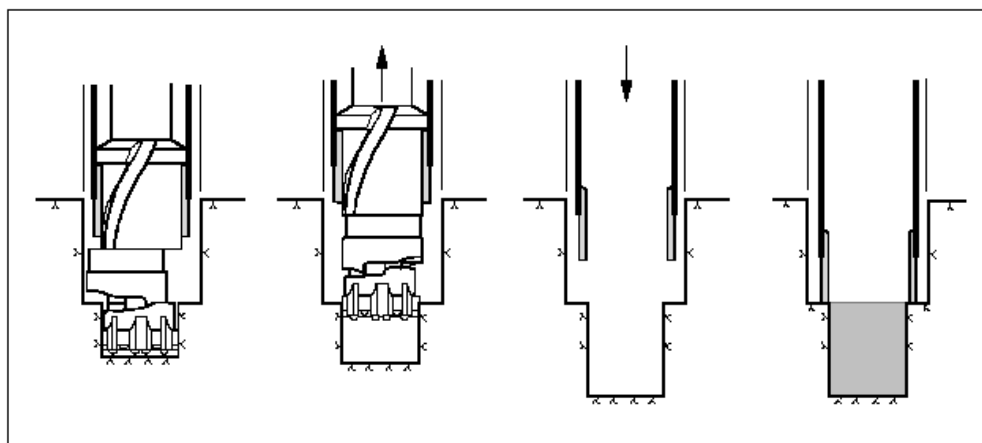
Sänkborrhhammare

En sänkborrhhammare arbetar vid rörspetsen nere i röret. Fördelar med detta är bra effektivitet, dämpning av slagljud och stort urval av dimensioner. Hammaren genererar via borrhskon i röret dragstöt vågor som ger röret en nedåtgående rörelse.

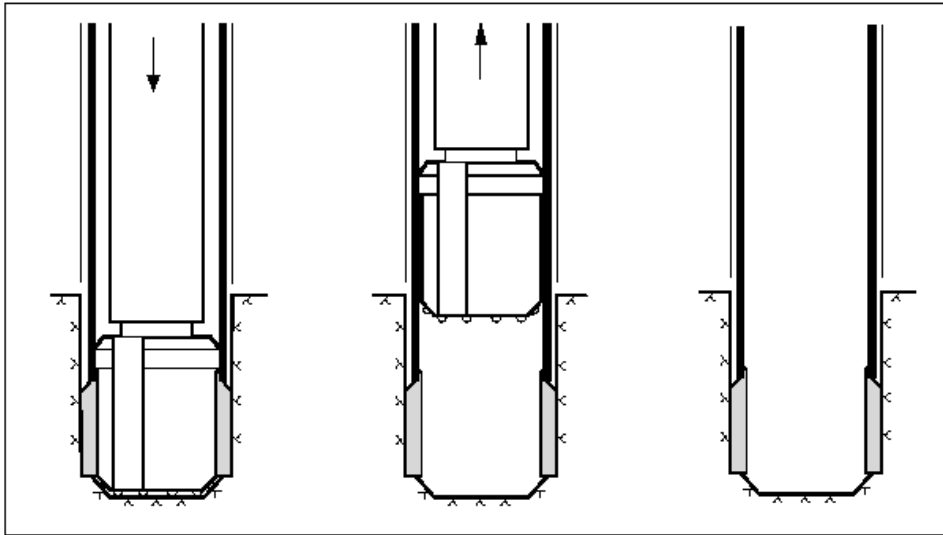
En nackdel är att uppspolning av betydligt större jordvolym än den som motsvarar rörvolymen kan uppkomma i finkornig jord under grundvattenytan. Detta beror på att hammarens drivluft släpps ut i röret vid rörspetsen så att en ”mammutpumpeffekt” uppkommer då luften rör sig uppåt genom vattnet i röret. Modifierade hammare t ex av typ RC (Reversed Circulation), syftar till att eliminera detta problem. Ett annat sätt att undvika den evakuerade drivluftens negativa inverknings är att använda vatten som drivmedium för sänkborrhhammaren. Sänkborrh av typ Wassara utnyttjar vatten istället för luft.

Toppammare

Med toppammare undviks ovan nämnda risk för alltför stor uppspolning, men de tryckstötta hammaren genererar dämpas på vägen ned mot rörspetsen där de ska mobilisera så stor



Figur 20.
Borrhning med excentrisk metod (ODEX, ATLAS COPCO AB)



Figur 21.
Borring med centrisk
metod (Atlas Copco
AB-ROTEX OY, SYM-
METRIX, ROBBIT)

spetskraft att röret ges en nedåtgående rörelse. Användningen av topphammare är därför begränsad till borrade stålrörspålar av mindre längd och diameter. Topphammare brukar inte användas till större dimensioner än 168 mm och knappast till större djup än högst ca 10 till 15 m, för små bormaskiner (typ "källarmus") som används i källare och trånga utrymmen. Där tillräckligt stora maskiner kan användas har topphammare använts vid djup till berg av ca 30 m.

Ett annat problem med topphammare är att det slagningsrelaterade bullret genereras i nivå med bormaskinen, d v s den typ av dämpning som erhålls för en sänkborrhammare uppnås inte.

4.2 RÖRSKARVNING

Skarvning av beskrivs under avsnitt projektering.

4.3 BETONG

I de flesta fall är pålröret till stor del fyllt av grundvatten då gjutningen startar. Gjutning ska utföras genom slang som mynnar vid stålrörets botten under hela gjutningen, tills ren betongmassa strömmar ut vid röröverkanten. Slangen lyfts då långsamt under fortsatt pumpning tills hela slangen lyfts upp.

Gjutningen är en gjutning i vatten och det är känt att den frostbeständighet som krävs för miljömässigt utsatta konstruktioner av betong inte tillgodoses för gjutning i vatten. I de flesta fall påverkas emellertid inte pålar av frysing/upptining. I de fall gjutning i vatten inte kan godtas inne i pålröret kan speciella åtgärder vidtas så att gjutningen kan göras i torrhet,

t ex genom gjutning av en tät bottenpropp. Lyftkraften hos det länsade röret ska då beaktas.

Hållfastheten för den betong som brukar användas för rörpålar ligger normalt inom hållfasthetsområdet C30/37 till C45/55 MPa.

4.4 PÅLKAPNING

Kapningen av pålarna ska i allmänhet göras vinkelrät mot pålaxeln. I det fall en platta ska monteras på påltoppen ska kapytan bearbetas till erforderlig planhet.

4.5 TOPP-PLATTA

Vid montering av en tryckplatta på pålen är det i allmänhet svårt att kunna svetsa plattan till pålen med bibehållande av en godtagbar arbetsställning. Istället kan plattan förses med en flänsring som motsvarar pålrörets innerdiameter. Flänsen kan efter montage av plattan låsas genom svetsning inom två hål i pålröret.

Där pålen är utsatt för dragkrafter krävs särskilda övergångselement för att föra över dragkrafter från överbyggnadskonstruktionen till pålen. Även här gäller det att tänka igenom möjligheterna att på arbetsplatsen utföra arbeten med godtagbar kvalitet.

5. Kontroll

För **verifieringen** av den geotekniska bärförmågan, d v s pålens spetsmotstånd, gäller för denna påltyp vissa speciella förutsättningar. Bärförmågan för stålröret ensamt, och i vissa fall även för en betongfylld borrarad stålrörspåle, kan undersökas med konventionell stötvågsmätning, vanligen av typ CASE. Kontakttrycket mellan stål och berg blir högt under mätningen. Stålmaterialets hållfasthet utgör normalt en begränsande faktor, snarare än bergets hållfasthet. Som alternativ till stötvågsmätning kan statisk provbelastning utföras, men då ökar kostnaden väsentligt för verifieringen av den borrarade pålens kapacitet.

Slagning på röret ska alltid utföras efter avslutad borrarad, dels för att säkerställa att rörspetsen penetrerar löst material som kan finnas mellan påle och berg efter avslutad borrarad, dels för att kontrollera att berget under röret kan anses ha tillräcklig bärförmåga.

För ett pålningsprojekt ska omfattningen av grundkontroll och den för objektet särskilda tilläggskontrollen vara klarlagd innan arbetets utförande planläggs och kommer igång. Omfattningen anges lämpligen i en Geoteknisk Byggnadsbeskrivning (TbGeo), som ska finnas med i förfrågningsunderlaget för projektet.

5.1 GRUNDKONTROLL

Nödvändiga punkter för grundkontrollen är:

- kontrollkrav enligt BSK (Bestämmelser för stålkonstruktioner)
- vid brokonstruktioner, kontrollkrav enligt bronormer

5.2 TILLÄGGSKONTROLL

En separat kontrollplan för tilläggskontroll alltid ska upprättas. För den projektspecifika tilläggskontrollen ska följande punkter finnas med:

- Kontroll av svetsning, omfattning enligt BSK. Specifierade tilläggskrav finns där till för brokonstruktioner.
- Föreskrifter om provbelastning
- Utökad kontroll av berglägen och bergkvalitet.

5.3 ARBETSPLAN (ARBETSBEREDNING)

Innan arbetet med borrarad påbörjas ska pålentreprenören upprätta en arbetsplan som i detalj motiverar och beskriver de moment han avser att utföra. Arbetsplanen ska också redovisa vilka åtgärder som planeras vidtagna i det fall ändringar i förutsatta förfaranden krävs. Beställarens krav beträffande arbetena ska återges i planen. Arbetsplanen ska normalt överlämnas till beställaren för godkännande innan arbetena startar. Notera att sådant godkännande normalt dock inte innebär något ökat ansvar för beställaren.

5.4 KVALITETSPLAN

En kvalitetsplan ska upprättas i enlighet med det kvalitetssäkringssystem som entreprenören tillämpar, vanligtvis ISO 9001.

5.5 PERSONAL

Den personal som utför borrarad och andra aktiviteter för produktionen ska ha dokumenterad kompetens att utföra arbetena. För svetsningsarbetet krävs i många fall licentierade svetsare.

5.6 DOKUMENTATION AV ARBESFÖRLOPPET

Arbetet ska dokumenteras i sådan omfattning att det kan verifieras att utförandet uppfyllt ställda specifikationer. Uppkomna avvikelser ska hanteras på det sätt som redovisats i arbetsplanen och uppfylla entreprenadkontraktets villkor.

5.7 VERIFIERING AV BÄRFÖRMÅGA Geoteknisk bärförmåga

För en spetsburen stålrörspåle nedborrad till berg utgör givetvis bergmassans bärförmåga med avseende på den koncentrerade belastning pålspetsen utövar på underlaget den geotekniska bärförmågan.

Förundersökningarna ska ge besked om i vilken utsträckning man kan vänta sig lutande berg, och svaghetszoner.

Vid kontroll av en pålens geotekniska bärförmåga ska verifieringen omfatta:

- a) Pålspetsen ska ha full kontakt mot berg. Verifieringen görs med kontrollslagning med lätt hejare för att säkerställa att det inte finns borrhax under borrhkronan. Krav på denna hejare är att denna ska ha en hejarvikt minst lika med pålens vikt per meter. Det ska nämnas att de hammare som man brukar använda för borrhningsarbetet i allmänhet är alltför lätta för att säkerställa att pålen får full kontakt mot underliggande berg.

Som exempel kan nämnas grundförstärkning i ett projekt i centrala Stockholm. Där borrades 108 stålrörspålar RD 170 · 10 till 220 · 12,5 med vattendriven borrhmaskin. Samtliga borrhspålar sjönk 20 – 40 mm vid kontrollslagning med Furukawa HB 5G. Pålarna kunde inte heller spolas helt rena från borrhax, utan hade normalt 0,2 – 0,5 m sådant material på framborrad bergbotten. Stötvågsmätning utfördes på 25 % och raketmätning med inklinometer utfördes på 15 % av pålarna.

- b) Verifiering av geoteknisk bärförmåga hos berget med tung hejare och stötvågsmätning. Detta ska göras enligt kontrollklasserna i Pålkommisionen Rapport 98 GK 2A ; 2B samt GK 2C med partialkoefficienter motsvarande berg, alternativt provas med statisk provbelastning.

För borrade stålrörspålar med mindre diameter, 115 till 220 mm, kan den geotekniska bärförmågan vid pålspetsen verifieras med stötvågsmätning till last som motsvarar pålens lastkapacitet utan att de är ”förstärkta” med betongfyllning vid stötvågsmätningen. För grövre borrade stålrörspålar, exempelvis 406 · 12,5 eller 610 · 14,2 mm, krävs betongfyllning för att stötvågskontroll ska kunna nyttjas fullt ut.

Tabell 3 redovisar enligt Pålkommisionen Rapport 98 (som gäller för slagna slanka stålpålar) max tillåten last på en borrade stålrörspåle efter verifiering av geoteknisk bärförmåga med kontrollslagning och stötvågskontroll för 10 % eller 25 % av pålarna. I tabellen redovisas även beräkning av lastkapaciteten för betongfyllda pålar för olika värden på den omgivande jordens odränerade skjuvhållfasthet c_{ud} (dimensionerande värde) och initialkrokigheten uttryckt som $\delta = Lk/xxx$.

Lastkapacitet

Pålens lastkapacitet för slagning beräknas med uttrycket:

$$R_{d,s} = \text{stål} = f_{yk} / (1/A_s + e/(W \cdot \eta))$$
$$R_{d,b} = \text{betong} = 0,8 \cdot f_{ck} \cdot A_{bet.}, \text{ Enligt TC 288}$$

Med excentricitet $e = D_y/20$ fås $R_{d,\text{stål}}$
 $\approx 0,85 - 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_{\text{stål}}$
Betongen antas vara C 30/37 med $f_{ck} = 28,5$ MPa.

För val av faktorn μ_c hänvisas till Pålkommisionen Rapport 96:1. Val av värdet $\mu_c = 1,0$ kan motiveras av att pålarna borrar ned, vilket är en skonsammare metod för installationen än slagning.

Som framgår av tabellen fungerar stötvågskontroller för verifiering av geoteknisk bärförmåga även för borrade stålrörspålar. För de grövre pålarna krävs att pålarna betongfylls, annars klarar de inte de höga laster som man vill verifiera.

För borrade stålrörspålar krävs verifiering av bergets hållfasthet. Detta kan göras ur produktionssynpunkt bäst med stötvågsmätning.

Det har visat sig att borrharens bedömning huruvida det är bra berg vid förutsatt stoppnivå kan vara osäker. Vid flera objekt har rapporterats om hur borrade stålrörspålar, eller långa stålkärnor, vid kontrollslagning uppvisat mycket stor sjunkning (upp till 2m !), fastän borrhare bedömt stoppnivån som ”bra berg”.

Borrade stålrörspålar kommer att användas för stora laster, upp till 10 MN har förutsatts. Om, vilket är troligt, betongen medräknas som bärande, är det givetvis viktigt att man innan gjutningen noga kontrollerar att bergytan under betongen inte täcks av löst material. Detta kan göras med TV-sond och pejling av botten.

Stötvågsmätning av borrade stålrörspålar

Borrade pålar är rakare än slagna pålar. Detta medför att stötvågsmätning av borrade stålrörspålar ofta är enklare att utföra på borrade än på slagna stålrörspålar. Stor initialkrokighet medför nämligen att problem i form av stor fjädring kan uppkomma vid mätningen.

Vid provning av en betongfylld påle ska man se till att betong fyllts ända upp till toppen av pålen. Stötvågskraften ska dessutom fördelas ut över hela påltoppen med ett trä eller plastmellanlägg.

Avrostning 2,0 mm+ betong K 40; OBS Borrade pÅlar $\mu=1$.

| PÅltyp Borrade pÅle | Fstuk kN | Betongfylld Ac*0,8*f _{ck} kN | Max last mht stoppslagning enligt Pkr 98 | | | Rakhet Lk/xx | Dim. Lastkapacitet; $\mu=1,0$; SK 3 | | | | | Kommentar |
|---|-------------|---|---|---------------|---------------|------------------|---|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | | | GK 2A | GK 2B | GK 2C | | Borrade pÅlar | | | | | |
| | | | Stoppsl-regel | PDA 10% | PDA 25% | | Cud=3 | 5 kPa | 7 kPa | 10 kPa | 15 kPa | |
| RD 115/ 6.3 fyk= 440 MÅtning med K 40 betong | 7) | 7) | 0,3*1,1 1) | 0,4*1,1 2) | 0,5*1,1 3) | | Lastkapacitet fr betongfyllda pÅlar K 40 | | | | | |
| | 941 | | 311 | 414 | 518 | Lk/600 | 310 | 410 | 450 | 485 | 510 | 4) |
| | 1126 | 185 | 372 | 496 | 619 | Lk/300 Lk/200 | 270 245 | 355 325 | 405 370 | 435 400 | 465 430 | 5) 6) |
| RD 140/ 10 fyk= 440 MÅtning med K 40 betong | | | | | | Lk/600 | 540 | 720 | 860 | 950 | 1025 | |
| | 1793 | | 592 | 789 | 986 | Lk/300 | 470 | 630 | 755 | 840 | 930 | |
| | 2050 | 257 | 676 | 902 | 1127 | Lk/200 | 420 | 565 | 680 | 770 | 855 | |
| RD 170/ 10 fyk= 440 MÅtning med K 40 betong | | | | | | Lk/600 | 740 | 995 | 1140 | 1235 | 1320 | |
| | 2188 | | 722 | 963 | 1203 | Lk/300 | 645 | 870 | 1000 | 1115 | 1200 | |
| | 2582 | 394 | 852 | 1136 | 1420 | Lk/200 | 580 | 785 | 910 | 1020 | 1110 | |
| RD 170/ 12.5 fyk= 440 MÅtning med K 40 betong | | | | | | Lk/600 | 810 | 1080 | 1305 | 1460 | 1580 | |
| | 2692 | | 888 | 1184 | 1481 | Lk/300 | 700 | 945 | 1140 | 1300 | 1435 | |
| | 3060 | 368 | 1010 | 1346 | 1683 | Lk/200 | 625 | 850 | 1030 | 1185 | 1320 | |
| RD 220/ 10 fyk= 440 MÅtning med K 40 betong | | | | | | Lk/600 | 1165 | 1510 | 1665 | 1785 | 1890 | |
| | 2890 | | 954 | 1272 | 1590 | Lk/300 | 1020 | 1330 | 1495 | 1615 | 1720 | |
| | 3600 | 710 | 1188 | 1584 | 1980 | Lk/200 | 905 | 1210 | 1355 | 1480 | 1590 | |
| RD 220/ 12.5 fyk= 440 MÅtning med K 40 betong | | | | | | Lk/600 | 1270 | 1700 | 1950 | 2125 | 2270 | |
| | 3570 | | 1178 | 1571 | 1964 | Lk/300 | 1100 | 1490 | 1730 | 1910 | 2060 | |
| | 4245 | 675 | 1401 | 1868 | 2335 | Lk/200 | 980 | 1335 | 1555 | 1750 | 1905 | |
| RD 406/ 12.5 fyk= 355 MÅtning med K 40 betong | | | | | | Lk/600 | 3424 | 3894 | 4122 | 4327 | 4519 | |
| | 5486 | | 1810 | 2414 | 3017 | Lk/300 | 3006 | 3474 | 3699 | 3912 | 4122 | |
| | 8085 | 2599 | 2668 | 3558 | 4447 | Lk/200 | 2693 | 3150 | 3379 | 3590 | 3806 | |
| RD 610/ 14,2 fyk= 355 MÅtning med K 40 betong | | | | | | Lk/600 | 6811 | 7620 | 8041 | 8420 | 8776 | |
| | 9436 | | 3114 | 4152 | 5190 | Lk/300 | 5873 | 6787 | 7203 | 7600 | 7995 | |
| | 15564 | 6128 | 5136 | 6848 | 8560 | Lk/200 | 5430 | 6161 | 6569 | 6963 | 7371 | |

Tabell 3.
Max provlast med hÅn-syn till kontrollklass samt dim. lastkapacitet i brottgrÅnstillstÅnd (SK 3). Notera att beteckningen K40 fr betong motsvaras av hÅlfasthetsklass C 30/37 enligt senare regelverk fr betong.

1)-3) Dessa tre kontrollklasser GK 2A tom GK 2C ger max vre lastnivÅ vid stoppslagning av 0,3*; 0,4* ; 0,5* Fstuk Vid stoppslagning mot berg br dessa grÅnser kunna kas med faktorn 1,1* pga att kraven pÅ sÅkerhet År lÅgre.

- 1) GK 2A= DatorberÅknad stoppslagningsregel, Krav pÅ sÅkerhet $S_f > 2.1$ mot berg.
- 2) GK 2B= SttvÅgsmÅtning 10 %, Krav pÅ sÅkerhet $S_f > 1.65$ mot berg.
- 3) GK 2C= SttvÅgsmÅtning 25 %, Krav pÅ sÅkerhet $S_f > 1.50$ mot berg.
- 4) vre grÅnsvÅrde fr Rakhet. KrÅver att rakhetskontrollen visar minst denna rakhet, se Pkr 98 samt Pkr 96:1.
- 5) Oskarvad pÅle rakhetskontroll krÅvs EJ. I ls lera rekommenderas detta vÅrde fr bjstyvna skarvar typ RD.
- 6) Skarvad pÅle rakhetskontroll krÅvs EJ.
- 7) Rd,slagning= Fstuk+ 0,8*f_{ck}*Abet. SS-EN 12699 Displacement piles anger fr betongpÅlar $F_{max,slagning} = 0,8 * f_{ck} * A_c$

Vid montering av givare ska dessa monteras min 5 diametrar frÅn pÅltoppen fr att man ska vara sÅker pÅ att man fÅr god samverkan ver hela tvÅrsnittet. Det År dessutom en frdel om man anvÅnder tunga fallhejare och dyna sÅ att sttvÅgskurvan fÅr en vÅl rundad, dÅmpad form.

SttvÅgsmÅtning med mÅtknekt ska undvikas. Det blir ofta sneda belastningar pÅ pÅlen med verstrÅckning och/eller verkompression av

trÅdtjningsgivare samt bjreflexer som str mÅtkurvan. Dessutom har vid flera tillfÅllen knekten studsat av pÅlen och frstrt givaruppsÅtningen nÅr hejaren fallit ner igen efter studsens. Knekten innebÅr dessutom en risk fr skador fr personalen. Om knekt i alla fall anvÅnds ska nÅmnda faktorer beaktas samt sÅkerstÅllas att knekten vilar med god anliggning mot pÅlen och att olika impedanser mellan mÅtknekten och pÅlen tas med i analysen av signalerna.

Vid stötvågsmätning på en betongfylld stålplåle beräknas stötvågskonstanter enligt uttrycket:

$$E_{,mv} = (E_s \cdot A_s + E_c \cdot A_c) / (A_s + A_c)$$

$$\rho_{,mv} = (\rho_s \cdot A_s + \rho_c \cdot A_c) / (A_s + A_c)$$

$$c = (E_{,mv} / \rho_{,mv})^{0,5}$$

Erfarenhet från stötvågsmätning på ca 300 betongfyllda pålar med diametrar mellan 70 – 220 mm har utförts utan mättekniska problem. Ett resultat är att man normalt kan mobilisera högre bärförmåga på betongfyllda än på tomma borrade stålrörspålar.

Statisk provbelastning av borrade stålrörspålar

För utförande och utvärdering av statisk provbelastning hänvisas till Pålkommisionen Rapport 59, ”Anvisningar för provpålning med efterföljande provbelastning”.

6. Omgivningspåverkan

6.1 ALLMÄNT

Arbetet med borrade stålörspålar ska utföras så att störningar i omgivningen undviks så långt det är möjligt. Tänkbara störningskällor är

- uppspolning av jord
- rensolning av rör och bergborrhål
- sättningar i omgivningen vid förekomst av löst lagrat friktionsmaterial, t ex i grusåsar
- vibrationer
- buller
- förorening av jord, vatten och luft

Arten och omfattningen av tänkbara störningar från arbetet med borrade stålörspålar beror i huvudsak av följande faktorer:

- jord- och grundvattenförhållanden på arbetsplatsen
- använd maskinutrustning för borrhningen
- aktuellt arbetsskede

Det ska också beaktas att borrhningsarbete med borrade stålörspålar, i likhet med annat pålningsarbete, innebär tunga lyft, snabbt accelererande och roterande maskindelar samt intensiv slagning metall mot metall. Arbetet är därför att betrakta som ett arbete som kan innebära risker för skada på personer och objekt i närheten av borrhplatsen. Det är därför nödvändigt att säkerställa att erforderliga krav på säkerhet i dessa avseenden är uppfyllda för borrhningsarbetet och övriga aktiviteter kring stålörspålningen.

6.2 MARKVIBRATIONER

Vibrationsnivån från borrhningsarbetet är i allmänhet låg. I närheten av borrhmaskinen brukar värdet vara högst ca 2,5 mm/s. På längre avstånd är det ännu mindre.

6.3 BULLER

Det finns inga beräkningsmetoder som lämpar sig för beräkning av bullernivån för de maskiner som används för borrhning av stålörspålar. Vid borrhning med sänkborrhammare blir i allmänhet bullret från hammaren måttligt. Istället dominerar buller från kompressorer och andra maskiner som deltar i arbetet. Vid topphammare blir bullernivån från hammaren större.

6.4 UTSLÄPP

Vid arbete i närheten av grundvattentäkt måste särskilda försiktighetsåtgärder vidtas, så att inte föroreningar i form av borrhväska och andra främmande ämnen kommer i kontakt med grundvattnet. Man måste också vara uppmärksam på risken för föroreningar som orsakas av skador på den maskinutrustning som används. Framförallt gäller det att se till att oljeläckage inte kan komma i kontakt med grundvattnet. Det rekommenderas att rapsolja används i hydraulsystemet, där läckage kan ge upphov till oacceptabel emission.

Utsläpp av avgaser från kompressorer och liknande utrustning kan minimeras genom att använda modern utrustning. Beställare har i allmänhet särskilda miljökrav beträffande den utrustning som får användas.

Känsliga objekt i närheten av borrhmaskinen, exempelvis fasader, bilar och gångtrafikanter, måste skyddas mot stänk och sprut från borrhningsarbetet.

6.5 SÄTTNINGAR ORSAKADE AV UPPSPOLNING

Den jord/berg-volym som motsvarar rörets volym är den som teoretiskt ska spolas upp med luft, vatten eller annat medium, för att lyfta material från rörspetsen till utloppet ovan mark. I finkornig jord under grundvattenytan kan i vissa fall större mängd än den teoretiska spolas upp genom att en ”mammut-pump-effekt” uppkommer vid rörspetsen. Den överskottsvolym som då tas upp ur marken kan ge upphov till sättningar på markytan. På så sätt kan byggnader, ledningar och liknande i närheten av borrhmaskinen få sättningsskador.

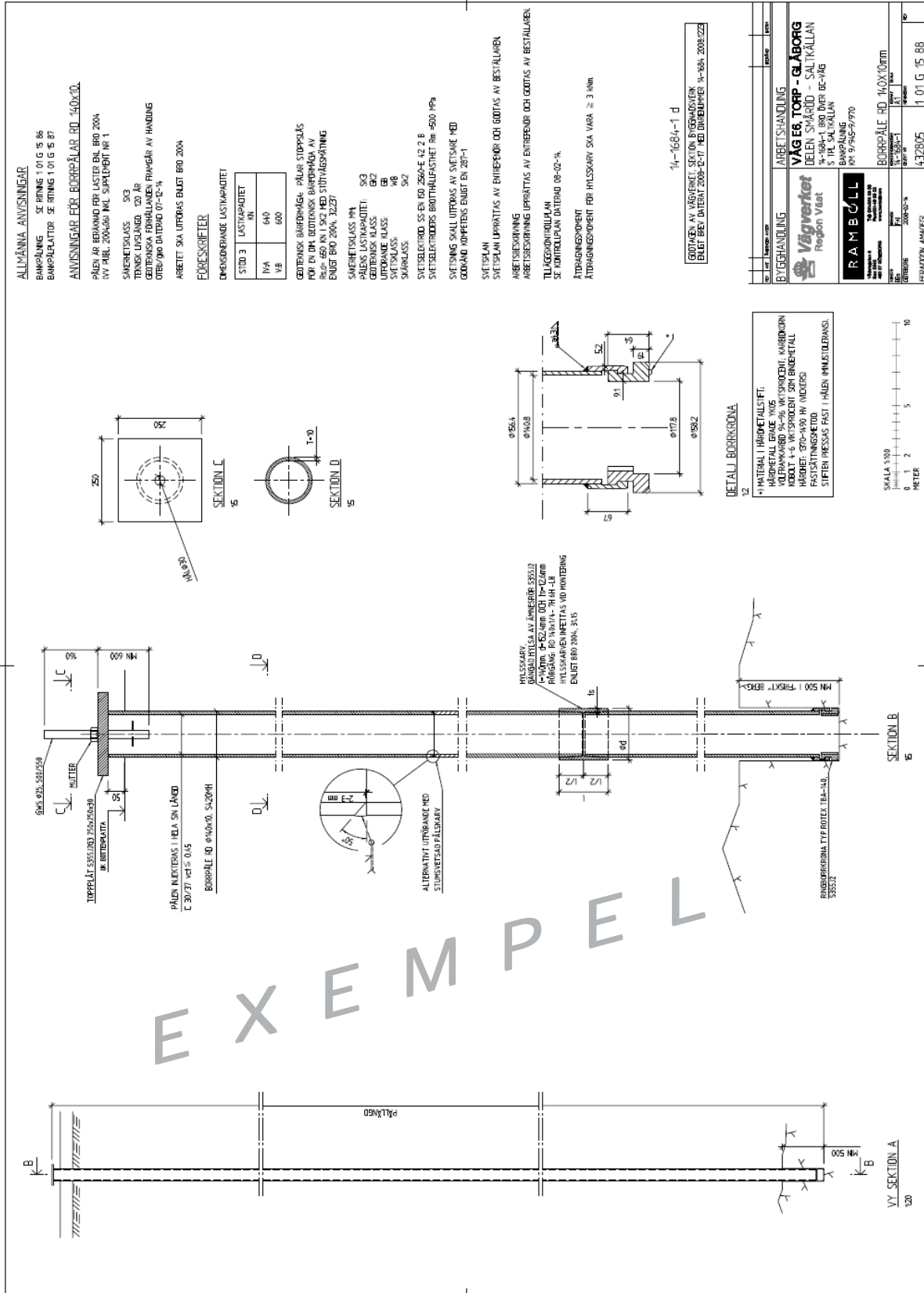
Det är viktigt att borrharen är uppmärksam på detta fenomen och genast avbryter borrhningen om det uppkommer, så att borrhningsarbetets utförande kan modifieras. Övergång till spolning med skum eller annan borrhmetodik, t ex Reverse Circulation, kan vara en lösning på problemet. Ett kontrollprogram med åtgärder som kan bli aktuella ska tas fram där sättningsskänsliga konstruktioner finns i närheten av installationsplatsen.

Referenser

- Bergdahl, U. och Tränk, R. (2005).** Korrosionsskyddande beläggningar på stålplåtar i jord – Provning och reptålighet. Varia 553. Statens geotekniska institut. Linköping 2005.
- Bernander S. och Svensk I. (1970).** Plåtar bärformåga i elastiskt medium under hänsynstagande till initialkrökning och egenspanningar i plåtmaterialet, Särtryck och preliminära rapporter nr 23, Pålkommisionen, Stockholm 1970.
- BKR Boverket:** Boverkets konstruktionsregler enligt Boverkets författning BFS. Boverket.
- Deckner F. (2008).** Stålpålar initialkrokighet – en jämförelse mellan uppmätt krokighet och schablonvärden, Examensarbete 08/10, 2008. Avdelningen för jord- och bergmekanik, institutionen för byggvetenskap, skolan för arkitektur och samhällsbyggnad, KTH, Stockholm.
- FRA (2003).** Finnish road administration: Instructions for drilled piling. Helsinki 2003. ISBN 951-803-027-8.
- Fälthandbok för geotekniska undersökningar (1996).** SGF Rapport 1:96, Linköping.
- Granholt H. (1929).** On the elastic stability of piles surrounded by a supporting medium, Avhandling KTH, Stockholm 1929.
- Hetény M. (1943).** Beams on elastic foundation, sid 96 - 150, Ann Arbor, Univ of Michigan, 1943.
- Johansson, M. (2000).** Structural behavior of circular steel-concrete composite columns. Licentiatavhandling vid Chalmers tekniska högskola. ISSN 0349-8581.
- Larsson, R., Bergdahl, U. och Eriksson, L. (1984).** Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord. Information 3. Statens geotekniska institut. Linköping 1984.
- Leskelä, M (2002).** Composite Behaviour of a Concrete Filled Circular Tube as a Foundation Pile. University of Oulu, Engineering Mechanics Laboratory.
- SGI (1993).** Pålgrundläggningshandboken. Statens geotekniska institut. Linköping 1993. ISBN 91-7332-663-1.
- Simons, N. and Menzies, B. (2004).** Short course in soil-structure engineering of deep foundations, excavations and tunnels. Thomas Telford. ISBN: 0 7277 3263 3. London 2004.
- Smolczyk, U. (2002).** Editor: Geotechnical Engineering Handbook Volume 1: Fundamentals. Ernst & Sohn. Berlin 2002.
- Törnqvist, J. (2004).** Korrosion på stålrörspålar. Dimensionering utgående från empiriskt material. VTT Bygg och Transport, 42 p. Espoo, ISBN 952 5004 54 6.
- Wang C.M., et al (2005).** Exact solutions for buckling of structural members, CRC press LLC, Washington 2005.
- Pålkommisionen**
Pålkommisionens skrifter är listade i slutet av denna rapport.
- Pålkommisionen **Teknisk PM**, 2010:1.

Bilaga

EXEMPEL PÅ UTFÖRD BORRAD STÅLRÖRSPÅLE (RD-PÅLE)





PÅLKOMMISSIONEN

Meddelanden

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 1 | Slagningsprov av pålskor med bergdubbar. Bror Fellenius 1963 | 13 | Pålgruppers bärförmåga. Bengt Broms 1967 |
| 2 | Provpålning för broar inom blivande Olskroks- och Gullbergsmoten i samband med byggande av Europaväg 6 genom Göteborg. Bror Fellenius – Waldemar Pejrud 1964 Slut | 14 | Påkänningar, sprickbildning och utmattning vid slagning av armerade modellpålar av betong. Bo Göran Heders – Sven Sahlin 1971 |
| 3 | Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsdelen, Göteborg. Bror Fellenius 1964 | 15 | Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök. Sven-Erik Rehnnan 1968 |
| 4 | Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs. Bror Fellenius 1964 Slut | 16 | Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon. Gunnar Fjellkner 1970 |
| 5 | Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar. Bengt Broms 1965 Slut | 17 | Bergdubbens hållfasthet. Resultat från statiska belastningsförsök. Sven-Erik Rehman 1970 |
| 6 | Brottlast för snett belastade pålar. Bengt Broms 1965 | 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 |
| 7 | Beräkning av vertikala pålars bärförmåga. Bengt Broms 1965 | 19 | Damping of stress waves in piles during driving. Results from field tests. Gunnar W Fjellkner - Bengt B Broms 1972 |
| 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 Sahlin 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 Sahlin – Lars Hellman 1966 | | |

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. Bengt H Fellenius – Bengt Broms 1969 |
| 4 | Om påslagning och pålbärighet. (Informationsdagen 14/11 1966) 1967 Slut | | |
| 5 | Resultat av pålprovning vid Göteborg C. Bror Fellenius 1955 (omtryckt 1967) | 19 | Datorberäkning av stötvågsförlopp 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 stålpålar slagna med tryckluftshammare. Delrapport 1. Gunnar Fjelkner 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 |
| 9 | Digitalisering av stötvägs mätningar. Delrapport I Lennart Vilander 1968 | | Friktionspålar bärformåga. Resultat från fältförsök i Kanada. Bengt H Fellenius 1969 |
| 10 | Stoppslagning av stålpålar med lätta slagdon (tryckluftshammare). Delrapport II Gunnar Fjelkner 1968 Ersatt av Medd 16 | 23 | Pålars bärformåga i elastiskt medium under hänsynstagande 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 stötvågsförloppet vid friktionspålning. Delrapport II Lennart Vålander 1969 | 29 | Studier av en friktionspåles verknings sätt 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 böjprovningsmetoder med oskarvade och skarvade betongpålar.
Björn Kvist - Pär Sandin
1973
- 40 Undersökning av avklingande stötvågs utseende efter passage genom dyna med tallriksfjädrar.
Bo Larsson
1973
- 41 Om korrosion på stål, speciellt i betongpålar.
Bengt H Fellenius
1974

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

- 42 Pålar i lera. En geoteknisk återblick med speciell anknytning till Göteborgs-förhållandena.
Bror Fellenius
1974
- 43 Jordundantäckning 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 Rålpålars böjstyvhet – resultat av böjprovningsmetoder.
Elvin Ottosson
1979
- 56 Provbelastning av friktionspålar – En studie av olika provningsmetoder.
U Bergdahl – G Hult
1979

- 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.
Activities 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 tryckluftshjare.
Resultat av fältförsök i Västerås 1973.
Gunnar Fjellner – 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 faktors 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
- 84a Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord.
Anders Fredriksson – Per-Evert Bengtsson
– Åke Bengtsson
1995
Ersätter Rapport 84
- 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 stålörpalar - konstruktion och arbetsutförande.
Håkan Bredenberg
1991
- 88 Sprickbildning i betongpalar slagna i vatten eller i jordarter med hög permeabilitet.
Stig Bernander
1992
- 89 Integritetskontroll av pålar med stötvägsmätning.
Inemar Hermansson – Jan Romell
– Carl-John Grävare
1992
- 90 Grova stålörpalar – 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 stålörpalar 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 Standardpalar 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 stålörpalar.
Åke Bengtsson – Bo Berglars
– Sven Hulstjög – 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 Transversalbelastade pålar – statiskt verkningssätt och dimensioneringsanvisningar.
– Per-Ola Svahn – Claes Alén
2006
- 102 Injekterade pålar.
Stefan Aronsson – Torbjörn Edstam
– Urban Svensson
2004

Pålkommissionens handlingar köps från SGI. Beställningar mottas av växeln och Informationstjänsten, info@swedgeo.se, 013–20 18 04 eller 20 18 00 (växeln).

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.

Pålkommisionen

c/o Statens geotekniska institut

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

E-post: gunnar.westberg@swedgeo.se Internet: www.palkommisionen.org