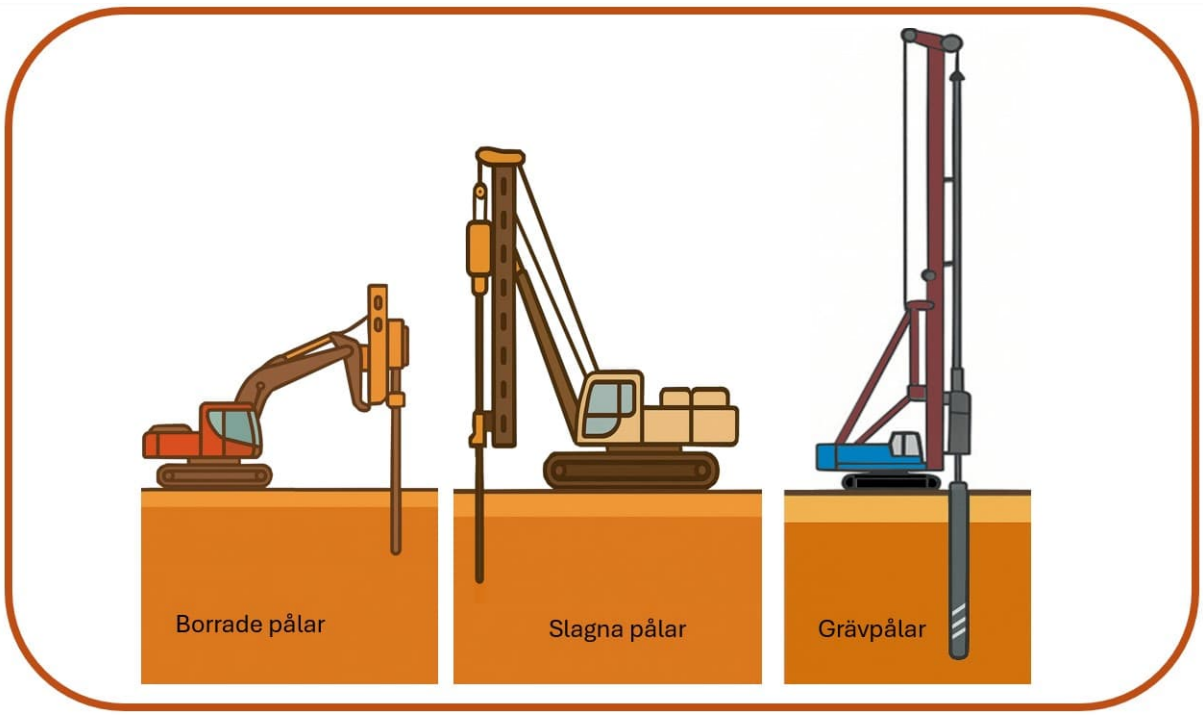


PÅLHANDBOKEN

KAPITEL 8 – UTFÖRANDE



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

8	**Utförande**	**5**
8.1	**Syfte**	**5**
8.2	**Definitioner**	**6**
8.3	**Omfattning**	**8**
8.4	**Arbetsmiljö för pålning inklusive arbetsbädd/arbetsplattform**	**9**
8.4.1	Allmänt	9
8.4.2	Hantering av arbetsmiljö i byggprojekt	9
8.4.3	Arbetsplatsen	10
8.4.4	Arbetsberedning	11
8.4.5	Arbetsmoment	11
8.5	**Utförandeförutsättningar**	**18**
8.5.1	Allmänna förutsättningar	18
8.5.2	Förutsättningar för bärighet och stabilitet	18
8.5.3	Övriga förutsättningar	20
8.6	**Påltyper**	**22**
8.6.1	Slagna betongpålar	22
8.6.2	Träpålar	32
8.6.3	Kombinationspålar	35
8.6.4	Slagna stålrörspålar	35
8.6.5	Borrade slanka stålrörspålar	43
8.6.6	Borrade grova stålrörspålar	49
8.6.7	Stålkärnepålar	51
8.6.8	Borrade och tryckta injekterade pålar	60
8.6.9	Grävpålar	64
8.7	**Vibrerade pålar**	**72**
8.7.1	Allmänt	72
8.7.2	Metodbeskrivning	72
8.7.3	Råd	77
8.8	**Falska pålstopp**	**79**
8.8.1	Bakgrund	79
8.8.2	Åtgärder	79
8.9	**Grundförstärkning (vakant)**	**80**
8.10	**Pålning på vatten från pontoner och arbetsbryggor**	**80**
8.10.1	Allmänt	80
8.10.2	Arbeten från ponton	80
8.10.3	Arbeten från arbetsbryggor	81
8.11	**Bitumenstrykning av pålar**	**83**
8.12	**Referenser**	**84**

8 UTFÖRANDE

8.1 SYFTE

Syftet med kapitel 8 är att ge en översiktlig beskrivning av utförandet av ett antal pålningsmetoder som kan vara aktuella för svenska jordförhållanden. Pålningsarbetet utförs av pålningsentreprenören utifrån den projekterade bygghandlingen. Val av pålningsmetod redovisas i andra kapitel (speciellt kapitel 2 och 3). Det finns en mängd olika pålningsmetoder och val av lämplig metod kräver erfarenhet av utförandet och kännedom om de geotekniska förhållandena på den aktuella platsen. Detta kapitel är huvudsakligen avsett för projektörer och beställare och redovisar utförandemetodiken för ett antal metoder, samt information som kan vara av vikt vid föreskrivandet av en viss pålningsmetod. Entreprenörer kan ha nytta av kapitlet om de tidigare inte har använt en metod, men syftet är inte att ge en komplett beskrivning av utförandet av pålningsmetoden. För praktisk användning av pålningsmetoderna hänvisas till utförandestandarder där sådana finns.

De utförandestandarder som är tillämpliga inom pålningsområdet är:

- SS-EN 12699:2015 - Utförande av geokonstruktioner - Massundanträngande pålar (SIS, 2015a).
- SS-EN 14199:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar (SIS, 2015b).
- SS-EN 1536:2010+A1:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c).
- SS-EN 1537:2013 - Utförande av geokonstruktioner – Förankringar (SIS, 2013).

Det finns även en mängd utförandebeskrivningar framtagna av tillverkare och leverantörer.

Övriga relevanta standarder och vägledningar redovisas i kapitel 1 och 2.

8.2 DEFINITIONER

Här definieras innehållet i den projekterade bygghandlingen respektive utförandet för att beskriva vad som förväntas av entreprenören i utförandeskedet.

Bygghandling utgör kravställning för pålningsarbetet:

- Material- och varukrav.
- Utförandekrav, exempelvis toleranser om det inte anges i utförandestandard, svetsstandard och övriga krav.
- Eventuella funktionskrav för det fall då entreprenören ska projektera pålningen.
- Krav på kontroller/provningar, exempelvis verifiering av geoteknisk bärförmåga.
- Dokumentation.
- Ritningar.
- Övriga handlingar (exempelvis MUR och övervakning med avseende på omgivningspåverkan).

Ovanstående punkter behandlas i kapitel 2 till 7 och kapitel 9.

Utförande av pålningsarbeten, där den färdiga pålningen är produktionsresultatet, innefattar:

Planering i arbetsberedning och kontrollplaner som entreprenören upprättar utifrån bygghandlingen för att instruera yrkesarbetare om hur arbetet ska genomföras:

- Maskinutrustning.
- Erforderlig personal.
- Material.
- Hjälpmedel.
- Krav.
- Svetsplaner.
- Arbetsmiljö och risker.
- Dokumentation.
- Transporter och materielleveranser.
- Samordning med övriga aktiviteter.

Förberedelser på arbetsplatsen:

- Etablering.
- Arbetsplattform.
- Materialupplag.
- Vatten och el.

- Transportvägar.
- Trafikanordningsplan.

Utförande av pålningsarbetet:

- Arbetsgång.
- Provpålning för fastställande av stoppslagningskriterie.
- Skarvning.
- Stoppslagning.
- Kontrollslagning/Efterslagning.
- Kapning.
- Verifiering/provning.
- Dokumentation.

Ovanstående punkter behandlas i föreliggande kapitel.

Pålningsarbeten utförs oftast i samband med anslutande markarbeten såsom schaktning, fyllning och arbeten med stödkonstruktioner. Dessa behandlas inte i följande kapitel, men hänvisningar sker till lämplig litteratur i förekommande fall.

8.3 OMFATTNING

Kapitlet inleds med en beskrivning av arbetsmiljöaspekter vid pålning, vilket följs av en beskrivning av de utförandeförutsättningar som bör beaktas samt hänvisning till övriga kapitel i Pålhandboken.

För samtliga arbeten gäller i tillämplig omfattning standarderna SS-EN 16228-1-4 och 6-7:2014 med tillägg A1:2021-Borrnings- och grundläggningsutrustning Säkerhet[1] (SIS, 2021a-f). De innefattar delarna:

1: Allmänna krav.

2: Mobila borriggar för anläggnings- och geoteknik, stenbrott och gruvor.

3: Styrd horisontell borrutrustning.

4: Grundläggningsutrustning.

6: Sprutnings-, gjutnings- och injekteringsutrustning.

7: Utbytbar tilläggsutrustning.

Därefter följer en beskrivning av utförande av följande påltyper:

- Slagna betongpålar.
- Träpålar.
- Kombinationspålar.
- Slagna stålrörspålar.
- Borrade slanka stålrörspålar.
- Borrade grova stålrörspålar.
- Stålkärnepålar.
- Borrade och tryckta injekterade pålar.
- Grävpålar.

Avslutningsvis beskrivs vibrerade pålar samt speciella pålningssituationer, innefattande falska pålstopp, grundförstärkning (vakant), pålning på pontoner och arbetsbryggor samt bitumenstrykning av pålar.

Kapitlen som beskriver pålningsmetoder inleds med en översiktlig metodbeskrivning, och därefter följer råd vid specifika arbetsmoment.

[1] SS-EN 16228-5 avser slitsmurar och är därför ej relevant för pålningsarbeten.

8.4 ARBETSMILJÖ FÖR PÅLNING INKLUSIVE ARBETSBÄDD/ARBETSPLATTFORM

8.4.1 Allmänt

Vid projektering av en pålgrundläggning väljs en påltyp som bedöms vara lämplig för de lokala förhållandena. Arbetsgången för att göra detta redovisas i kapitel 3, projektering. Pålningsarbetena ska kunna genomföras med en säker och bra arbetsmiljö och med acceptabel omgivningspåverkan, vilket diskuteras i kapitel 10. Pålningen ska kunna utföras med vald påltyp och lämpliga maskiner.

Nedan behandlas vad som bör beaktas vid projektering av en pålgrundläggning för att ta hänsyn till arbetsmiljön i utförandeskedet av ett pålningsarbete. Detta berör både entreprenör och beställare men även projektör då en stor del av arbetsmiljöarbetet ska genomföras i projekteringsskedet.

8.4.2 Hantering av arbetsmiljö i byggprojekt

8.4.2.1 Lagstiftning

Arbetsmiljöverket ansvarar för reglering av arbetsmiljö på arbetsplats. För byggnads- och anläggningsarbete regleras detta i AFS 2023:3 (Arbetsmiljöverket, 2023a). Övriga tillämpliga föreskrifter vid byggnads- och anläggningsarbeten är AFS 2023:4 (Arbetsmiljöverket, 2023b), AFS 2023:9 (Arbetsmiljöverket, 2023c), AFS 2023:10 (Arbetsmiljöverket, 2023d), AFS 2023:11 (Arbetsmiljöverket, 2023e), AFS 2023:12 (Arbetsmiljöverket, 2023f) och AFS 2023:13 (Arbetsmiljöverket, 2023g).

Föreskrifterna reglerar bland annat anmälningsplikt för arbeten och att en arbetsmiljöplan ska tas fram. Byggherrar och entreprenörer förutsätts vara insatta i dessa föreskrifter.

Byggherren utser byggarbetsmiljösamordnare för planering och projektering, kallad Bas-P, och en byggarbetsmiljösamordnare för utförandet, kallad Bas-U. Dessa är centrala för hanteringen av arbetsmiljörisker vid projektering och utförande.

8.4.2.2 Riskidentifiering

I arbetsmiljöplanen ska möjliga risker identifieras. Svensk Grundläggning (Svensk Grundläggning, 2016) redovisar en metodik för hur risker kan identifieras genom riskanalyser:

- Risker för ohälsa och olycksfall förebyggs bland annat genom att regelbundet genomföra riskbedömningar av de arbeten som bedrivs på arbetsplatsen.
- Riskanalysen ska resultera i åtgärder i syfte att minimera riskerna i de enskilda arbetena och ständigt förbättra arbetssätten.
- Riskbedömningar, arbetsberedningar och säkerhetsdatablad är viktig information för att personalen ska känna till riskerna i sitt arbete och vilka åtgärder som behöver göras innan arbetet påbörjas.
- Under- och sidoentreprenörer (om de omfattas av entreprenörens arbetsmiljöplan) ska alltid lämna uppgifter om risker och förslag till åtgärder till arbetsledning/Bas-U.

8.4.2.3 Arbetsplan

Innan pålningsarbetena påbörjas ska entreprenören upprätta en arbetsplan som i detalj motiverar och beskriver de tidsatta moment som avses utföras. Arbetsplanen ska också redovisa vilka åtgärder som

planeras 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 ett sådant godkännande normalt inte innebär något ökat ansvar för beställaren. En arbetsplan bör innehålla följande uppgifter:

- Arbetsordning för pålningsarbetena innefattande etablering, pålning och kontroll.
- Val av utrustning för installation och verifiering av pålarna.
- Slagningsordning eller borrningsordning för pålarna.
- Skyddsåtgärder med avseende på omgivningspåverkan, exempelvis lerproppsdragning eller bullerdämpning.
- Skyddsåtgärder med avseende på arbetsmiljö, exempelvis materialtransport eller totalstabilitet.
- Restriktioner för arbetsutförandet, exempelvis markbelastningar och arbetstider.
- Omgivningspåverkan.
- Verifieringsmetod för pålarnas bärförmåga.
- Kontrollplan, hänvisning till kontroll och omgivningspåverkan, se kapitel 9.

Hantering av omgivningspåverkan ska redovisas i bygghandling, i kontrollplan eller kontrollprogram, vilket redovisas i kapitel 9 för kontroll och i kapitel 3 för projektering. Nedan redovisas några olika slags omgivningspåverkan, vilket behandlas i detalj i kapitel 10:

- Buller, vilket kan orsaka begränsningar under vilka tider arbeten kan bedrivas eller krav på bullerminskande åtgärder.
- Kvartsdamm, exempelvis vid bergborrning av stålrörspålar.
- Vibrationer vid pålslagning.
- Markrörelser vid pålning.
- Slamhantering vid borrning av stålrörspålar.
- Påverkan på grundvatten.
- Påverkan på stabilitet i mark.

8.4.3 Arbetsplatsen

Arbetsytan måste planeras så att arbetet kan utföras utan risk för att maskiner välter på grund av låg bärighet i jord eller glidbrott vid slänt. Detta gäller särskilt urschaktade grunder. Arbetsytan kan förbättras genom utläggning av geotextil, avgrusning och/eller gjutning av grovbetong på schaktbotten. Svensk Grundläggning (branschförening som samlar aktörerna inom grundläggning) ger följande rekommendationer:

- Minska halkrisken genom att se till att lera, is och olja inte finns på gångytor och vägar.
- Borrör och annan borrutrustning ska förvaras i närheten av arbetena.
- Normenligt bodutrymme med fungerande dusch vid nödsituation, förbandsmaterial, ögondusch och hjärtstartare ska finnas.

- Konstruktioner som bär maskiner och utrustning får inte överbelastas.
- Se till att det finns bra belysning.
- Det ska finnas förvaringsutrymmen avsedda för handverktyg.
- Se till att slang mellan kompressor och maskin inte ligger över vassa kanter eller vasst underlag.
- Arbetsplatsen ska vara korrekt inhägnad så att inte obehöriga kommer inom maskinens riskområde. Särskilda åtgärder kan behövas för skydd av tredje man utanför arbetsplatsen, exempelvis omläggning av trafik.
- Det ska finnas brandsläckare och heta områden ska hållas fria från brännbart material.
- Använd vatten vid borrning. Finns inte vatten ska dammsugare användas.
- Vid behov ska saneringsmaterial finnas på arbetsplatsen.
- Personal ska ha personlig skyddsutrustning och behörighet för de arbeten de ska utföra.
- Att nödvändiga och korrekta skyddsanordningar är på plats eller kan anordnas.
- Se till att instruktioner finns om och hur arbete från stege kan utföras (ska helst undvikas).

8.4.4 Arbetsberedning

För specifika, ofta mer riskfyllda arbeten, ska arbetsberedningar upprättas av entreprenören, för att planera hur dessa på ett säkert, effektivt och kvalitetssäkrat sätt ska genomföras. Exempel på sådana arbeten följer nedan. Arbetsberedningen överlämnas till beställaren för granskning i föreskriven tid innan arbetena påbörjas. Normalt gäller att arbetena inte får påbörjas innan beställaren meddelat sitt godkännande.

Arbetsberedning ska tas fram utifrån gällande handlingar exempelvis innefattande:

- Vilka krav finns på installationsförfarande enligt gällande handlingar?
- Finns rätt förutsättningar på arbetsplatsen?
- Vilka arbetsmiljörisker finns för personal på arbetsplatsen? Dokumenteras i riskanalys.
- Finns risker för tredje man, behöver avspärrningar göras? Dokumenteras i riskanalys.
- När ska injektering påbörjas? Vid start av borrning eller när man drivit ner stålet en bit i jorden?
- Vilka krav finns på injekteringsbruket och tillsatsmedel?
- Hur kan man stå med maskinen för installation?
- Vilka parametrar ska dokumenteras under installationen?

8.4.5 Arbetsmoment

8.4.5.1 Transporter

Maskiner måste kunna transporteras in och ut ifrån arbetsplatsen. Detta gäller speciellt vid uppställning nere i schakter eller inom sponter där byggvägar kan vara smala och svängradien liten. Speciellt

transport på lutande vägar bör beaktas i arbetsmiljöplanen. Belastningsplan på hela arbetsplatsen innefattande transportvägar bör ingå i förfrågningsunderlag, se kapitel 4.

8.4.5.2 Uppställning av maskiner

Vid uppställning av tunga maskiner måste stabilitetsförhållanden i mark beaktas. Detta utgör en arbetsmiljörisk och bör identifieras av Bas-P och Bas-U. Detta gäller särskilt då arbeten ska genomföras av entreprenörer som har stora maskiner som måste röra sig över hela arbetsområdet. Detta behandlas i avsnitt 8.5.

8.4.5.3 Maskinhantering

Pålningsmaskiner är oftast tunga och uppställning ska genomföras enligt rekommendationer i avsnitt 8.5. Detta gäller speciellt för uppställning invid slänter.

Eventuella riskabla arbeten intill påle som installeras, såsom kontroll av stoppslagning och montering av utrustning för stötvågsmätning, ska kunna utföras med tillräcklig säkerhet för personal.

Vissa maskiner som idag används för installation av borrade stålrörspålar är i viss utsträckning inte speciellt anpassade för denna verksamhet, vilket kan leda till bieffekter i form av låg produktionstakt och belastningar på arbetsmiljö och omgivning. Detta kan undvikas genom användning av utrustning utvecklad för att i första hand utföra denna typ av pålar.

8.4.5.4 Lyft, transport och lagring

Belastningsfallen lyftning, transport och lagring av pålar ska beaktas vid dimensionering av pålelement. Hanteringsanvisningar upprättas vanligtvis av leverantör eller konstruktör. Dimensioneringen ska vara utförd enligt krav i kapitel 6. Pålningsarbetet omfattar en mängd lyft som ger arbetsmiljörisker:

- Transporter och lyft av pålelement.
- Lyft av pålar in i maskin.
- Lyft av styrbalkar och andra hjälpredskap.
- Lyft av pålkap efter pålningen.

Pålningsarbete innebär tunga lyft med skrymmande föremål såsom betongpålar och borrör som ofta är 12 m långa. Figur 8.1 visar lyft av betongpåle in i maskin. Det är därför nödvändigt att säkerställa att erforderliga krav på säkerhet vid arbete med lyft och övrig hantering av pålelement är uppfyllda. Löpande kontroll av lyftredskap erfordras för att säkerställa säkerheten på arbetsplatsen. Personal får aldrig gå under hängande last. Styrlina eller båtshake bör användas i stället för hand på hängande last när det är möjligt.



Figur 8.1 Lyft av betongpålar inför slagning.

8.4.5.5 Pållutning

Pålgrupper till stödmurar, brostöd m.fl., belastas vanligtvis, förutom av vertikala laster, även av relativt stora horisontella laster. Detta motiverar att pålarna slås lutande. Ju flackare lutning som väljs, desto färre pålar krävs beräkningsmässigt. Ur produktions- och arbetsmiljösynpunkt bör slagna pålar inte utföras med en flackare lutning än 4:1 eller 5:1, eftersom detta kan medföra problem vid arbetsutförandet. Den ökning av antal pålar som en brantare lutning medför, uppvägs i allmänhet av ett enklare utförande för pålar som ej avviker alltför mycket från vertikal riktning.

8.4.5.6 Kapning av pålar

Rätt verktyg ska väljas för kapning av pålar. För betongpålar används oftast en pålkap, visat i Figur 8.2. Vid krav på friläggning av armering för upptagande av dragkrafter ska armeringen vara intakt och rak. För stålrörspålar används ofta gaskapning eller plasmakapning, med eller utan mall, se Figur 8.3. Om lasten ska överföras via kontakttryck krävs dock efterbehandling av ytan, se Figur 8.3. För träpålar används motorsåg. Arbetsmetoderna innebär arbetsmiljörisker förknippade med sågning och skärning. Vid stora överlängder erfordras lyfthjälp vid kapning för att förhindra okontrollerat fall av pålen.



Figur 8.2 Kapning av betongpålar med klinga.



Figur 8.3 Kapning av stålrörspålar med gaskapning (till vänster) och plasmakapning (till höger) med mall.

8.4.5.7 Skarvning av betongpålar

Vid skarvning av betongpålar används ofta slägga för att driva in skarvdubbar av stål. Hydrauliska pressverktyg kan också användas för montage av skarvdubbar, istället för slägga, vilket minskar risken för överbelastningar och skador på personal. Arbetet sker invid stående maskin vilket innebär en arbetsmiljörisk, samt risk för klämning och fall av påle.

8.4.5.8 Skarvning av stålrör

Slagna stålrör kan skarvas med hylsskarv upp till dimension 406 mm. Borrade stålpålar skarvas med gängad skarv eller svetsning. Gängskarvar finns också i dimensioner upp till 406 mm. För gängskarvar måste tillses att adekvat åtdragningsmoment kan appliceras och dokumenteras. Annars kommer skarven inte att fungera på avsett sätt. För mindre dimensioner kan detta ske med handkraft eller med hjälp av knäckbord på borrmaskin. Vid större dimensioner kan så kallad spinner erfordras. Det innebär att en extra maskin måste användas. Detta gäller alltid om gängade stålpålar installeras med pålkran, medelst slagning. Vid större dimensioner måste skarvning ske med svetsning. Svetsning ställer stora krav på svetsprocedur, stålmaterial och kontroll 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.

8.4.5.9 Skarvning av stålkärnor

Stålkärnor skarvas med gängad konisk skarv (oftast API-skarv) eller med svetsning. Det är av yttersta vikt att säkerställa åtdragningsmomentet vid gängad skarv. Svetsskarvar i fält bör undvikas i görligaste mån. Behovet av anpassad arbetsställning vid svetsningsarbetet får inte underskattas. I trånga utrymmen kan det vara svårt, eller omöjligt, att uppnå godtagbara förutsättningar för utförande av svetsarbete av tillräcklig kvalitet. I sådana fall bör gängade skarvar användas.

8.4.5.10 Fyllning av pålar med betong eller bruk

Det finns risk för stänk av cement på hud vid fyllning av pålar med betong, bruk eller cementsuspension. Det rekommenderas att pålen fylls ifrån botten med rör eller slang.

8.4.5.11 Montering av topplåt

I allmänhet rekommenderas att pålens överkant är minst 0,5 till 1 m högre än markytan för att erhålla fullgod arbetsmiljö. Detta för att undvika svetsning i olämplig arbetsställning, vilket visas i Figur 8.6 där topplåt monteras på stålkärnepåle. I vissa fall kan plattan förses med centreringshylsa, som motsvarar pålrörets innerdiameter. Det är då viktigt att topplattan förses med lufthål om pålen ska betongfyllas, annars kan en luftkudde bildas och monteringen misslyckas, se Figur 8.4.



Figur 8.4 Problem med inre styrrör.

En bättre lösning kan vara att topplattan förses med styrklackar, ett kort armeringsjärn och lufthål, se Figur 8.5.



Figur 8.5 Alternativt utförande av topplatta.

Om lasten ska överföras via kontakttryck mellan påle och tryckplatta ska pålrörets överkant bearbetas så att spalten inte överstiger 0,5 mm, kontrollerat med bladmått i enlighet med SS-EN 1090-2, D.1.13 (SIS, 2024).

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. Exempel på olämplig arbetsställning visas i Figur 8.6.



Figur 8.6 Svetsning av topplåt till stålkärnepåle med olämplig arbetsställning.

8.4.5.12 Armering och gjutning

Armering används ibland som förstärkning av stålrörspålar (oftast >500 mm) och i de flesta former av grävpålar. I sådant fall nedsänks armering i stålröret och gjuts in. Gles armering är arbetstekniskt fördelaktigt. Armeringskorgar utförs lämpligen förtillverkade och lyfts på plats. Vid längre pålar än 8 – 10 m måste armeringskorgarna skarvas. Lyftning och sänkning av armeringskorgar utgör farliga arbetsmoment. De förhållanden som uppkommer om maskinhaveri, linbrott eller liknande inträffar måste beaktas vid planering av arbetet. Vid sådana arbeten ska utförandestandarden SS-EN 1536:2010+A1:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c) följas. För ytterligare information om armering och gjutning, se Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations (EFFC/DFI, 2024).

8.4.5.13 Förtillverkning av stålkärnor med tillbehör

Ett flertal arbetsmoment ska utföras på stålkärnan innan den placeras på plats i foderröret. Svetsarbete i grova stålkonstruktioner utförs med fördel inomhus i verkstadsmiljö, vilket ska beaktas i arbetsberedning.

8.5 UTFÖRANDEFÖRUTSÄTTNINGAR

8.5.1 Allmänna förutsättningar

Vid projektering (se kapitel 2 och 3) av en pålgrundläggning väljs en bärande konstruktion för grundläggningen, typ av pålar och även indirekt ofta typ av maskiner. Samtidigt projekteras också utformning av arbetsbädd och hur arbetsplatsen i övrigt behöver se ut med hänsyn till pålningsarbetenas genomförande. I detta arbete förutsättes vissa markförhållanden utifrån utförda geotekniska utredningar och att omgivningen, exempelvis intilliggande byggnader, ser ut på ett visst sätt. Inför och under utförandet behöver dessa förutsättningar kontrolleras så att den projekterade pålningen kan genomföras med en säker och bra arbetsmiljö och med acceptabel omgivningspåverkan.

Arbetsplatsen och tillfartsvägarna måste ha, eller kunna ges, förutsättningar för att pålningen ska kunna utföras på ett säkert sätt och med god arbetsmiljö. Personal behöver kunna arbeta på arbetsplatsen på ett säkert och bra sätt. Marken måste vara stabil och ha tillräcklig bärighet för de maskiner som ska användas. Hantering och installation av pålar och övriga arbeten, exempelvis skarvning av pålar, måste kunna utföras på ett säkert och bra sätt.

8.5.2 Förutsättningar för bärighet och stabilitet

Pålning innebär ofta arbete med pålkran, borrigg eller annan tung maskin på mark som har låg bärighet eller låg stabilitet. Utredning av de geotekniska förhållandena och de förväntade belastningarna måste vara genomförda och lämpliga åtgärder, såsom anläggande av arbetsplattform och avgränsning av arbetsområde, måste vara utförda. I handboken ”Uppställning av tunga anläggningsmaskiner” (Svensk Byggtjänst, 2021) beskrivs riktlinjer för utredningar och åtgärder avseende bärighet. I SGI Vägledning 8, Utredning av släntstabilitet, (SGI, 2023) ges anvisningar för utredning av stabilitet. Stabilitetsutredningar ska vara utförda, i enlighet med rapporterna, om pålning ska utföras där stabiliteten kan befaras vara låg, exempelvis nära naturliga slänter eller schakter. Arbetsbädden bör kontrolleras regelbundet, speciellt efter omfattande nederbörd. Figur 8.7 visar hur urspolning av den packade arbetsbädden gör att det går att stansa igenom den med gejderfoten. Arbetsbädden bör packas om ifall det misstänks att något har inträffat som minskat arbetsbäddens bärighet.



Figur 8.7 Arbetsbädd efter nederbörd, där gejderfot kan stansa in ett hål i arbetsbädden.

Då pålning utförs i eller i närheten av en schakt måste maskiner ställas upp och upplag anordnas utan att stabiliteten i schakten blir för låg. Generellt kan sägas att tillräckligt avstånd till schakten behöver

hållas och anvisas (markeras), med hänsyn taget till de belastningar som aktuella maskiner och aktuella upplag ger. Belastningsförutsättningar för entreprenaden bör ges i förfrågningsunderlaget (se kapitel 4). I handboken ”Schakta säkert” (Svensk Byggtjänst, 2015) beskrivs schakters stabilitet för olika geotekniska förhållanden, hur stabiliteten påverkas av belastningar och hur stabiliteten kan förändras med tiden och väderleken.

Pålinstallation kan leda till fenomen i jorden som under vissa förhållanden nedsätter markens bärighet och stabilitet. Man behöver känna till om förutsättningarna är sådana att dessa fenomen kan inträffa och att det i så fall går att kontrollera och/eller åtgärda dem. I Tabell 8.1 ges exempel på fenomen och förhållanden som kan vara kritiska. Fenomenen, tillhörande typ av arbete och vilka förhållanden som kan vara kritiska beskrivs närmare i kapitel 10 om omgivningspåverkan.

Tabell 8.1 Fenomen som kan nedsätta markens bärighet och stabilitet.

Fenomen	**Exempel på arbete som kan orsaka fenomenet**	**Exempel på konsekvens**	**Exempel på åtgärd**
Massundanträngning	Slagning av betongpålar, träpålar och stålrörspålar med stor dimension (med spets eller proppbildning).	Ökar trycket i marken och kan påverka stabilitet i en närliggande slänt eller schakt.	Val av pålningsordning och tid mellan slagning av pålar. Borttagning av jord genom proppdragning eller skruv. Byte av påltyp.
Porvattentrycksökning	Slagning av betongpålar, träpålar och stålrörspålar med stor dimension (med spets eller proppbildning).	Ökning av porvattentryck leder till minskad skjuvhållfasthet på grund av minskade effektivspänningar, vilket kan nedsätta stabiliteten i en närliggande slänt eller schakt.	Val av pålningsordning och tid mellan slagning av pålar. Borttagning av jord genom proppdragning eller skruv. Byte av påltyp och/eller installationsmetod.
Nedsättning av hållfasthet	Proppdragning eller uppdragning av befintliga pålar. Slagning av betongpålar, träpålar och stålrörspålar med stor dimension (med spets eller proppbildning. Borrning av pålar.	Proppdragning nedsätter hållfastheten i jorden runt hålet och om hålet kollapsar kan hållfastheten sjunka drastiskt. Den nedsatta hållfastheten kan leda till nedsatt bärighet eller nedsatt stabilitet i en närliggande slänt eller schakt. Om kvicklera förekommer kan hållfastheten hos sådan lera störas vid pålinstallation, med kraftigt nedsatt skjuvhållfasthet som följd.	Stabilisering av hål med bentonit. Byte av påltyp och/eller installationsmetod.

8.5.3 Övriga förutsättningar

8.5.3.1 Generellt

Innan pålningsarbeten påbörjas måste arbetsplatsen iordningställas så att:

- Pålmaskinen kan monteras. Om nedfart i schakt via ramp ska anordnas måste det säkerställas att maskinen klarar rampens lutning och att den har tillräcklig plats i schakten. En fälld pålkran har en stor utbredning i längdled.
- Pålmaskinen kan lyfta upp pålarna till hejaren. Vid djupa schakter ska kran användas för att lyfta pålarna till maskinen. Om pålar dras ner för branta schaktslänter kan de skadas.
- Vägar finns för pålleveranser.
- Upplag för pålar finns högst cirka 20 meter från pålmaskinen.
- Arbetsytan är sådan att arbetet kan utföras utan arbetsmiljörisker.
- Släntstabiliteten vid eventuella schakter är acceptabel även för den påverkan som orsakas av själva pålslagningen.
- Ledningar i marken eller i luften ej hindrar arbetet.

Exempel på andra förutsättningar än de som behandlats ovan och som kan behöva kontrolleras är:

- Pålar och annat material behöver kunna läggas upp på ett stabilt sätt, så att hämtning kan utföras med säkerhet mot fallande föremål och klämning.
- Risken för att andra föremål faller eller orsakar klämning behöver också bedömas.
- Arbetsplattformen kan vara byggd innan pålning utförs, men byggs ibland i samband med pålningen. Då byggandet görs i samband med pålningen måste lyft av stockmattor och andra byggnadselement kunna utföras med säkerhet mot ras och klämning.
- Arbetsplattformen behöver vara utformad så att personal kan gå och arbeta på den utan att fastna, snubbla eller halka.
- Ett säkerhetsavstånd kring pålmaskin ska vara upprättat och kunna innehållas.
- Pålningsarbetena kan medföra damning som kan bli besvärande, exempelvis i källarutrymmen.
- I samband med pålning kan föroreningar komma i dagen (gäller oftast vid borrning av pålar eller foderrör), som kan avge farliga gaser eller vara farliga vid hudkontakt och kan förorena omgivningen.
- Hälsovådliga ämnen måste kunna hanteras på ett säkert sätt.
- Att pålmaterialet tål de påfrestningar som hanteringen och installationen innebär.
- Att väder- och vindförhållanden är acceptabla för maskiner och pålar (risk för vältning vid stark vind) och personal. Maskiner påverkas av temperaturen. I Säker grund - Allmänna säkerhetsanvisningar och beställarvägledning vid utförande av grundläggning (Svensk Grundläggning, 2019) anges att utförande av grundläggning ska avbrytas vid temperatur lägre än – 20 grader på grund av att stål blir sprött vid kyla och att det därmed uppkommer en olycksrisk. Hetta kan

påverka hydraulsystemet och bör beaktas. Andra villkor kan finnas i instruktionsbok för maskin.

- Att de besiktningspliktiga maskiner, utrustningar och lyftanordningar som ska användas har gällande godkännande från besiktning och har underhållits och kontrollerats enligt AFS 2023:11 (Arbetsmiljöverket, 2023e).

- Att heta arbeten (arbeten som medför brandrisk, exempelvis svetsning, lödning och arbeten med vinkelslip) kan utföras enligt Brandskyddsföreningens regler för heta arbeten och enligt Svensk Grundläggnings ordnings- och skyddsregler (Svensk Grundläggning, 2016) eller motsvarande regler.

- Att arbetet i övrigt kan utföras enligt Svensk Grundläggnings ordnings- och skyddsregler (Svensk Grundläggning, 2016) eller motsvarande regler.

- För arbete på vatten behöver ytterligare förutsättningar kontrolleras, se Riskinventering arbetsberedning sjöjobb från Svensk Grundläggning (Svensk Grundläggning, 2018a) eller motsvarande.

- Att en skriftlig bedömning har gjorts av de risker som arbetet innebär och att denna bedömning har kommit personalen till del. Svensk Grundläggning har tagit fram underlag till riskinventeringar (Svensk Grundläggning, 2018a, 2018b och 2018c) som rekommenderas för denna bedömning.

8.5.3.2 Tätbebyggda områden

Specifikt för pålning inom tätbebyggda områden är att pålningsarbetena kan påverka befintlig bebyggelse. Detta har stor påverkan på utförande av grundläggningsarbeten.

Vid pålningsarbeten i tätbebyggda områden kan arbetena påverkas av nedanstående faktorer:

- Vibrationer och massförskjutningar som uppkommer vid grundläggningsarbeten har stor risk att påverka befintliga konstruktioner vid arbeten i tätort. Arbetena måste anpassas för att minska omgivningspåverkan. Se vidare kapitel 10.

- Begränsat utrymme råder ofta i tätbebyggda områden. Arbetsområden blir ofta små vilket minskar möjligheten till konventionell etablering och genomförande av grundläggningsarbeten. Möjligheten för större upplag på arbetsplatsen kan vara begränsad.

- Vid begränsat arbetsutrymme finns arbetsmiljörisker (se avsnitt 8.4), men även risker för tredje man, om arbeten sker invid allmänna platser. Arbetsmiljörisker innefattar risker för arbeten invid maskiner, minskad möjlighet till utrymning av arbetsområde och påverkan av närliggande byggnadsarbeten såsom markarbeten. Arbetsberedningen bör anpassas speciellt för dessa områden.

- Vid arbeten i tätorter finns oftast omkringliggande befintliga ledningar. Dessa bör vara konstaterade och inmätta i projekteringsskedet och redovisade i arbetshandlingar. Dock finns det ofta ledningar som inte har redovisats i handlingar eller stängts av innan grundläggningsarbeten har påbörjats. I vissa fall finns sekretessklassade ledningar som inte redovisas i samtliga bygghandlingar, vilket kan vara en risk. Detta gäller även berganläggningar som kan påverkas av grundläggningsarbeten.

- Föroreningar kan finnas vid arbeten i tätorter, och miljöprovtagning av massor samt borrkax kan behöva genomföras som del av grundläggningsarbetena, både av arbetsmiljöskäl och för omhändertagande av massor. Se vidare kapitel 10.

8.6 PÅLTYPER

8.6.1 Slagna betongpålar

8.6.1.1 Allmänt

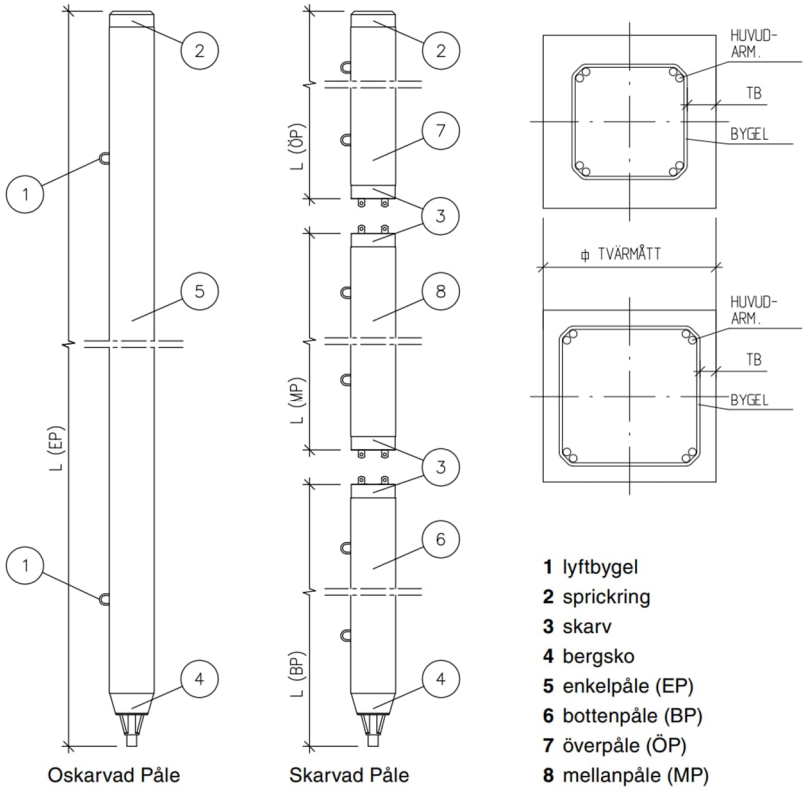
Slagna betongpålar utgörs av kvadratiska prefabricerade betongpålar som kan ha olika sidmått och armering. Alla betongpålar ska vara CE-märkta i enlighet med den harmoniserade produktstandarden SS-EN 12794:2005+A1:2007/AC:2008 (SIS, 2008). Dessa installeras genom slagning ner i marken. Slagna betongpålar kan vara antingen mantelburna eller huvudsakligen spetsburna. Mantelburna pålar slås till ett bestämt djup medan spetsburna pålar stoppslås mot fast botten eller berg. Underlag för projektering, projektering och dimensionering av betongpålar beskrivs i kapitel 2-3 och 5-7. Kontroll och verifiering beskrivs i kapitel 9. Slagna betongpålar är massundanträngande och utförandet ska följa utförandestandarden SS-EN 12699:2015, Utförande av geokonstruktioner - Massundanträngande pålar (SIS, 2015a).

Prefabricerade betongpålar är den vanligaste påltypen i Sverige och beskrivs därför med förhållandevis hög detaljeringsnivå jämfört med övriga påltyper.

8.6.1.2 Metodbeskrivning

8.6.1.2.1 Pålelement

Standardiserade pålar är lagervaror och finns idag att köpa från fabrik i olika längder från 3 meter och uppåt. Normalt är maximal elementlängd cirka 13 meter. Det tidigare begreppet standardpålar används fortfarande, och avser pålar som serietillverkas på fabrik med standardmått. Oftast används kvadratiska pålar med sidomått 235, 270 eller 350 mm, och längsgående armering med diameter 12, 14, 16 eller 20 mm med huvuddelen av armeringsjärnen placerade i hörnen, se Figur 8.8.



Figur 8.8 Betongpåle inklusive armering, skarvar och pålsko med olika täckande betongskikt (Hercules, 2026).

Bygelarmering anordnas vanligtvis runt huvudarmeringen som en spiralbygel av kalldragen ståltråd.

Täckande betongskikt till bygelarmeringen bestäms vanligen efter exponeringsklass. Oftast sätts det täckande betongskiktet till minst 25 mm. I aggressiv miljö kan täckskiktet ökas till 45 mm. Detaljerad beskrivning avseende täckande betongskikt ges i kapitel 3.

8.6.1.2.2 Skarvar

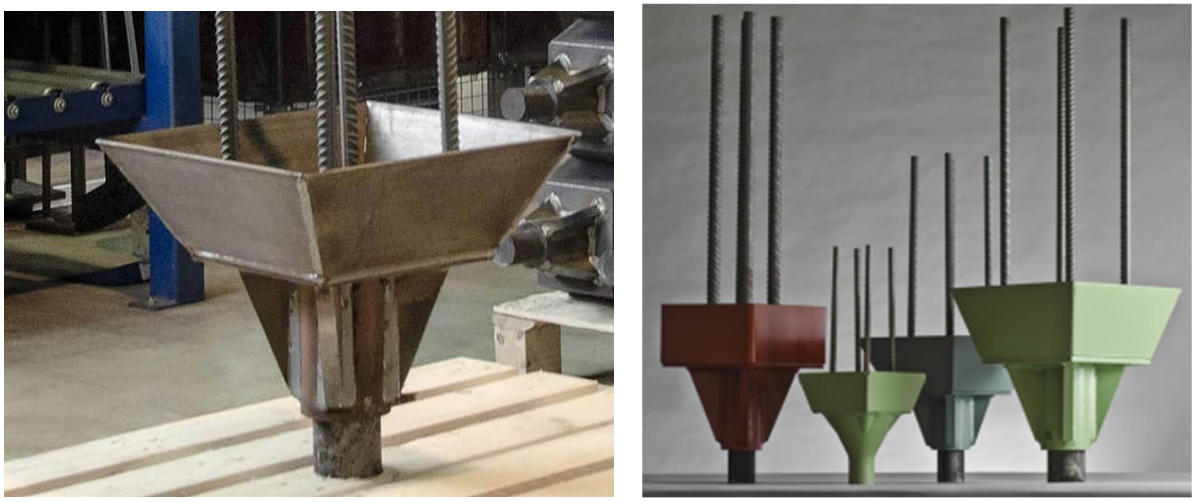
För att utföra längre pållängder skarvas betongpåleelementen. Den numera enda förekommande skarvtypen är ABB-skarv, visad i Figur 8.9. Skarvar ska ingjutas så att pålens vinkeländring efter skarvning inte överstiger 1:75. Det finns även ett antal äldre skarvmodeller, exempelvis Herculesskarv (bajonettskarv), som upphörde att användas 2003.



Figur 8.9 ABB-Pålskarv. Foto: Leimet.

8.6.1.2.3 Bergskor

Pålspetsar förses normalt med s.k. fastgjuten bergsko, se Figur 8.10. Slagkraften centreras med hjälp av bergskon, vars dubb av härdat stål vid kontakt med berg kan mejslas in däri. Då minskas risken för skador i pålen på grund av excentrisk belastning. Andra typer av skor kan användas i finkorniga friktionsjordar och kohesionsjordar där lasten i huvudsak överförs via pålens mantelyta och pålarnas spetslast är liten.

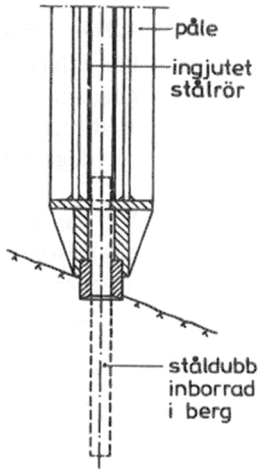


Figur 8.10 Bergskor. Foton: Leimet.

8.6.1.2.4 Specialpålar

För anläggningskonstruktioner, exempelvis kajer där knäckning ofta är dimensionerande för pålarna kan specialpålar tillverkas med relativt stora tvärsnitt. Kostnaden för dessa pålar blir betydligt högre än för de mer standardiserade pålarna med sidomått 235 och 270 mm.

Vid slagning av pålar mot starkt lutande berg finns risk för att pålspetsen ej får fäste, se kapitel 2 och 3. Man kan då använda den s.k. Göteborgsmetoden, visat i Figur 8.11. Pålen förses med ett borrör, vanligen med 57 mm innerdiameter och 1,5 mm godstjocklek. Hålförsedd bergdubb med 100 mm ytterdiameter och 60 mm innerdiameter används. Hålet i bergdubben är fyllt med betong för att förhindra jord att tränga upp i borröret under neddrivningen. Skarvarna har motsvarande hål. När pålen kommer i kontakt med berget avbryts slagningen och borrning påbörjas. Först borras genom betongen i bergskon och sedan vidare minst 0,5 m in i berget. Därefter förs ett stålämne med 45 mm diameter och minst 1 m längd ned i hålet. Slutligen mejslas pålspetsen in i berget med cirka 300 slag med låg fallhöjd. Efter inmejsling slås 10 slag med högre fallhöjd som funktionskontroll av förankringen.



Figur 8.11 Infästning i berg med dubb.

8.6.1.2.5 Maskiner

En pålmaskin består av en basmaskin, som förr ofta utgjordes av en ombyggd grävmaskin. Figur 8.12 visar en modern pålkran, tillverkad av Liebherr. På maskinen är monterat en mast eller ett stöd som håller styrningen för hejaren, den så kallade gejdern. Hejaren slår på en slagdyna, som är placerad mellan hejare och påle. Gejdern är gjord så att den lätt ska kunna anpassas till de lutningar som fordras för pålarna. Maximal lutning är 4:1 framåt och bakåt räknat i maskinens längdriktning. Vid lutande pålar ska beaktas att hejarens effektivitet blir mindre eftersom friktionskrafterna mot hejarens styrning ökar. Vikten av en pålmaskin inklusive hejare varierar normalt mellan 60 och 70 ton. Markbelastningen (under banden) är mellan 60 och 90 kPa, men kan vid vissa vinklar ge högre lokalt kontakttryck. Man kan normalt ej slå betongpålar närmare en befintlig byggnad än 0,5 meter (räknat från pålens centrum) på grund av hejarnas utformning.



Figur 8.12 Maskin för slagna betongpålar.

8.6.1.2.6 Hejare

Frifallshejare

Betongpålar installeras oftast med tunga frifallshejare, i några fall är de också accelererande. Typiska hejarvikter i Sverige är 4-5 ton. Vissa hejare kan byggas ut till 6-8 ton vid behov. De accelererande hejarna kan inte användas för verifiering av geoteknisk bärförmåga enligt hävdvunna metoder, se Pålkommissionens Tekniska PM 1:2012 (Pålkommissionen, 2012), men ger dock mycket jämna belastningar på pålarna under effektiv drivning.

Vibrationshejare

Denna typ av hejare består av ett eller flera par roterande vikter, som drivs av en motor så att det uppstår en pulserande kraft i hejarens längdriktning. Vissa hejartyper har möjlighet att variera frekvensen. Vibrationshejare används mest för att driva spontplank eller stålpålar, men kan också i vissa fall användas för betongpålar. Hejaren kläms då fast i pålen. Vibrationshejaren har då använts för slagning av betongpålar med hejaren löst placerad ovanpå pålen. Vibrationshejaren passar bäst i lös till halvfast friktionsjord. Den fungerar mindre bra i lerjord. Se även avsnitt 8.7 om vibrering av pålar samt kapitel 3.

Dieselhejare

Dieselhejaren består av en relativt tung cylindrisk vikt, som rör sig inuti ett rör. När vikten rör sig nedåt sprutas diesel in i nedre delen av röret, där det finns ett städ, som vikten slår an mot. Vid anslaget antänds dieseln och "kastar upp" vikten. Komprimeringen gör att pålen blir belastad före slaget. Ju större pålens neddrivningsmotstånd är desto högre kastas vikten upp. En viss kontroll av fallhöjden kan ske genom reglering av den mängd diesel, som förs in i hejaren. Dieselhejare används sällan i Sverige, men kan i vissa fall vara aktuella för betongpålar.

8.6.1.2.7 Dynor

Dynans uppgift är att verka som en fjäder mellan påle och hejare och centrera slaget i pålen. På dynan placeras en så kallad slagkubb, som antingen består av hårt trä (azobé eller ek) eller något syntetiskt material. Under slagkubben finns en stålplatta med cirka 50 mm tjocklek. Om pålen är av trä eller

stål placeras denna platta direkt mot pålen. Om pålen är av betong placeras ett dynträ mellan plattan och pålen för att undvika att påltoppen slås sönder. Dynträet består vanligen av 50-75 mm plywood eller ihopspikat trä. Ett nytt dynträ (innan träet har fått några slag) reducerar kraftigt den spänning som alstras av hejarslaget. Spänningen kan reduceras till enbart 10-20 % av den som alstras med ett ihopslaget dynträ. Det är därför viktigt att utföra cirka 300 slag på ett nyinlagt dynträ innan sjunkningsmätning utförs och används för verifiering av pålens geotekniska bärförmåga.

8.6.1.3 Råd

En hel del av de råd som anges i detta avsnitt är även giltiga för slagna stålrörspålar, se avsnitt 8.6.4.

8.6.1.3.1 Lyft

Belastningsfallen lyftning, transport och lagring av pålar ska beaktas vid dimensionering av pålelement. Hanteringsanvisningar ifrån leverantören ska vara upprättade. Vid lyftning med kran ska tillåtet område vara markerat på pålen. Den i fabriken ingjutna lyftöglan får ej användas vid pålkranen för att lyfta pålen. Risk finns att lyftöglan kan ha skadats eller deformerats vid tidigare hantering av pålen. De lyftöglor som används uppfyller inte heller kraven på lyftdon för en sådan operation.

8.6.1.3.2 Installation

Slagningsutrustning ska väljas så att den möjliggör installation av pålar till avsedd geoteknisk bärfömåga eller bestämt djup utan att pålarna skadas. Generellt sett är det bäst att välja en tung hejare och låg fallhöjd. Den låga fallhöjden minskar risken för stora tryck- och dragpåkänningar i pålen och därmed skaderisken. En tung hejare ökar den tid som spänningen verkar i pålen och effektiviserar därmed slagningsarbetet. Tunga hejare kräver emellertid relativt stora och tunga maskiner, vilka kan vara svåra att arbeta med och förflytta.

I samband med slagning av pålar används vissa begrepp för att beskriva egenskaper hos jord, påle och slagningsutrustning:

- Pålbarhet är ett begrepp som används för att beskriva möjlighet till pålslagning i den aktuella jorden.
- Slagbarhet är en egenskap hos pålelementet som betecknar möjligheten att slå pålar utan att pålmaterialet skadas.
- Drivbarhet används för att beteckna möjligheten att slå vald påle ner i den för arbetsplatsen specifika jorden med vald slagningsutrustning. Drivbarheten är en egenskap hos pålsystemet, det vill säga jord, påle och pålningsutrustning.

Pålar ska ha tillräcklig hållfasthet för de spänningar som uppkommer vid själva slagningen, som orsakar både tryck- och dragspänningar, se kapitel 3, 5 och 6. Spänningarnas storlek är bland annat beroende av:

- Slagningens utförande (till exempel fallhöjd och tyngd på hejare).
- Förhållandet påle-slagningsutrustning.
- Jordlagerföljd på pålningsplatsen.

Vid slagning av betongpålar i lös jord ska fallhöjden begränsas till 10-20 cm för att minska risken för skadliga dragspänningar i pålen. Om en påle måste slås med många slag för att erhålla erforderlig bärförmåga kan pålmaterialets konstruktiva bärförmåga överskridas. En betongpåle riskerar att få ut-

mattningsskador vid hård drivning. Risken för skador beror av tvärsnitt, betongkvalitet vid installationen, armeringsinnehåll och hur hård drivningen är. Om pålspetsen vid slagningen når berg eller förmodat berg ska fallhöjden begränsas till cirka 10 cm under 300 slag, för att bergdubben vid pålspetsen ska mejslas in i berget. Denna slagning kallas "inmejsling".

8.6.1.3.3 Skarvning och kapning

Skarvning av betongpålar utförs enligt 8.4.5.7 och kapning enligt 8.4.5.6.

8.6.1.3.4 Slagning i fast jord

Pålslagning i friktionsjord kan ibland ge upphov till olika typer av problem t.ex.:

- Falskt pålstopp, se avsnitt 8.8.
- Försvårad neddrivning på grund av fjädrande jord (ofta i kombination med för lätt hejare).
- Försvårad neddrivning orsakad av packning på grund av tidigare slagna pålar.
- Förekomst av sten och block (bortslagning, osäker bärförmåga, enstaka korta pålar).
- Omgivningspåverkan (packning, vibrationer, förhöjda portryck).

Det gäller därför att vara förberedd på att störningar av ovan nämnda slag kan inträffa. Därför är det viktigt att planera pålningsarbetena väl, så att lämpliga åtgärder kan sättas in när problem uppstår.

8.6.1.3.5 Fjädrande jord

Ett mycket vanligare problem än falska pålstopp är försvårad neddrivning på grund av kraftigt fjädrande jord. Fenomenet brukar uppstå i samma typer av jordar som ger upphov till falska stopp, det vill säga fast lagrade jordar med en hög andel silt och finsand. Följande åtgärder föreslås vid försvårad drivning på grund av kraftigt fjädrande jord:

- Ökad hejarvikt genererar en längre stötvåg, vilket ger en skonsammare drivning genom att färre antal slag krävs för att driva ned pålen tills ett bärkraftigt lager nås. Vidare minskas risken för skadliga dragspänningar.
- Extra dynträ som mellanlägg förlänger stötvågens varaktighet och minskar risken för skadliga dragkrafter.
- Utökad kontroll genom stötvågsmätning av fler pålar möjliggör en sänkning av totalsäkerhetsfaktorn, vilket medför ett mildare stoppslagskriterie.
- Utföra provbelastningar efter en tids bärförmågetillväxt. Genom att utföra stötvågsmätning vid olika tidpunkter kan den långsiktiga bärförmågetillväxten utvärderas.
- Byta till en hejare med högre tillgänglig fallhöjd. Detta möjliggör att en större geoteknisk bärförmåga kan verifieras vid stötvågsmätning. De flesta konventionella hydraulhejare har en maximal fallhöjd på endast 0,8 m. Det behövs ofta fallhöjder på över en meter för att kunna mobilisera den geotekniska bärförmågan i en fjädrande jord. Speciellt om man samtidigt försöker utnyttja bärförmågetillväxten.
- Reducera lasten på pålarna så att den motsvarar den geotekniska bärförmågan som är möjlig att uppnå i det aktuella jordlagret.
- Byte av påltyp.

8.6.1.3.6 Hydraulisk utmattning/vattensprängning

Vid slagning i fasta siltiga jordar, där den elastiska deformationen under drivningen är stor, kan stora dragspänningar uppkomma i pålen vid hård drivning. Om vatten finns runt pålen kan detta sugas in i pålen när dragvågen öppnar sprickorna. När tryckvågen från nästa hejarslag kommer sluts sprickorna och vattnet pressas ut med stor kraft. Denna vattenutpressning kan ge upphov till betydande skador i pålen, vilket kallas hydraulisk utmattning, eller ”vattensprängning”, se vidare kapitel 3. Risken för vattensprängning är större för stora påltvärsnitt och om armeringen är förlagd enbart till påltvärsnittets hörn Speciella åtgärder vid utformning och installation av pålen kan krävas, se kapitel 3 och 6.

8.6.1.3.7 Packningseffekter vid slagning

Förutom de problem som packning ger i form av omgivningspåverkan så kan packning vid slagning av en påle försvåra neddrivningen av nästkommande pålar. Det är vanligt förekommande i åsmaterial och andra löst lagrade friktionsjordar, där slagning av de första pålarna går snabbt men där packningseffekterna gör att de efterföljande pålarna är svårslagna. Ett sätt att reducera konsekvenserna av detta är exempelvis att slå ned pålarna växelvis i en grupp. Normalt är dessa packningseffekter gynnsamma för en pålgrupp eftersom det innebär en högre bärförmåga eller att pållängden kan reduceras.

8.6.1.3.8 Inducerade spänningar i jorden/valvverkan

Vid slagning av en påle i friktionsjord påverkas jorden inte bara av packningen som leder till en ökad lagringstäthet. Pålinstallationen genererar också ökade spänningar i jorden på grund av massundanträngning, i huvudsak i horisontalled. Packningseffekter brukar ske på ett avstånd som generellt brukar antas vara 5 gånger pålens diameter.

Pålslagning genererar stötvågor som utbreder sig radiellt från pålen, samtidigt som det sker en viss sidorörelse. Detta medför att stora tangentiella spänningar gradvis byggs upp kring pålen. De radiella spänningarna mot pålens mantelyta blir, på grund av valvverkan, relativt låga i förhållande till den initiella spänningsnivån i omgivande jord. Den process där detta spänningsvalv gradvis bildas under kontinuerlig slagning benämns friktionsutmattning.

Denna spänningsuppbyggnad kan ha stor påverkan på omkringliggande konstruktioner så som stödmurar och sponter vilket bör beaktas i arbetsberedningen.

8.6.1.3.9 Hinder i jord, sten och block

Med hinder i jord menas i huvudsak sten, 63 – 200 mm och block>200 mm. Notera att de tidigare svenska jordartsgränserna för sten var 60 – 600 mm och för block>600 mm.

Problem med sten och block i jorden i samband med pålslagning visar sig oftast som:

- Pålen böjer av när den stöter på hinder och förblir krökt.
- Pålen vrider sig och förflyttar sig i sidled så att toleranserna inte uppfylls.
- Stora variationer i pållängd på grund av stoppslagning på sten eller block.
- Tveksam bärförmåga eller styvhet på grund av stoppslagning på sten eller block.
- Bortslagna pålar, ofta beroende på för stora krökningar.

Stoppslagning mot sten och block i fast eller mycket fast lagrad friktionsjord utgör oftast inget problem eftersom den omgivande jorden stabiliserar sten och block, vilket därmed möjliggör stoppslagning av pålen utan att blocket förflyttar sig i sidled. Problem med sten och block uppstår i huvudsak i lösa och medelfasta jordlager och speciellt vid slagning i grusåsar. Sten och block i grusåsar orsakar problem

för att grusåsarna är mycket inhomogent uppbyggda och samtidigt som jorden kan vara mycket löst lagrad.

Om drivningsmotståndet är relativt stort kan det vara svårt för pålkransbesättningen att upptäcka om pålen överhuvudtaget stött på block och sedan krökt sig eller till och med gått av. Utökad stötvågsmätning som en produktionskontroll är därför speciellt lämplig vid förekomst av block i mäktiga lager friktionsjord. Stötvågsmätning ger förutom besked om pålens geotekniska bärförmåga, även besked om pålens fjädring och om pålen är bortslagen eller skadad, s.k. integritetskontroll, se kapitel 7 och 9. En enklare kontrollmetod som kan utföras som komplement till stötvågsmätning är manuell fjädringsmätning, vilken kan ge indikation om någon enskild påle står på block i lös jord eller är kraftigt krökt och därmed uppvisar en onormalt stor fjädring.

8.6.1.3.10 Slagningssimulering

Ett sätt att få underlag för val av slagningsutrustning är att genomföra en datorsimulering av pålslagningen, innan arbetena påbörjas, se kapitel 3, Projektering och kapitel 7, Geoteknisk dimensionering. Datorsimulering används vid projektering av pålningsarbeten för att undersöka om det är möjligt att med de tänkta pålarna i den aktuella jorden och med tillgänglig slagningsutrustning erhålla den geotekniska bärförmåga som eftersträvas, utan att spänningen blir för hög i pålmaterialet. Detta gäller i princip för samtliga slagna pålar.

8.6.1.3.11 Knektning

Om en påles kapnivå är belägen under pålmaskinens arbetsnivå kan en s.k. knekt användas, se Figur 8.13. Som knekt används ofta ett stålrör med lämpligt utformade ändar. Stålröret placeras centriskt på pålens topp och drivs sedan ner med pålkranen, precis som en vanlig påle. När avsedd nivå är nådd stoppslås pålen och knekten lyfts bort. I de allra flesta fall utförs detta för mantelburna pålar, ofta rena kohesionspålar. Det är oftast mer fördelaktigt att installera pålarna från en befintlig markyta, eftersom den är lättare att göra bärig för en tung pålkran. Dessutom undviks problem att transportera pålkranen ner och upp i djupa schakter. Knekten bör ha minst samma akustiska impedans som pålen, se kapitel 9, speciellt om man dessutom vill använda den som en s.k. ”mätknekt” och stötvågsmäta en nedknektad påle. För en betongpåle, som ska knektas ner med stålknekt, ska knektens tvärsnittsarea vara minst 1/4 av pålens tvärsnittsarea. Eftersom det uppstår energiförluster mellan knekt och påle ska fallhöjden ökas med 15-20 % vid stoppslagning om knekt används.



Figur 8.13 Pryl och knekt.

8.6.1.3.12 Prylning/Förborrning

Pålar ska inte drivas genom tjocka fyllningar om risk finns att fyllningen skadar pålen. I sådana fall kan en så kallad pryl användas, se Figur 8.14. Prylen kan bestå av en stålbalk eller ett rör. Den kan också vara koniskt formad. Vid mindre svårforcerade fyllningar används hejaren för nedslagning av prylen och pålmaskinens fånglina till att åter dra upp den. I besvärliga fyllningar klarar ej pålmaskinen att dra upp prylen. Det kan då vara nödvändigt att använda vibrationshejare eller en omvänt verkande tryck-luftshejare (luftuppknackare) för att dra upp prylen.

Om prylningen riskerar att skada tidigare slagna pålar i en pålgrupp bör prylning utföras för samtliga pålar i pålgruppen innan pålslagningen påbörjas. I vissa fyllningar kan hinder (exempelvis sprängsten) förekomma, som prylen ej kan passera. I sådana fall kan förborrning erfordras. Med hjälp av foderrörs-borrning med cirka 140 mm diameter kan sprängsten oftast spräckas och en vanlig betongpåle kan därefter slås. Pållägena kan också genomgrävas med en vanlig grävmaskin om hindret inte befinner sig alltför djupt.



Figur 8.14 Pryl av stålrör med bergsko.

8.6.1.3.13 Proppdragning/augerborrning

En av nackdelarna med slagna massundanträngande pålar är att själva massundanträngningen kan medföra oacceptabla deformationer på omgivande byggnader och mark. I lös lera kan man undvika eller åtminstone minska massförskjutning genom att dra lerproppar. Detta är speciellt viktigt då pålar exempelvis slås i eller intill en slänt eller nära intill en kajkonstruktion. Proppar kan dras med lerpropp-rör eller skruvas upp med auger, se Figur 8.15. En auger är en stor skruv som vrids ner i jorden och sedan dras upp. Lerproppsrör slås, trycks eller vibreras ned. Leran pressas då in i röret. Rörets nedre ände stängs med en lucka eller också används tryckluft för att hålla leran kvar när röret åter dras upp.

Eventuell friktionsjord över leran bör tas bort innan lerproppsröret ansätts. Svårigheter vid proppdragning kan även uppstå i lerans torrskorpa. Röret får då först ansättas genom torrskorpan. En ny ansättning utförs därefter i hålet genom torrskorpan.

Möjligheten att extrahera lera med ett propprör, beror på rörets diameter och dess längd. Ju större och längre röret görs, desto större kraft krävs för proppdragningen, framförallt vid uppdragningen. Beroende på neddrivningsmetod och rördiameter fås också olika ”pluggeffekt”, dvs. röret fylls inte helt med lera pga. vidhäftning mot rörets insida.

Tekniken används i stort sett endast i lösa lerlager och för vertikala pålar. I övriga jordar och för lutande pålar fungerar metoden betydligt sämre. Metoden med augerborr är kostnadseffektiv och en augerborr finns ofta fast monterad på pålkranarna. Metoden har begränsningar då den inte går att använda i vatten och är svår att använda i sensitiv och siltig lera. I vissa fall kan blockrik fyllning som överlagrar leran vara ett hinder för augerborrningen.

Tekniken kan användas både i läget för pålens placering och utanför den. På pålkranar fast monterade augerborrar kan typiskt åstadkomma cirka 12 m långa borrningar, med cirka 10 m full effekt. Om pålning ska ske i borrhålet kommer toleransen för placeringen i plan att påverkas negativt. Borrningen kan utföras i grupper eller i ”gardiner”, beroende på vilken effekt man vill uppnå. Metoden innebär att de resulterande lerhögarna måste avlägsnas med grävmaskin för att inte orsaka arbetsmiljöproblem. Dessutom är det av stor vikt att borret rengörs från lera för att förhindra att torkade lerklumpar senare kommer nedfallande på personal som arbetar nära pålkranen.



Figur 8.15 Augerborr på en pålkran och resultatet av en augerborrning.

8.6.1.3.14 Vattenspolning

Vid pålslagning i fast lagrad jord eller jord som packas (kompakteras) av själva slagningen kan det vara svårt att driva ned pålar till önskad nivå. Ett hjälpmedel kan då vara vattenspolning. Vid spolning måste dock stor försiktighet iakttagas så att vattnet vid spolningen ej skapar hålrum under pålen. Spol-

ningen reducerar pålens mantelbärförmåga och kan även reducera dess spetsbärförmåga. Detta underlättar neddrivning, men kan också minska bärförmågan hos tidigare slagna närliggande pålar. Spolmetoden bör endast användas då man av konstruktiva eller geotekniska skäl tvingas att med pålar tränga igenom ett lager av fast friktionsjord.

8.6.1.3.15 Banddräner på pålar

I lerjordar kan höga porvattentryck alstras av själva pålslagningen. Vid ogynnsamma geotekniska förhållanden kan pålningen därför medföra en ökad risk för skred. För att minska dessa risker och dränera bort delar av det ökade portrycket kan pålar förses med banddräner på mantelytan. Det är en ovanlig metod men kan vara tillämplig i vissa jordar. Normalt räcker det att fästa banddränen vid pålskon och sedan låta dränen "följa pålen" ned i jorden. Dränbandet kan alternativt fästas utefter pålsidan med hjälp av spikpistol.

8.6.2 Träpålar

8.6.2.1 Allmänt

Trä har historiskt en lång tradition som pålmaterial för grundläggning av olika typer av byggnadsverk. Idag används dock rena träpålar huvudsakligen för ställningspålning, mycket sällsynt för pliggpålning (packning av friktionsjord), eller som träpalissader visat i Figur 8.16. Träpålar används också för promenaddäck i anslutning till vatten och till mindre permanenta bryggor, oftast i impregnerad form. Pliggpålning är egentligen en jordförstärkningsmetod där korta pålar slås tätt för att packa friktionsjord. Efter packning grundläggs konstruktioner ytligt med plattor.

Träpålar används vanligen som mantelburna pålar, eller som delvis spetsburna pålar. På grund av risken för skador på pålspetsen används träpålar ej vid slagning mot berg.



Figur 8.16 Tryckning av träpålar för brygga och träpalissad. Foto: Jonsson Entreprenad.

8.6.2.2 Metodbeskrivning

8.6.2.2.1 Material

Träpålar bör vara av friskt virke, barkade och utan djupare gående blåträ eller insektsangrepp. De ska heller inte vara alltför krokiga. Rakhetskravet är vanligtvis 1/300 över en mätlängd om 3 m. Se eventuella krav i gällande bygghandling. Eftersom påltypen kan vara väldigt slank är upplaget av yttersta vikt vid en sådan kontroll. Träpålar har en konisk form och diametern ökar mot rotändan. Träpålarna installeras med rotändan uppåt.

Skarvning av träpåle mot träpåle rekommenderas inte i ett normalfall. Det finns skarvar på marknaden av dubbel hylstyp för ändamålet, men det är problem att praktiskt få till en bra kvalitet på skarvningen. Lutningsändringen i skarven bör inte vara större än 1:75.

Pålspetsen kan vara försedd med en pålsko av plåt, eller med en sprickring av stål. Pålar som slås i lera eller lös friktionsjord bör ha en spetsdiameter som är minst 125 mm. Vid slagning i friktionsjord bör spetsdiametern vara minst 150 mm. Viss variation kan förekomma i diametertillväxt för träpålar. Det är viktigast att kontrollera pålarnas toppdiameter. Vanligaste toppdiametrarna varierar mellan 125 mm (5”) och 250 mm (10”). För den klenaste diametern finns ofta upp till 20 m långa pålar och för den största diametern brukar längden maximalt vara 13 m. Större pålar kan offereras, men är mer sällsynta. Föreskrivs sådana pålar erfordras särskilt noggrann kontroll av pålmaterialet.

Pålarna ska vara jämnt koniska över hela längden. I och med att träpålar har olika egenskaper beroende på hur och var pålarna växt erfordras ibland bestämning av de geometriska egenskaperna på plats.

För att undvika skador bör träpålar tryckas ner till fastare jordlager eller slås med skonsammare stoppslagningskriterier. Vid installation av pålar i extremt lös kohesionsjord eller i fritt vatten med litet underliggande jordtäcke behöver hänsyn tas till risken att pålarna flyter upp p.g.a. pålarnas lyftkraft. Pålarna bör belastas så snart som möjligt för att undvika detta. Om pålarna installeras i lösa jordar och ska skarvas, kan problem uppstå med att slå ihop skarven, eftersom den undre pålen saknar tillräckligt motstånd. Då kan den undre träpåledelen behöva ”planteras” viss tid i förväg och få växa fast innan skarvning vidtas.

Installation av pålar vid låga temperaturer bör undvikas på grund av risk för sprickbildning i pålen. Vid drivning genom fastare jordlager eller ned till och in i sådana bör pålspetsen skyddas med en sprickring av stål. Också påltoppen (dess rotände) kan i förekommande fall vid hårdare drivning kräva skydd i form av en sprickring. I princip ska också alltid förberedande prylning genom övre, fastare jordlager ske.

Vid risk för drivning genom jordar som innehåller block eller sten bör spetsen förses med en särskild stålsko. Om sådan risk föreligger bör träpålar dock väljas bort och ersättas med en annan påltyp.

8.6.2.2.2 Maskiner

Träpålar kan antingen installeras med en pålkran med fallhejare, likt slagna betongpålar och slagna stålrörspålar (se avsnitt 8.6.1 och 8.6.4), oftast med lägre vikt eller fallhöjd, alternativt tryckas eller vibreras ner med mindre maskiner, se Figur 8.16.

8.6.2.3 Råd

8.6.2.3.1 Installation av träpålar

Träpålar slås med hejare eller trycks ner med maskin. De utförs vanligtvis som mantelburna pålar, vilket innebär att slagning till erforderlig bärförmåga oftast inte behöver genomföras. Om spetsbärförmågan ska tillgodoräknas bör träpålarna förses med en stålring vid spetsen. Vid slagning av träpålar är det viktigt att pålarna placeras rätt i hejarna och att de inte knäcker ut vid slagningen. Detaljerad beskrivning av riskerna vid slagning bör ingå i arbetsberedning, se avsnitt 8.4.4.

8.6.2.3.2 Skarvning av träpålar

Skarvning av träpålar kräver stor noggrannhet. Risken för skadlig vinkelavvikelse i skarven är mycket stor eftersom eventuell avvikelse i skarven förstärks av pålens naturliga slankhet och imperfektion. Skarvning av träpåle mot träpåle rekommenderas inte i ett normalfall. Det finns skarvar på marknaden av dubbel hylstyp för ändamålet. I Peleveiledningen 2019 (NGF, 2019) står: ”Da det erfaringsmessig er vanskelig å få til en tilfredsstillende skjøt på byggeplass, bør skjøting trepel mot trepel unngås”. Träpålar som ändock skarvas bör därför vara exceptionellt raka så att de ej styr åt sidan och förstör skarven. Skarvning av pålar ska ske så att minsta möjliga vinkelavvikelse uppkommer i skarven. Skarvning av träpålar kan göras med hjälp av en skarvhylsa, som slås in till hälften av sin längd i den undre pålens övre ända. Den övre pålens nedre ända placeras på skarvhylsan och påländarna slås därefter ihop. Vid skarvning av träpålar ska ändytorna vara vinkelräta mot pålens längdaxel. Vid användning av två träpålar under ett pålelement av betong måste träpålarna vara exceptionellt raka för att de ej ska styra åt sidan. En träpålskarv har mycket begränsad böjstyvhet.

8.6.2.3.3 Pålars beständighet

Angående träpålars beständighet hänvisas till kapitel 3. Permanenta träpålar får ej användas över grundvattennivån. På påltoppen används i sådana fall en överpåle, vilken kan bestå av en betongpåle med den typ av skarv som beskrivits ovan i den nedre påländen. Den på detta sätt anordnade pålen kallas kombinationspåle, se avsnitt 8.6.3.

Med hänsyn till pålarnas beständighet är syftet med de geotekniska undersökningarna att ge underlag för bedömning av jordens och grundvattnets korrosivitet gentemot betong eller stål. För träpålar erfordras uppgift om grundvattenförhållandena dels vid byggnadstillfället och dels under byggnadens användningstid, för att kunna bedöma risken för rötangrepp. Dessa uppgifter är avgörande för virkets beständighet.

8.6.2.3.4 Provbelastning

Bärförmågan verifieras antingen genom beräkning, då pålen slås till erforderlig djup, alternativt kan statisk eller dynamisk provbelastning användas, se kapitel 7 och 9.

Normalt bör kohesionspålar av trä ej provbelastas tidigare än 1 månad efter installation. Är tillväxten av pålarnas bärförmåga osäker kan upprepad provbelastning tillgripas.

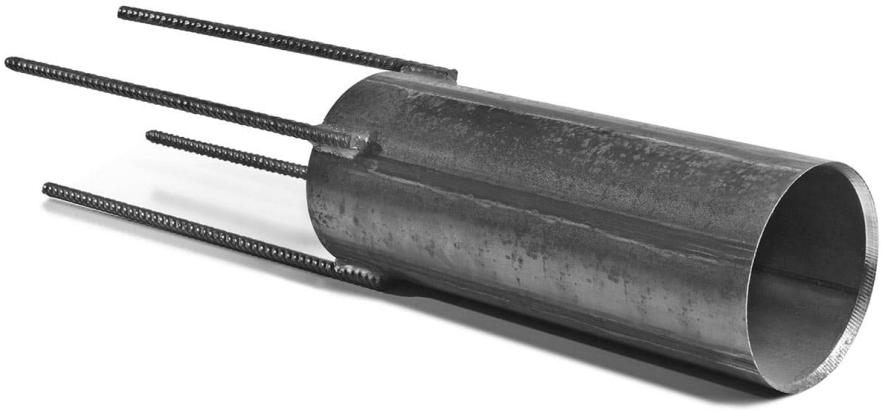
För träpålar mäts provpåles eller påldels omkrets eller tvärmätt (mätnoggrannhet ±5 mm på omkretsen) på varje meter. Om pålarna avses provas med stötvågsmätning kan med fördel densitetsprovning av träpålen utföras, varvid ett prov sågas ur någon av pålens ändar. Densiteten kan kopplas till gånghastighet och E-modul hos träet. Dessa egenskaper kan också provas på uttagna prov på laboratorium, varvid också hållfastheten kan provas.

8.6.3 Kombinationspålar

Här ges en översiktlig beskrivning av hur olika pålmaterial kan användas i samma påle. Det finns också olika exempel på att betongpålar har utförts med olika dimensioner i olika delar, men dessa faller utanför ramen för kombinationspålar.

8.6.3.1 Betong- och träpålar

Kombinationspålar kallas vanligen pålar med en överpåle av betong och en underpåle av trä. Skarvning sker normalt genom en speciellt utformad hylsskarv. Betongpålen används genom fyllning och andra jordlager ned till från rötsynpunkt betryggande djup under grundvattenytan. Kombinationspålar används huvudsakligen som kohesionspålar. Figur 8.17 visar en vanligen använd skarv för denna påltyp, den så kallade Binabskarven. Skarven gjuts in i betongpålens nedre ände och slås in i träpålen vid skarvning. Denna typ av skarv har liten momentbärförmåga och beräkningsmässigt ingen dragbärförmåga, så den ska endast användas för tryckbelastade kohesionspålar.



Figur 8.17 Skarv mellan betong- och träpålar. Kallas oftast för Binabskarv. Bild: Leimet.

8.6.3.2 Betong- och stålpålar

Det finns också möjlighet att använda betong-stål kombinationspålar för att skapa en del av pålen med betydligt högre konstruktiv bärförmåga. Detta kan vara aktuellt för kajkonstruktioner, pålar med en stor längd i fritt vatten eller andra områden där pålens beständighet är av stor vikt, som förorenad mark. Skarv för denna typ av pålar får anpassas till de anslutande påltyperna samt arbetsmetodiken (om det behövs dykare eller annat).

8.6.4 Slagna stålrörspålar

8.6.4.1 Allmänt

Här behandlas slagna stålrörspålar, enligt utförandestandarden SS-EN 12699:2015, Utförande av geokonstruktioner – Massundanträngande pålar (SIS, 2015a). Slagna stålrörspålar kan användas och optimeras för många olika konstruktioner i och med att bärförmågan kan varieras med påldimensionen.

Det finns CE-märkta stålpålar enligt olika leverantörsspecifika ETA (European Technical Assessment). Pålleverantörer har ingen skyldighet att CE-märka pålarna. Stålrören ska dock vara CE-märkta och tillverkningen av pålarna ska vara tredjepartsgranskad och CE-märkt enligt SS-EN 1090-1:2009+ A1:2011 (SIS, 2011).

Flera leverantörer tillhandahåller bestämmelser för hur deras produkter ska hanteras i alla avseenden, inklusive tabellerade värden över vilka strukturella och geotekniska bärförmågor som kan uppnås. Leverantörernas bestämmelser ska alltid följas för att erhålla en korrekt produkt.

Stålpålar kan indelas utifrån ett flertal kriterier. Det är vanligt att kalla vissa dimensioner för ”slanka” och vissa för ”grova”, men beroende på kriterie, så är gränserna olika. Beteckningarna beror ofta på att det dels har funnits två olika Pålkommissionsrapporter som behandlat slagna stålpålar, Rapport 98 – Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar (Pålkommissionen, 2000) och Rapport 90 Grova stålrörspålar – Anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll (Pålkommissionen, 1993), dels att pålarna fram till 2015 hänfördes till olika utförandestandarder.

8.6.4.2 Metodbeskrivning

8.6.4.2.1 Pålmaskiner och hejare

Pålningsmetodiken är förhållandevis lika för stålrörspålar med diametrar mellan cirka 75 mm upp till cirka 140 mm, vilka kan installeras med höghastighetshejare (hydraulhammare) från kranbil eller med stålpålemaskiner. Sådana pålar används oftast för mindre byggnader. För pålar med diameter cirka 170 mm och större krävs oftast stålpålemaskiner eller vanlig pålmaskin med 4-5 ton fallhejare, (se beskrivning för hejare för slagna betongpålar), för att erhålla tillräckligt hög slagenergi för installationen. I Figur 8.18 visas slagning av slanka stålrörspålar med pålkran och hydraulhammare.



Figur 8.18 Slagning av stålrörspålar med pålkran och hydraulhejare.

För grövre dimensioner krävs i princip betydligt tyngre pålkranar. Vid stoppslagning och framförallt vid verifiering av geoteknisk bärförmåga krävs hejare som kan leverera tillräcklig energi. Det är relativt vanligt att använda en hejare vid drivningen och en specialanpassad hejare med betydligt högre

kapacitet för verifiering med stötvågsmätning. För närvarande finns det få sådana utrustningar tillgängliga i Sverige.

Stålrörspålar med stor dimension kan med fördel användas för konstruktioner som ger höga och koncentrerade laster där det erfordras hög bärförmåga inom ett litet område. Exempel är brostöd och olika marina konstruktioner. Figur 8.19 visar grova stålrörspålar inför ingjutning. I kapitel 3, projektering, redovisas när det är lämpligt att använda grova stålrörspålar.



Figur 8.19 Stålrörspålar med stor diameter. Foto: Peab Grundläggning.

8.6.4.3 Material

Det finns ett fåtal leverantörer av stålrörspålar, där specialkomponenter används för pålskor och för skarvning. Man måste vara uppmärksam på vilka bestämmelser som gäller för ett visst objekt. Förutom de grundkrav som ställs i de olika Eurokoderna och i AMA (Svensk Byggtjänst, 2023), finns det i TRVINFRA (Trafikverket, 2025a) / TRV AMA (Trafikverket, 2025b) materialkrav för stålrörspålar med Trafikverket som beställare, som i vissa fall medför högre krav på materialet.

Material för stålrörspålar innefattar:

- Element.
- Skarvar.
- Pålsko.
- Topplåt.

Specifikationer för material till stålrörspålar ska finnas beskrivna i bygghandling.

8.6.4.3.1 Pålement

I regel levereras pålarna från fabrik med pålspetsbeslag, plansko eller bergsko monterade. Pålmaterialet ska kontrolleras och godkännas vid ankomsten till arbetsplatsen, se kapitel 9, kontroll och verifiering. På arbetsplatsen skarvas pålarna till för installationen lämpliga längder och förses med övriga anordningar som erfordras för att transportera, lyfta och slå pålarna. För dessa arbeten anordnas lämpligen en "verkstad" med erforderlig utrustning och klimatskydd.

För långa och tunnväggiga pålelement ska det uppställas hanteringsregler, baserade på hållfasthetsberäkningar. Skarvning av pålarna i samband med neddrivningen kräver anordningar för klimatskydd och uppvärmning. Tunnväggiga rör skadas lätt vid hanteringen, t.ex. vid lossning och enpunktslyft. En viktig del av pålningsarbetet är utsättning och inmätning av pålarna. I påldimensioner upp till 406,4 x 12,5 mm finns det CE-märkta pålelement med påsvetsad hylsskarv, vilket är att föredra om det är möjligt, då man undviker svetsproceduren av pålen under neddrivning.

8.6.4.3.2 Pålsko/Bergsko

Figur 8.20 och Figur 8.21 visar exempel på bergskor för stålrörspåle >400 mm. Pålskon utgörs nästan undantagslöst av en bergsko med en härdad ståldubb, se Figur 8.21, då stålpålar för att kunna utnyttjas till sin fulla bärförmåga kräver kontakt med berg eller block. Skon ansluter till pålen och tar den koncentrerade lasten vid pålens nederkant. Eftersom pålen i de flesta fall är spetsburen och slås till önskad geoteknisk bärförmåga (se kapitel 7 och 9) behöver pålskon klara den belastning som uppkommer vid slagning. Detta kan till exempel vara block eller sluttberg som ger en excentrisk last i pålen och höga spänningar. Eftersom en dubb används som mejslas in i berg hindras pålspetsen från att glida åt sidan vid sluttberg.

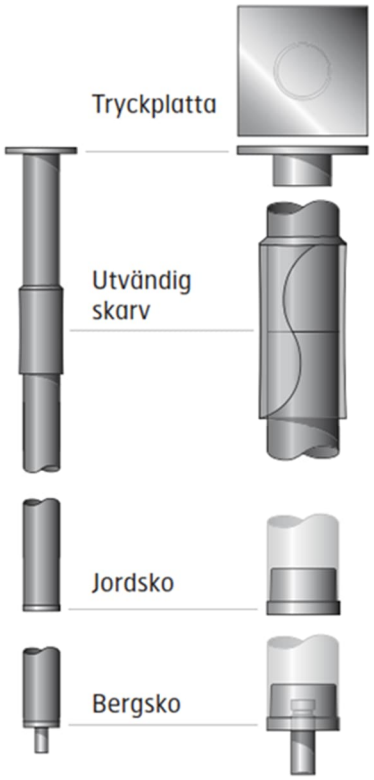


Figur 8.20 Exempel på bergsko för grov stålrörspåle.



Figur 8.21 Bergsko med dubb av konstruktionsstål och pålagd svets och en öppen bergskos k ”Hullspiss” försedd med härdad dubb, båda monterade på grov stålrörspåle.

För slagna stålrörspålar med mindre dimensioner är bergskon lös och slås fast i pålrörets nedre ände innan pålen drivs ner i marken. Ett exempel på detta visas i Figur 8.22. Det finns exempel på sådana lösa bergskor också för pålar med större dimensioner.



Figur 8.22 Lös bergsko för slagna stålrörspålar.

8.6.4.3.3 Skarv

Skarvning utförs med hylsskarv, vilka håller ihop pålarna med friktion. Det finns också gängade skarvar, främst avsedda för borrade pålar, som också kan fungera för slagna stålpålar. Båda varianterna finns för närvarande i dimensioner upp till 406 mm. För större dimensioner måste skarvning med svetsning utföras. Kompetens och kontroll av utförandet är av naturliga skäl höga vid ett sådant förfarande.

8.6.4.4 Råd

Se även råd för slagna betongpålar, avsnitt 8.6.1.3, för allmänna råd vid slagning av pålar.

8.6.4.4.1 Val av installationsutrustning

Pålningsutrustning vid slagning

Vid val av slagutrustning för installation av slagna stålrörspålar av mindre dimensioner måste installationsutrustningen anpassas till dimensionen. Pålar med diameter upp till 140x10 mm installeras ofta med en hydraulhammare hängande i en lastbilskran, vilken också har fördelen att samtidigt transportera pålmaterialet till arbetsplatsen. Pålar upp till 170 x 12,5 mm installeras vanligtvis med hydraulhejare, gejdermonterade på lätta maskiner, se foton i kapitel 3. För grövre dimensioner krävs betydligt tyngre pålkranar.

Som tumregel bör i första hand den tyngsta hejaren som finns tillgänglig (för den aktuella pålkranen) väljas. En tung hejare ger effektiv och skonsam drivning. Det beror på att en tung hejare ger en stötvåg med lång varaktighet. Med en tung hejare kan man alltså driva pålen med en lägre fallhöjd med bibehållen god drivbarhet. Det leder till minskade tryckspänningar i pålen och därmed minskad risk för utmattning. Lång varaktighet hos stötvågen har också fördelen att en större andel av pålen är tryckt under slagningen, vilket minskar risken för att skadliga dragspänningar uppstår. Att använda en tyngre hejare kan ofta innebära merkostnader i de fall en större pålkran måste användas, vilket gör att det finns en avvägning mellan drivbarheten och kostnaden. I vissa fall är det befogat att utföra en drivbarhetsanalys genom datorbaserad slagningssimulering för att utreda vilken hejare som är tillräckligt effektiv för de aktuella geotekniska förutsättningarna och vald påltyp och som gör att inga skadliga spänningar uppstår vid drivningen. Ibland måste man även kontrollera om den maximala fallhöjden är tillräcklig för att mobilisera bärförmågan vid provbelastning med stötvågsmätning. Detta kan många gånger vara dimensionerande för val av hejare. Datorbaserad slagningssimulering beskrivs i kapitel 3 och 7.

Slagningstiden för stålrörspålar är en viktig kostnadsfaktor och påverkar val av maskin, speciellt för pålar av större dimensioner. Datorsimulering av slagning med olika kombinationer av påle/slagdon underlättar valet av lämplig kombination. Det är viktigt att slå centriskt och i pålaxelns riktning. Excentriska slag medför att anslagsytan överbelastas lokalt och deformeras, vilket leder till sämre kraftöverföring, längre slagningstid och ökad bortslagning. Det kan också leda till att en del av pålens övre del måste skrotas pga. deformationer och överbelastat material. Slagdon bör därför väljas som är väl styrt, som centrerar slagen mot pålen och som slår i pålens längdriktning. Vid långvarig slagning i relativt fast jord är det viktigt att använda en hejare som ger lång stötvåg och en slagdyna som ger lång stigtid och tar bort oönskade spänningstoppar i stötvågen.

Fallhejare är fördelaktig när en påles geotekniska bärförmåga ska verifieras dynamiskt, t.ex. genom stötvågsmätning. Stor kraft måste kunna slås in i pålen för att aktivera spetsbärförmågan, vilket innebär att stor fallhöjd (>2 m) ofta krävs. Tung hejare är därför att föredra. Slagenergin kan ökas genom att använda större fallhöjd, men denna möjlighet begränsas av att påkänningen i pålmaterialet ökar vid höjning av fallhöjden. Risken för sönderslagning blir då större. När pålar ska slås till gott fäste mot lutande bergyta är fallhejare lämplig att använda genom att fallhöjden kan varieras.

Hos en dubbelverkande hejare accelereras slagkolven snabbare än i en fallhejare, genom att ett övertryck appliceras på översidan av kolven. I övrigt fungerar den som en fallhejare. En variant av denna hejartyp är hydrauliskt drivna s.k. dubbelverkande slagdon. Dessa finns i flera storlekar och är i vissa fall kapslade så att de kan arbeta under vattenytan.

Dieselhejare driver pålen relativt snabbt, slår centriskt och ger sällan skador på stålrörspålar trots förhållandevis hård slagning. Effektiviteten, uttryckt som förhållandet mellan uppnådd och teoretisk stötenergi i pålen är dock förhållandevis låg för denna typ av hejare. Dieselhejare är direkt olämpliga vid pålslagning i lös lera och mot berg. I lös lera är det ofta svårt att få hejaren att arbeta kontinuerligt på grund av att pålmotståndet blir för litet för att förbränningstrycket ska förmå att kasta upp hejaren så högt att den återtänder. Mot berg ger rekylen från pålspetsen ökad fallhöjd och ökad kraft i hejarslaget varför det finns risk att pålen slås sönder vid spetsen. I ogynnsamma fall kan den rekyl som en kraftig spetsreflex orsakar, i kombination med förbränningskraften, bli så stor att slagkolven skjuts ut ur sitt styrrör. En tumregel är att en dieselhejare driver pålen ungefär lika bra som en fallhejare som har dubbelt så stor slagkolvvikt som dieselhejaren. Miljöproblem, oljesprut och buller gör att dieselhejare används allt mindre. I flera länder är deras användning förbjuden i vissa områden.

Tekniken att slå rörpålar med hejaren i bottnen av pålen är en specialmetod som ibland kommer till användning. Bottenslagning lämpar sig bäst för huvudsakligen spetsburna pålar och friktionspålar men kan också användas för kohesionspålar. Fördelen med bottenslagning är att bullernivån blir låg och att neddrivningskraften blir störst där den behövs bäst i slutskedet av nedslagningen. Hejarslaget ger en nedåtriktad tryckvåg mot spetsen och en uppåtgående dragvåg. Ju större spetsmotstånd och ju mindre spetsrörelse som uppkommer, desto mindre blir den energistjälande dragvågen uppåt i pålen. I slutskedet av slagningen av en spetsburen påle kan således större energi tillföras spetsen om man slår i botten i stället för på pålhuvudet med samma hejare och samma fallhöjd. Detta gäller speciellt för långa pålar med betydande mantelmotstånd. En nackdel med bottenslagning är att pålröret och pålspetsen utsätts för stora dragkrafter under nedslagningen.

Vid inmejsling av pålspets mot berg är hög spänningsnivå och kortvarigt stötförlopp nödvändigt. Beträffande berginmejsling av dubbar med stor diameter, av det slag som ofta åsyftas vid bergskor anbringade på grova stålrörspålar, kan tillräckligt kort stigtid för inmejsling vara svår att åstadkomma. I sådana fall uppkommer krossning av berget inom ett område kring dubben. Istället bör en härdad ståldubb eller en rörformad dubb och ändborrad styrdubb användas, om pålen nedtill får dåligt sidostöd av jorden, exempelvis vid lera direkt på berg.

Pålningsutrustning vid vibrering

Vibrohejaren har viss likhet med dieselhejaren, så till vida att den i regel fungerar bäst vid drivning i friktionsjord, sämre i kohesionsjord och är direkt olämplig för pålar som slås mot berg. Vibrohejare spänns i regel fast i pålen hydrauliskt, vilket medför att dragkrafter uppstår i pålen under drivningen. En del av den tillförda energin går åt att packa jorden i pålens omgivning. I gränsskiktet mot pålen kan jorden packas sämre. Vibrodrivna friktionspålars bärförmåga blir därför ibland lägre än för pålar drivna med diesel- eller fallhejare. Vibrohejare fungerar bäst i löst lagrad friktionsjord under grundvattenytan och dåligt i fast lagrad friktionsjord. Den kan ge upphov till störande vibrationsutbredning i lera till stora avstånd från pålningsplatsen. Se vidare avsnitt 8.7.

8.6.4.4.2 Drivning

Ofta föreskrivs att slag/sjunkningsmätning ska utföras för hela slagningsförloppet. Dagens pålmaskiner kan förses med utrustning för automatisk registrering. Registreringar bör överlämnas fortlöpande till beställaren. För att slagen ska träffa centriskt och i pålens riktning så att pålen inte stukas ska lämpligt slagdon användas, med lämplig kombination av fallhöjd/anslagshastighet och därtill hörande utrustning. Pålen ska efter slagning inte vara skadligt krökt eller skadad (läckage) och uppfylla ställda krav på konstruktiv och geoteknisk bärförmåga.

Vid pålning från ponton eller arbetsbrygga, men också vid pålning på land till stort djup, kan pålarna med fördel slås vattenfyllda för att minska påfrestningen på rören under slagningen. Före kapning kan, då så föreskrivs, kontrolleras att pålarna är täta genom att pumpa ur vatten till cirka 2 m djup under omgivande vattennivå och mäta om vattenytan stiger i röret.

8.6.4.4.3 Skarvning

Svetsning kräver vanligen oförstörande provning enligt SS-EN 1090-2:2018+A1:2024 (SIS, 2024) och långa väntetider mellan svetsning och provning, se kapitel 9. Gängade skarvar kräver kontroll av att erforderligt åtdragningsmoment används.

8.6.4.4.4 Kapning

Slagen ände av pålröret skall vara opåverkad av installationen och renkapas vid behov. Kapningen av pålarna ska i allmänhet göras vinkelrät mot pålaxeln. I det fall en stålplatta ska monteras på påltoppen ska kapytan bearbetas till erforderlig planhet. Om lasten ska överföras med kontakttryck mellan topplåt och pålyta gäller speciella krav för toleranser för jämnhet enligt SS-EN 1090-2:2018+A1:2024 (SIS, 2024). Detta ska beaktas i bygghandling och arbetsberedning. Se vidare avsnitt 8.4.5.6.

8.6.4.4.5 Montering av topplåt

Topplåtarna placeras centriskt på pålen om inget annat anges. Topplåtarna har ofta styrningar som gör att de kan läggas direkt på röret. Om krav inte finns på svetsning av topplåt så är det viktigt att den som utför gjutningen runt topplåten är noga med att topplåtarna ej lyfter och hamnar fel vid kringgjutning. Om krav på svetsning av topplåt finns så kontrollera kraven för detta och säkerställ att arbetet går att utföra på ett arbetsmiljöriktigt sätt på arbetsplatsen. Röret sticker ofta upp cirka 20 cm och då kan det vara svårt att komma åt under topplåten. Det finns lösningar med topplåtar med påsvetsade armeringsjärn som placeras på pålen vid avslutad igjutning och därmed blir armeringsjärnen ingjutna och topplåten sitter fast. Topplåten bör då ha ett eller flera hål som möjliggör efterfyllning av injekteringsbruk om bruket i pålen sjunker undan. Se vidare avsnitt 8.4.5.11.

8.6.4.4.6 Åtgärder efter neddrivning

Pålens avvikelse från avsett läge i plan och nivå samt avvikelse från avsedd lutning och riktning, mäts in efter avslutad slagning. Om misstanke uppstår att pålarna har flyttat sig när grannpålar blivit slagna görs förnyad inmätning. Genom tolkning kan kontrolleras i vilken mån pålen är bucklad eller krökt. I vissa fall ställs krav på att alla pålar ska tolkas med rörformad tolk, för kontroll av att pålarnas tvärsnitt är intakt. Vid behov videofilmas pålen för att identifiera misstänkta skadors läge och utseende för val av åtgärd.

8.6.4.4.7 Armering och gjutning

Stålrörspålar fylls ofta med betong för att minska den inre korrosionen i pålen samt öka den konstruktiva bärförmågan i de fall då samverkan mellan betong och stål använts vid dimensioneringen.

Betongfyllning av pålar ska utföras enligt bygghandling. I de fall pålröret är fyllt med vatten då gjutningen startar bör vattnet pumpas eller blåsas ur. Lyftkraften hos det länsade röret ska då beaktas. Gjutning ska utföras genom slang som mynnar vid stålrörets botten under hela gjutningen, tills ren betongmassa strömmar ut vid röröverkanten. Slangen lyfts därefter långsamt ur pålröret under fortsatt pumpning tills hela slangen lyfts upp

Hållfastheten för den betong som brukar användas för rörpålar ligger normalt inom hållfasthetsområdet C30/37 till C45/55 MPa. Beroende på projekt och pålens önskade egenskaper finns det olika typer av krav på betongen som ska användas. Det kan vara allt från hållfasthet och

konsistens till frostegenskaper hos betongen. Om betongen beställs från fabrik är det viktigt att förmedla dessa krav till tillverkaren för att säkerställa de kravställda egenskaperna. Om betongen eller injekteringsbruk blandas på arbetsplatsen är det även där viktigt att kontroll mot krav i bygghandling sker (t.ex. krav på sulfatresistent cement). I vissa fall används cementsuspension endast för korrosionsskydd på insidan av pålröret.

En armeringskorg kan installeras i pålen om dimensionen på pålen överstiger cirka 500 mm. Riktlinjer för armeringskorg och hur gjutningen ska utföras ska inhämtas från bygghandling, vilken ska baseras på utförandestandarden SS-EN 1536:2010 + A1:2015, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c). Betonggjutningen ska genomförs med gjutrör och pump på sådant sätt att oönskad luftinblandning inte uppstår, t.ex. vid skarvning av gjutrör eller genom att gjutröret dras upp över betongöverytan under gjutningen. Den avslutande betonggjutningen ska utföras så att den vattenuppblandade betongen/bruket får rinna över rörkanten eller bortförs på annat sätt. För gjutprocessen och riktlinjer angående provning och sammansättning av betongen bör Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations, Third edition (EFFC/DFI, 2024) användas.

Armeringskorgar ska vara utformade så att lyftning och nedsänkning kan ske utan att skadliga deformationer uppkommer. Lyftning och sänkning av armeringskorgar utgör farliga arbetsmoment vid vilka olyckor inträffat. De förhållanden som uppkommer om maskinhaveri, linbrott eller liknande inträffar måste beaktas vid planering av arbetet. Armeringskorgen ska i förekommande fall förses med extra rör för verifierings- och kontrollarbeten, t.ex. för urborrning av provkroppar av betong.

Riktlinjer för kontroll av uppnådd kvalitet redovisas i kapitel 9.

8.6.5 Borrade slanka stålrörspålar

8.6.5.1 Allmänt

En borrad stålrörspåle består i sitt enklaste utförande endast av ett stålrör som borrats ned till och in i bärkraftigt berg. Röret kan fyllas med betong för att eliminera invändig korrosion och öka pålens konstruktiva bärförmåga. I de flesta fall används sänkborrhammare för borrning av stålrörspålar. För mindre dimensioner och begränsade längder kan topphammare användas. Borrade stålrörspålar kan utföras i dimensionerna 90-1220 mm, men ännu är det är fortfarande relativt ovanligt med borrade pålar i dimensioner >400 mm. Godstjockleken för de olika dimensionerna varierar mellan 6,3-cirka 24 mm. Pålar med diameter ≤ 300 mm betraktas som slanka. Borrade stålrörspålar med diameter >300 mm beskrivs i avsnitt 8.6.6. Att borra ner pålar är en relativt säker metod då pålen ofta blir rakare och utförandetoleranserna oftast är mindre än för slagna pålar. Borrade slanka stålrörspålar ska följa utförandestandarden SS-EN 14199:2015, Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar (SIS, 2015b). Häri framgår vilka toleranser som kan förväntas.

8.6.5.2 Metodbeskrivning

8.6.5.2.1 Material

För borrade slanka stålrörspålar används i stora delar samma rörmaterial som för slagna stålrörspålar, se avsnitt 8.6.4, och därmed samma leverantörer.

8.6.5.2.2 Maskiner

För att borra en påle krävs en maskin som kan hantera rörets längd och vikt. För att rotera pålen krävs någon typ av rotationsenhet på maskinen och även någon typ av hammare som slår på röret eller drar röret med sig nedåt under tiden röret roterar. Vid nedrivning behöver det ”bortborrade” materialet (borrkax) runt borrkronan spolas bort, för att inte hindra den fortsatta borrningen. Denna bortspolning av material görs oftast med hjälp av luft eller vatten som spolas ut i borrkronan och sedan tar med sig

materialet upp ur röret. Beroende på borrmetod och dimension så används en eller flera kompressorer eller en vattenpump som kopplas till borrkronan för att få bortspolningen att fungera. De mest förekommande metoderna för neddrivning av borrade stålrörspålar är sänkhammare eller topphammare.

Den maskin och utrustning som krävs för att utföra en borrad stålrörspåle är beroende av pålens dimension, samt vilka förutsättningar som finns på arbetsplatsen. Storleken på maskiner för borrade stålrörspålar finns i spannet 2 ton upp till 200 ton och består av en ”bärare” med mast utrustad med rotationsenhet eller topphammare. Vissa maskiner kan både slå och borra pålar. De mindre maskinerna i spannet 2-15 ton används oftast där det är begränsat med plats i sidled och höjdled, exempelvis inomhus eller på trånga arbetsplatser, se Figur 8.23. Dessa maskiner hanterar rörsegment i längderna 1-3 m och beroende på maskinens uppbyggnad så kan rör med diameter 90-273 mm borras.

Vanligast förekommande är maskiner på 15-45 ton, då dessa klarar att hantera rörsegment med längderna 6-12 m och med diametern 90-400 mm, vilka är de vanligaste pålarna som utförs på marknaden idag. Maskinerna är också relativt enkla att flytta.



Figur 8.23 Borrutrustning inomhus med liten maskin. Foto: Veidekke grundläggning.

8.6.5.2.3 Sänkhammare

Sänkhammarborrning är den vanligaste metoden i Sverige för att driva ner borrade pålar. Metoden är effektiv och bra ur flera aspekter då hammaren arbetar nere vid spetsen på pålen, slagljudet dämpas inuti röret och det finns hammarstorlekar för de flesta dimensioner av pålar. Vid sänkhammarborrning sitter hammaren placerad vid rörets spets. Hammaren drivs av luft eller vatten som förs ned till hammaren via ihåliga borrstänger. Borrstängerna är gängade i ändarna med hane/hona eller försedda med så kallade ”HEX-kopplingar” med hane/hona för att kunna skarvas under neddrivningen. Framför hammaren placeras borrkronan (piloten), vars uppgift är att dra med sig röret ned samt att krossa materialet den borras ned i. Luften eller vattnet som förs ned för att driva hammaren går sedan ut i kanaler i piloten och tar med sig det genomborrade materialet upp genom pålröret. Det är viktigt att returmaterialet kommer upp till ytan så att det ej blir kvar i röret och hindrar luft eller vattenflödet.

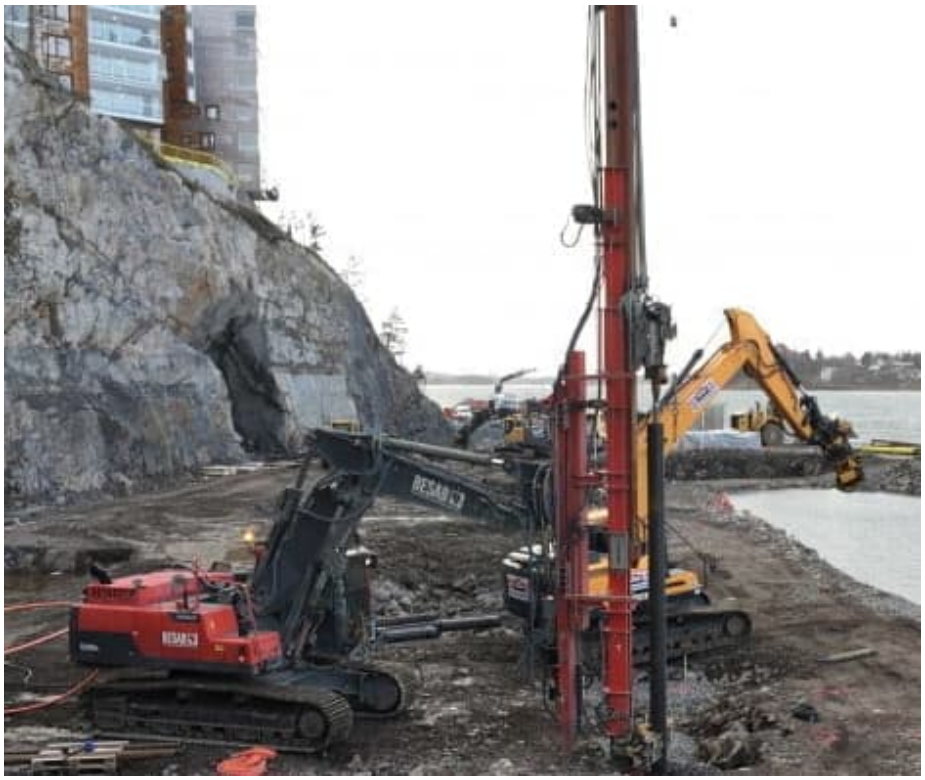
Piloten drar ned röret med hjälp av en slagsko eller ett ringset, visat i Figur 8.24. Slagsko eller ringset svetsas på rörets front innan borrningen påbörjas. Det finns många olika typer av tillverkare av piloter, slagskor och ringset. Före arbetet påbörjas är det därför viktigt att veta vilken för typ av borrning som ska utföras, så att rätt typ av utrustning beställs och som ger de egenskaper som eftersträvas. Det finns excentriska och centriska borrsystem.

Centriska borrsystem består ofta av en slagsko med en ring av borrstift och kallas då ringset. Ringsettet svetsas i fronten på pålen och kan sedan kopplas ihop med piloten genom en bajonettfattning när pilot, hammare och borrsträng förts ned i röret. Ringsettet roterar sedan samtidigt som borrsträngen och piloten roterar vid neddrivning och när hammaren startas så slår piloten och ringsettet på materialet framför pålens front samtidigt som slagskon (slagkanten) gör att röret följer med ner. Vid avslutad borrning kan piloten backas ur ringsetet och pilot, hammare och borrsträng kan dras upp ur röret. Det finns centriska borrsystem för de allra flesta påldiametrar och godstjocklekar. Figur 8.25 visar maskin och borrsträng. Det finns också centriska borrsystem där endast en slagsko svetsas på röret och piloten har ”vingar” som åker ut när man roterar åt ett håll, se vidare kapitel 3. Vid rotation åt motsatt håll fälls vingarna in igen och pilot, hammare och borrsträng kan plockas upp.

Excentriska borrsystem används oftast vid borrning av rör med rörtjocklek upp till 6,5 mm. Vid denna metod svetsas också en slagsko på röret som piloten använder för att dra ner röret. Piloten är utrustad med ”rymmare” likt ett vingsystem men bara med en vinge. Rymmaren tvingas ut vid rotation åt ett håll och tvingas in vid rotation åt andra hållet.



Figur 8.24 Ringborrset för borrade stålrörspålar. Foto: Mitsubishi.



Figur 8.25 Borrsträng I stålrörspåle. Foto: Besab.

8.6.5.2.4 Topphammare

Vid användning av topphammare så genereras slagenergin ovanför pålröret och borrstången. Hammaren och rotationsutrustningen sitter oftast i samma enhet på maskinen och hammaren slår på borrstången som sedan för ned slagenergin till piloten och ringsettet i fronten på röret. Vid användning av topphammare dämpas slagenergin dvs. effektiviteten minskar på vägen ner till pålfronten, vilket gör att metoden oftast inte används för större dimensioner än 170 mm och till 10-20 m djup. Med riktigt stora topphammare kan större dimensioner installeras och till större djup, beroende på vilken typ av material som ska genomborras. Vid topphammarborrning behövs ej lika kraftig spolning som vid sänkhammarborrning. Det finns även maskiner med hammare som vibrerar ner röret under rotation, exempelvis sonic-borrning.

8.6.5.2.5 RC-borrning

”Reversed Circulation” eller RC-borrning är en borrmetod som likt sänkhammarborrning arbetar med hammaren i botten. RC-borrning börjar bli relativt vanlig och används oftast för dimensioner över 406 mm. Dock krävs en speciell utrustning med borrstänger, hammare och crossover. Borrstängerna är utrustade med två eller fler kanaler. Luften går ner i en av kanalerna och returmaterialet tas upp genom den andra kanalen/kanalerna. Detta resulterar i en mer kontrollerad borrning eftersom returmaterialet inte tillåts spruta fritt upp i röret. Då systemet är trycksatt både upp och ner så krävs inte lika mycket luft och flöde för att lyfta returmaterialet upp ur den stora ytan inuti ett rör. Det gör att det ej behövs lika många eller stora kompressorer som vid traditionell sänkhammarborrning, vilket i sin tur skapar mindre miljöpåverkan. RC-borrning minskar därför omgivningspåverkan och risken för urspolning.

8.6.5.3 Råd

8.6.5.3.1 Spolning vid borrning

Luft eller vatten används som spolmedium vid borrning. Vid borrning med luft är det viktigt att man kontrollerar hur mycket returflöde och returmaterial som kommer upp genom röret vid borrningen. Vid spolningen kan en mammutpumpeffekt skapas i röret som gör att mer material än rörets diameter spolas upp och då påverkar den omgivande markens egenskaper. Om inte tillräckligt med returmaterial kommer upp kan det bero på att luften skapar gångar eller områden i marken där högt tryck kan byggas upp när luften komprimeras. Detta kan också påverka egenskaperna hos den omgivande marken. Vattenborrning är oftast mer skonsam jämfört med borrning med luft, eftersom vatten inte komprimeras och bygger upp tryck på samma sätt. Vid borrning med vatten är det dock lika viktigt att kontrollera returflöde och returmaterial då vattnet kan skölja med sig omkringliggande material upp i röret eller skölja undan material nere i marken som man inte ser från markytan. Tillverkare av ringset och piloter utvecklar hela tiden sin utrustning för borrning då det gäller urspolning. Spolkanaler placeras i piloterna så att risken för urspolning minskar.

Vid borrning med topphammare behövs inget medium för att driva hammaren nere i röret utan topphammaren drivs av maskinens hydraulik eller liknande. Detta gör att spolningen kan utföras med mycket mindre tryck och flöde vilket minskar riskerna vid spolning och påverkan på den omgivande markens egenskaper.

Vid borrning med luft är det stor risk för damning under borrning vilket kan innebära arbetsmiljörisker för personal vid borriggen och andra personer som befinner sig runt platsen, se avsnitt 8.4. Damningen kan hindras genom att man tillsätter vatten till luften som förs ner i hålet.

8.6.5.3.2 Skarvning

Gängskarven förspänns genom att ett specificerat åtdragningsmoment på minst 1 kNm (olika för olika dimensioner) anbringas. Förspänningen genom åtdragning syftar dels till att kraften i pålen ska överföras genom de skarvade påldelarnas ändytor, dels till att den skarvade pålen ska ha tillräcklig böjstyvhet för att inte utgöra en försvagning av pålens knäckbärförmåga.

Att undvika skarvning med svetsning kan medföra betydande fördelar för pålningen. 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. Vid användande av CE-märkta produkter krävs ingen sådan provning.

Exempel på en gängad skarv, visas i Figur 8.26. Vid utförande är det viktigt att ta reda på vilka krav som finns på skarvning i det specifika projektet. Vid svetsning ska svetsklass anges och krav på hur fasning ska utföras. Oftast kravställs skarvning av licensierad svetsare med svetsklass EXC2 enligt SS-EN 1090-2:2018+A1:2024 (SIS, 2024), se kapitel 9, kontroll och verifiering. Vid svetsning enligt EXC2 ställs krav på kontroll av utförda svetsar med oförstörande provning (t.ex. magnetpulverprov, ultraljud eller visuell kontroll). Om krav finns på oförstörande provning är det viktigt att förstå vad som kravställs då det kan krävas många timmars avsvalning, vilket leder till produktionsstopp.

Vid skarvning med hylsskarv ställs krav på hylsskarv och gängor. Oftast är rören och hylsskarven CE-märkta tillsammans av leverantören. Om det ej finns CE-märkning så bör man kontrollera behov av egna tester för att visa att skarvsystemet ihop med rören fungerar och klarar gällande krav, både ur praktiskt perspektiv och ett hållbarhetsperspektiv. Idag finns det gängade skarvsystem för dimensioner från 115 mm till 406 mm.



Figur 8.26 Gängad skarv. Figur: SSAB.

8.6.5.3.3 Kapning

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. Kontrollera i handling vilka krav som finns för smide, kapning och planhet. Se vidare avsnitten 8.4.5.6 och 8.6.4.4.4.

8.6.5.3.4 Bergborrning och stoppslagning

Borrningen sker i stort sett alltid genom markens olika lager ner till minst 0,5 m i ”bra berg eller friskt berg”. Vid stora dimensioner >323 mm (se avsnitt 8.6.6) och sluttande berg kan krav på djupare bergborrning krävas. Normalt krävs en inborrning om minst 4 x påldiametern för att uppnå ”fast inspänning”, men ibland kan större inborrning krävas av andra anledningar. ”Bra berg” eller ”friskt berg” innebär oftast att det inte finns några märkbara sprickor i berget och att det är jämn borrsjunkning vid borrning i berget. Ytberget kan i vissa fall vara väldigt sprucket. För att säkerställa att borrningen inte avslutats precis ovan sprucket eller dåligt berg och för att säkerställa att pålen inte vilar på en kudde av borrkax ska alla borrade pålar stoppslås, se kapitel 9. Detta görs likt stoppslagning av slagna pålar med fallhejare eller hydraulhammare med erforderlig energi. Stoppslagningen säkerställer också att pålröret inte dragits med när pilot och borrstång lyfts upp i röret. Stoppslagning kan inte göras med borrmaskinens utrustning vilket gör att en maskin med fallhejare eller hydraulhejare måste köras till platsen för att utföra stoppslagningen. Ofta görs stoppslagning i samband med att stötvågsmätning (PDA-mätning) utförs för en viss del av rören, då det finns en maskin med fallhejare på plats, se kapitel 9, kontroll och verifiering av pålar.

8.6.5.3.5 Igjutning

Beroende på hur dimensioneringen av pålens konstruktiva bärförmåga har utförts kan krav på igjutningen av borrade pålar finnas. Vid igjutning av pålarna ska slangens mynning placeras i botten av röret vid gjutningens start så att eventuellt vatten i röret hamnar ovanför betongen, slangen kan sedan lyftas sakta vartefter röret fylls med betong. Det är viktigt att slangen hela tiden mynnar ut i den färska betongen så att ovanliggande vatten trängs undan och upp. När ren betong kommer upp ur röret kan igjutning av röret avslutas.

När en påle borrats ned så har det oftast passerat en hel del returmaterial genom röret under borrningen. Det är viktigt att spola rent pålröret efter borrningen så att det inte sitter returmaterial kvar på rörets insida innan igjutningen påbörjas, då eventuellt kvarvarande material blandas upp med betongen och försämrar betongens egenskaper. Spolningen kan med fördel göras samtidigt som borrstång och pilot dras upp ur röret.

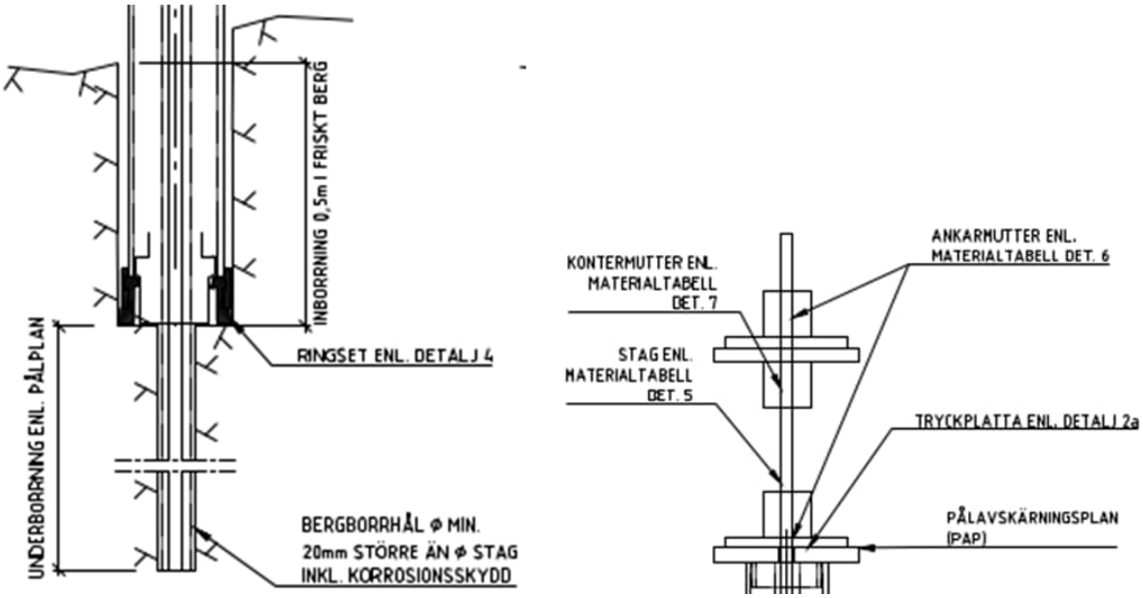
Se även igjutning av slagna stålrörspålar, avsnitt 8.6.4.4.7.

8.6.5.3.6 Montering av topplåt

Se råd för slagna stålrörspålar, avsnitt 8.6.4.4.5.

8.6.5.3.7 Borrade pålar med draglaster

Då det finns behov av att kunna belasta pålar med både tryck- och draglaster kan borrade pålar försedda med invändiga dragstag vara en bra metod. Efter det att pålen borrats in i berg utförs borrningen för dragstaget med en mindre borrkrona. Dragstaget monteras och injekteras för att kunna ta hand om dragkrafterna, se Figur 8.27. Invändiga dragstag utförs enligt SS-EN 1537:2013, Utförande av geokonstruktioner – Förankringar (SIS, 2013). Vid utförande av pålar med invändiga dragstag är det viktigt att verifiera geoteknisk bärförmåga både för tryckkraft och dragkraft. Den geoteknisk bärförmågan för dragkraft utförs med statisk provbelastning medan dynamisk provbelastning (eller annan metod) används för att verifiera den geotekniska bärförmågan för tryckkraft.



Figur 8.27 Exempel på borrad påle med inre dragstag.

8.6.6 Borrade grova stålrörspålar

8.6.6.1 Allmänt

Borrade grova stålrörspålar >300 mm diameter ska följa utförandestandarden SS-EN 1536:2010 + A1:2015, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c). Häri framgår också vilka toleranser som kan förväntas vid utförandet. Standarden täcker också hur betongfyllning av sådana rör ska utföras. För att ytterligare öka bärförmågan kan en armeringskorg eller annan förstärkning, exempelvis en balkprofil eller ett stålrör, gjutas in.

8.6.6.2 Metodbeskrivning

8.6.6.2.1 Pålningsutrustning vid borrning

Maskiner i spannet 45 ton och uppåt används oftast för dimensioner över 300 till 500 mm och storleken på maskinen bestäms av dimension och hur långa rörsegment som behövs vid borrningen. Vid borrning av rör med dimensioner över 500 mm krävs oftast större maskiner och mycket luft för att hålla rent framför borrkronan, vilket i sin tur kräver stora utrymmen för maskinen och tillhörande utrustning.

Pålarna borras normalt ned med vatten- eller luftdriven sänkhammare, se vidare avsnitt 8.6.5.2. Vid borrning av grova pålar är det viktigt att borrsystemet är rätt anpassat till det som ska utföras, så att planerad drivning och returflöde vid borrningen uppnås. Det krävs väldigt mycket vatten eller luft för att driva dessa sänkhammare. Med en traditionell luftdriven sänkhammare kan 3-4 stycken stora (20-25 bar/st) kompressorer behövas för påldimensioner >700mm. Detta erfordras för att kunna driva hammaren och "lyfta" returmaterialet inuti röret. Vid borrning av stora dimensioner över 500 mm kan det vara en stor fördel att använda ett "RC-system" (reversed circulation system). Då används två-kanaliga borrstänger där luften förs ned till hammaren i ytterkanalerna och returmaterialet tas upp inuti borrstången, vilket gör att kravet på luftflöde/tryck minskar. Färre kompressorer krävs vilket gör att både miljöpåverkan och ekonomin blir bättre. Med RC-systemet reduceras även risken för omgivningspåverkan då luft kan ändra omkringliggande marks beskaffenhet. Vattenhammare finns idag endast upp till 12" vilket används för att borra pålar med diameter 406 mm. Då krävs tillgång på vatten på cirka 600 liter/minut.

8.6.6.3 Råd

8.6.6.3.1 Skarvning

För påldimensioner upp till 406,4x12,5 mm finns det CE-märkta gängade hylsskarvar. Gängskarven förspänns genom att ett specificerat åtdragningsmoment anbringas. Förspänningen genom åtdragning syftar dels till att kraften i pålen ska överföras genom de skarvade påldelarnas ändytor, dels till att den skarvade pålen ska ha tillräcklig böjstyvhet för att inte utgöra en försvagning av pålens knäckbärförmåga. För påldimensionerna 323 och 406 mm innebär det relativt stora moment, vilka inte kan åstadkommas med handkraft. Därför krävs antingen att borrmaskinen har ett knäckbord som kan åstadkomma detta, alternativt att en extra maskin, en s.k. "spinner" används. Att korrekt åtdragningsmomentet använts ska dokumenteras.

För större dimensioner måste skarvning med svetsning utföras. Kompetens och kontroll av utförandet är av naturliga skäl höga vid ett sådant förfarande. Svetsning kräver vanligen oförstörande provning enligt SS-EN 1090-2:2018+A1:2024 (SIS, 2024) och långa väntetider mellan svetsning och provning, se kapitel 9.

8.6.6.3.2 Kapning, bergborrning, stoppslagning och topplåt

För samtliga dessa arbetsmoment hänvisas till motsvarande avsnitt för borrade slanka stålrörspålar.

8.6.6.3.3 Armering och gjutning

En armeringskorg kan installeras i pålen om dimensionen på pålen överstiger cirka 500 mm. Riktlinjer för armeringskorg och hur gjutningen ska skötas bör då inhämtas från bygghandling, vilken bör baseras på utförandestandarden SS-EN 1536:2010 + A1:2015, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c). För gjutprocessen och riktlinjer angående provning och sammansättning av betongen bör Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations, Third edition (EFFC/DFI, 2024) användas.

Armeringskorgar måste vara utformade så att lyftning och nedsänkning kan ske utan att skadliga deformationer uppkommer. Lyftning och sänkning av armeringskorgar utgör farliga arbetsmoment vid vilka olyckor inträffat. De förhållanden som uppkommer om maskinhaveri, linbrott eller liknande inträffar måste beaktas vid planering av arbetet.

Armeringskorgen ska i förekommande fall förses med extra rör för verifiering och kontroll av bergytan. Riktlinjer för kontroll av uppnådd kvalitet redovisas i kapitel 9.

8.6.7 Stålkärnepålar

8.6.7.1 Allmänt

Stålkärnepålar består av ett stålämne (solitt stål) som ansluts till berg genom injektering av cementbruk och som monteras i ett foderrör som borras till berg. Verifiering av geoteknisk bärförmåga utförs med stötvågsmätning och stoppslagning eller genom statisk provbelastning. Tidigare var stålkärnepålar den mest vanliga metoden vid pålning till berg i blockig mark eller där pålarna belastades av stora draglaster. Metoden är inte så vanlig som tidigare på grund av den högre stålåtgången jämfört med borrade eller slagna stålrörspålar, som idag används huvudsakligen till samma ändamål. Vid stora draglaster kan stålrörspålar kompletteras med inre dragförankringar för att ta dessa laster. Det finns dock vissa tillfällen då stålkärnepålar kan vara aktuella. Exempelvis vid löst berg, där borrade stålrörspålar erhåller låg geoteknisk bärförmåga och där det samtidigt föreligger höga draglaster, kan stålkärnepålar inborrade i berg användas. Stålkärnepålar omfattas av utförandestandard SS-EN 14199:2015, Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar (SIS, 2015b).

8.6.7.2 Metodbeskrivning

Stålkärnepålar används främst där hinder i marken försvårar, eller omöjliggör, konventionell drivning av pålar. En annan tillämpning är skonsam påldriving, exempelvis där hårda krav ställs på godtagbara värden för vibrationer, buller och jordundanträngning avseende befintliga installationer.

En stålkärnepåle består av:

- Ett foderrör som borras genom jord och ytligt berg.
- Ett bergborrhål som utförs under foderröret.
- En stålkärna som monteras och kringgjuts i foderröret och bergborrhålet.
- Skarvar och anordningar för lastöverföring.

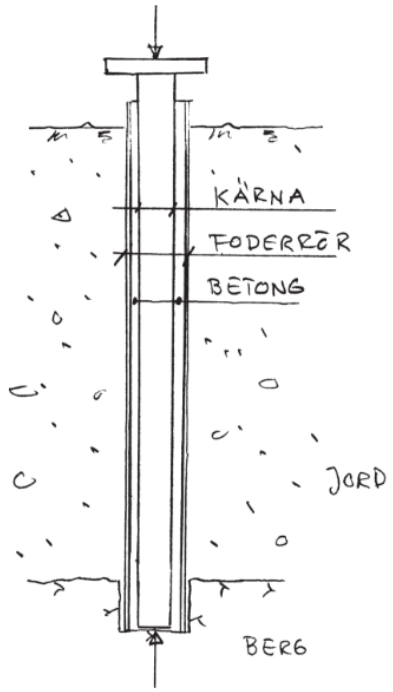
På kärnan monteras distanser för centrering i foderröret. Om stålkärnan ska överföra lasten till berg via vidhäftning mot stålkärnans mantel, förses stålkärnan med påläggssvets (rillor), eller annan anordning som syftar till ökad vidhäftning och gjuts fast i berget på en viss sträcka. Figur 8.28 visar en stålkärnepåle där lasten förs över på spetsen som borrats in en kort bit i friskt berg. Figur 8.29 visar en stålkärnepåle där lasten förs över till berg via stålkärnans mantel. Den bärande kärnan korrosionsskyddas dels av det kvarstående foderröret av stål, dels av betonginneslutningen. Kringgjutningen ger kärnans mantelyta en basisk miljö. Ytan blir med en korrosionsteknisk term passiverad, på samma sätt som ett ingjutet armeringsstål i betong.

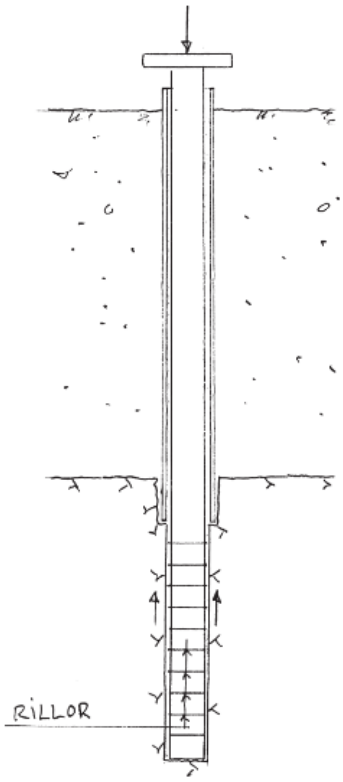
Figur 8.30 visar en tvärsektion för en stålkärnepåle med foderrör, betongingjutning och stålkärna.

Arbetsutförandet består i huvudsak av följande moment:

- Leveranskontroll (redovisas i kapitel 9).
- Borrning av foderrör.
- Borrning av bergborrhål.
- Eventuell vattenförlustmätning.
- Fyllning av cementbruk eller cementsuspension.
- Installation av stålkärna.

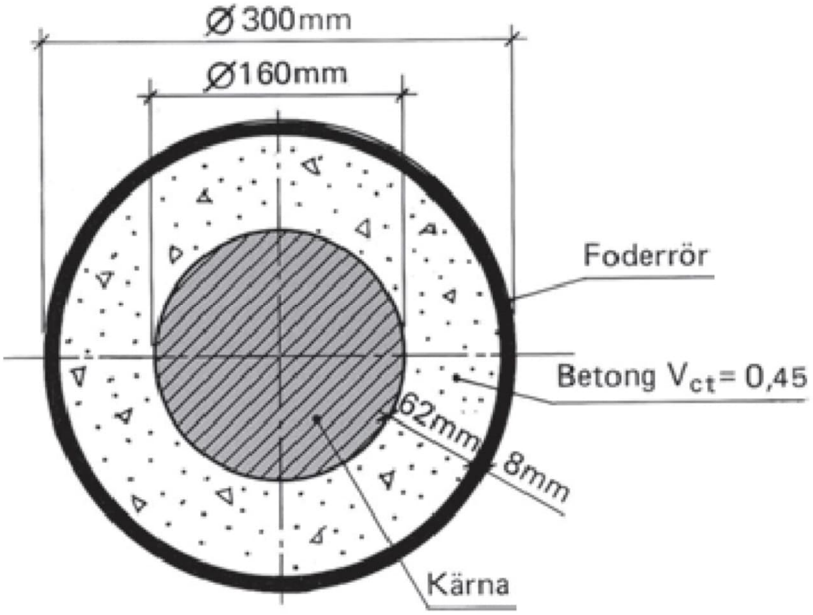
- Verifiering av geoteknisk bärförmåga med stoppslagning och stötvågsmätning eller statisk provbelastning.
- Kapning av kärna och montering av topplåt.





Figur 8.28 Spetsburen stålkärnepåle.

Figur 8.29 Stålkärnepåle inborrad i berg.



Figur 8.30 Exempel på tvärsnitt för stålkärnepåle med foderrör, betongingjutning och stålkärna.

8.6.7.3 Råd

8.6.7.3.1 Installation av foderrör

Vid nedborrningen av foderröret till bergytan, och ned en viss sträcka i berget, ska följande förhållanden beaktas:

- Att inte för stor mängd material spolas upp.
- Att de jordlager och jordlagergränser som passeras är de som förutsatts i projekteringsskedet.
- Förekomst och typ av hinder under borrningen.
- Djupet till berg.
- Bergytans karaktär, exempelvis häll, trasberg eller slag.
- Eventuell tendens till glidning i sidled då bergytan påträffas.
- Förekomst av vatten, särskilt jord- eller bergavsnitt med artesiskt tryck.

Arbetsledaren ska ha kontinuerlig kontakt med borrarna så att bilden av undergrundens beskaffenhet klarläggs i takt med att borrningsarbetet fortskrider. Eventuella avvikelser från förutsatta förhållanden upptäcks då så tidigt som möjligt.

8.6.7.3.2 Bergborrhål

Sedan foderröret borrats ned cirka 300 till 500 mm under bergytan, fortsätter borrningen, om det är en mantelburen kärna, med enbart bergborrkronan ned till föreskrivet djup. Även här är det viktigt att borraren är uppmärksam på ett antal faktorer:

- Färg och karaktär på uppspolat borrkax.
- Förekomst av sprickor och slag.
- Borrsjunkningshastigheten.
- Spolvattenretur.

Om berget bedöms ha godtagbar kvalitet, så är borrningsarbetet klart i och med att angivet djup för bergborrhålet nåtts.

Misstänks berg med dålig kvalitet kan vattenförlustmätning utföras för att undersöka bergborrhålets täthet. Tätningsinjektering av borrhålet kan krävas innan kärnan monteras och kringgjuts. I berg av god till medelgod kvalitet erfordras inte sådana åtgärder. Information om olika geohydrauliska metoder redovisas i standarden SS-EN ISO 22282-1:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 1: Allmänna regler (SIS, 2012a). Vattenförlustmätning i berg beskrivs i standarden SS-EN ISO 22282-3:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 3: Vattenförlustmätning i berg (SIS, 2012b).

8.6.7.3.3 Rengöring av bergborrhål och foderrör

När föreskrivet djup nåtts tas borrkrona och borrsträng upp och bergborrhål och foderrör renspolas med rent vatten så att kvarvarande borrkax i största möjliga utsträckning spolas upp. Luftspolning för rengöring bör inte användas om grundvattenytan ligger över pålspetsnivån, eftersom mammutpumptendenser kan uppkomma. På bergborrhålets botten bör det dock förutsättas att det

efter avslutad spolning alltid finns ett lager borrkax och jordpartikar som inte kan avlägsnas utan användning av specialmetoder.

8.6.7.3.4 Installation av stålkärna

Stoppslagning av kärnan utförs endast för stålkärnepåle med spetsburen kärna. En kärna inborrad i berg där lasten förs över till berg via stålkärnans mantel stoppslås vanligtvis inte, eftersom en sådan påles kringgjutning i berg kan skadas av slagning. Om foderrörets rakhet enligt handlingen ska kontrolleras görs detta innan kärnan monteras. Detta redovisas i kapitel 9. Rakhetskontroll kan utföras med inklinometer, eller i enklare fall, med tolk.

Kärnan kan skarvas till full längd i verkstad, om tillräcklig lyfthöjd finns på arbetsplatsen. Största längd för ett pålelement bör vara cirka 20 m. Vid begränsat utrymme i höjdled måste istället kärnan införas i foderröret i delar, vilka successivt skarvas ihop. Figur 8.31 visar en stålkärna som sänks ner i foderrör.



Figur 8.31 Nedsänkning av skarvad stålkärna i foderrör. Foto: Scandia Steel.

Vid montering av en skarvad kärna ska inlyftning ske enligt metod anvisad av konstruktören. För svetsskarvar kan dimensionerande lasteffekt uppkomma under lyftskedet. Lyftning och montering av kärna i foderrör kräver normalt lyftanordning i form av kran eller motsvarande.

Vid installation med successiv skarvning stöds underdelen av kärnan mot foderröret. Vid långa kärnor kan den tyngd som vilar på röröverkanten bli betydande när det sista kärnsegmentet monteras.

Kärnan får inte ha för låg temperatur då den sänks ned i ett vatten- eller betongfyllt foderrör. Är temperaturen alltför låg kan kringgjutningen bli dålig och dessutom kan is bildas kring kärnan så att nedsänkningen hindras. Det rekommenderas att stålkärnan håller en temperatur på minst +5˚C. Vid installationen ska kärnan vara väl rengjord så att kringgjutningen får fullgod kvalitet över hela kärnans mantelyta. Lera, olja och färg är exempel på beläggningar som ska avlägsnas.

8.6.7.3.5 Skarvning och montage av detaljer

Skarvning av stående stålkärnesegment sker snabbast med gängad skarv. Vid gängad skarvning är det viktigt att uppnå föreskrivet åtdragningsmoment och att använda av skarvtillverkaren specificerat gängmedel.

Svetsarbete ska utföras med beaktande av de krav som anges i specifikationer och föreskrifter för pålningen. Det är särskilt viktigt att innehålla rakhetstoleransen för skarvarna i kärna och foderrör. Ofta

anges värdet till 1:300. Rätskiva med tillräcklig längd krävs för att verifiera rakheten. Symmetrisk svetsning dvs. två svetsare eller svetsautomat, kan erfordras för att inte ensidiga värmespänningar ska åstadkomma för stor rakhetsavvikelse.

Notera att problem uppkommer vid försök att placera en alltför krökt kärna i ett foderrör. Motsvarande problem uppkommer givetvis om foderröret är för krokigt. Rakhetskontrollen uppfylls således i viss mån automatiskt. Orsaken till för stor krokighet är ofta vinkeländring i svetsskarvar som uppkommer vid skarvning.

Behovet av anpassad arbetsställning vid svetsningsarbetet får inte underskattas, se avsnitt 8.4. I trånga utrymmen kan det vara svårt, eller omöjligt, att uppnå godtagbara förutsättningar för utförande av svetsarbete. I sådana fall bör gängade skarvar användas.

Utöver svetsning av skarvar utförs också svetsning av distanser och påläggssvetsning av ”rillor” på i berg ingjutna stålkärnor. Där det krävs att distanser ska utgöras av icke metalliskt material, exempelvis plast, kan fastsättning på kärnan ske med limning. Distansernas uppgift är att centrera stålkärnan i foderröret. Rillornas funktion är att öka vidhäftningen mellan stålkärnans mantel och den omgivande ingjutningen.

8.6.7.3.6 Stoppslagning av spetsburen kärna

Vid stålkärnepålar med spetsburen kärna, se Figur 8.28, ska kärnan stoppslås. Denna kontroll beskrivs i kapitel 9. Stoppslagningen har tre syften:

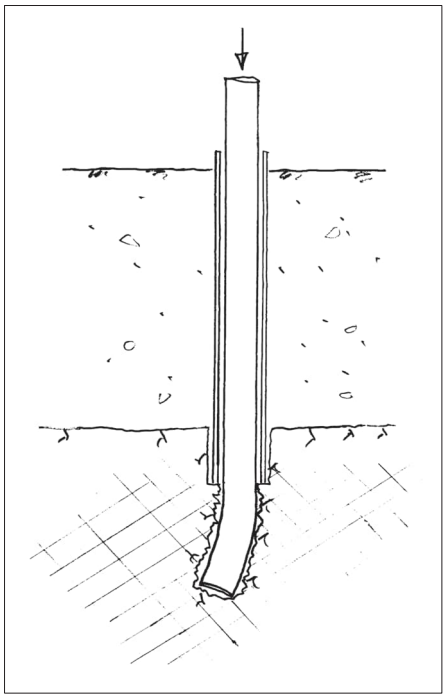
- Att kärnans spets ska penetrera kvarvarande borrkax och jordpartiklar på botten av borrhålet.
- Att åstadkomma anliggning mellan berg och hela kärnans ändyta.
- Att verifiera spetsunderlagets geotekniska bärförmåga.

Stoppslagningen kan utföras med pneumatisk hejare eller fallhejare. Används en luftdriven hejare är kravet på slagkolvens vikt vanligtvis att den ska väga lika mycket som 2 meter av pålen. För grova stålkärnor leder detta till tunga hejare. Den tillåtna sjunkningen brukar anges som en maximal sjunkning per minut för pneumatiska hejare respektive en maximal sjunkning per 10 slag för fallhejare. Minst 3 serier med 10 slag bör utföras vid stoppslagning med fallhejare. En nackdel med lätta fallhejare är den stora fallhöjd, ofta mer än 2 meter, som krävs för verifiering av stora pållaster. Används tyngre hejare (≥3 ton) kan fallhöjden minskas. Det är viktigt att tydlig hejarstuds uppnås. Detta indikerar att kärnan penetrerat kvarvarande borrkax och nått bärkraftigt berg.

Ett problem som i vissa fall uppkommit med spetsburna kärnor är att de vid berg med slag, krosszoner eller låg bärförmåga slås genom borrhålsbotten och vidare ut i bergmassan under bergborrhålets botten. Detta medför några olika nackdelar:

- Drivningen kan bli omfattande innan föreskrivet stoppkriterium uppnås.
- Extra skarvning kan krävas.
- Kärnan blir inte kringgjuten på den under borrhålsbotten drivna sträckan.
- Kärnan kan krökas eller deformeras.

I det fall kärnan på detta sätt slagits ut i berget, se Figur 8.32, kan beställaren kräva att kärnan på hela sin längd ska kringgjutas, vilket medför att kärnan måste tas upp och borrningen av bergborrhålet fortsätta tills bärkraftig borrhålsbotten påträffas, varefter kärnan åter sätts ned och förnyad stoppslagning utförs.



Figur 8.32 Vid spetsburna stålkärnor kan det finnas risk för inmejsling av kärnan i mjukare berg.

Upptagning av en kärna som penetrerat borrhålsbotten kan visa sig svår, eller omöjlig, att genomföra. Kan en sådan kärna inte tas upp kan det krävas en ersättningspåle.

En annan nackdel med stoppslagning är att de upprepade stötimpulserna mot bergbottenytan medför en minskning av spetsunderlagets hållfasthet. Orsaken är de sprickor i berget som uppstår vid de upprepade stötbelastningarna.

Sammanfattningsvis gäller att spetsburna stålkärnor innebär en viss risk för ej förutsedda arbetsinsatser. Det är således mycket viktigt att man i förväg är säker på att berget är tillräckligt homogent och har tillräcklig hållfasthet där borraren avslutar bergborrhålet, se kapitel 2, underlag för projektering.

8.6.7.3.7 Montering av kärna inborrad i berg

Ovan nämnda risker med spetsburna kärnor undviks med kärnor inborrade i berg enligt Figur 8.29. En sådan kärna räknas bärande enbart på den sträcka som kärnan är ingjuten i bergmassan. Spetsmotståndet försummas, vilket eliminerar kravet på kontakt mellan kärnans spets och borrhålsbotten. Det medför att stoppslagning inte behövs.

Den ökade kärnlängden i berg för kärnor där lasten förs över till berg via stålkärnans mantel innebär motsvarande högre kostnad för bergborrning och kärnmaterial jämfört med en spetsburen kärna. Emellertid är kostnadsökningen måttligt stor samtidigt som ett flertal fördelar uppnås:

- Minskat behov av rengöring av borrhålsbotten.
- Inget behov av stoppslagning.
- Ingen risk för inslagning av kärnan i berg, med motsvarande förseningar och extra kostnader.

8.6.7.3.8 Kringgjutning av kärnan

Kringgjutning av kärnan genomförs med cementbruk/-suspension i foderröret. Vattencementtalet brukar väljas till 0,45. Kravet på tryckhållfasthet motsvarar i allmänhet C32/40. Sammansättning av bruket utförs enligt bygghandling.

Kringgjutningen kan utföras på två olika sätt:

- Nedsättning i foderrör fyllt med bruk.
- Nedsättning i ofyllt foderrör.

Placering av kärnan i brukfyllt foderrör

Foderröret fylls med bruk upp till överkanten. Fyllningen sker i torrt eller grundvattenfyllt foderrör med slang som under hela gjutningen hålls ned så att den mynnar vid berghålsbotten. Pumpning sker tills rent bruk strömmar ut vid foderrörets överkant. Slangen lyfts sedan under fortsatt pumpning. Inpumpning av injekteringsbruk avbryts först då slangänden når foderrörets överkant. Under några minuter kontrolleras sedan att brukets yta inte sjunker nämnvärt. Att ytan inte sjunker innebär att bergborrhålet inte läcker ut bruk.

Bruket kan då antas omge hela kärnan när den sänks ned. När sänkning av kärnan sker så pressas delar av det ifyllda bruket upp över foderrörskanten och går förlorat.

Med syftet att undvika denna förlust finns exempel på när foderröret endast fylls med så mycket bruk att det precis ska nå upp till foderrörets överkant utan att strömma över kanten, då kärnan sätts ner. Detta tillvägagångssätt är emellertid inte att rekommendera, eftersom ett läckande bergborrhål då kan undgå upptäckt. Ett sådant läckage kan leda till att kärnan inte blir helt kringgjuten, vilket medför sämre korrosionsskydd och eventuellt också lägre bärförmåga än beräknat.

Sjunker bruköverytan i ett på detta sätt uppfyllt foderrör förekommer läckage. Foderrör och bergborrhål spolas då ur, varefter tätning av läckaget utförs. Läckstället kan lokaliseras med vattenförlustmätning. Tätning kan ske med berginjektering.

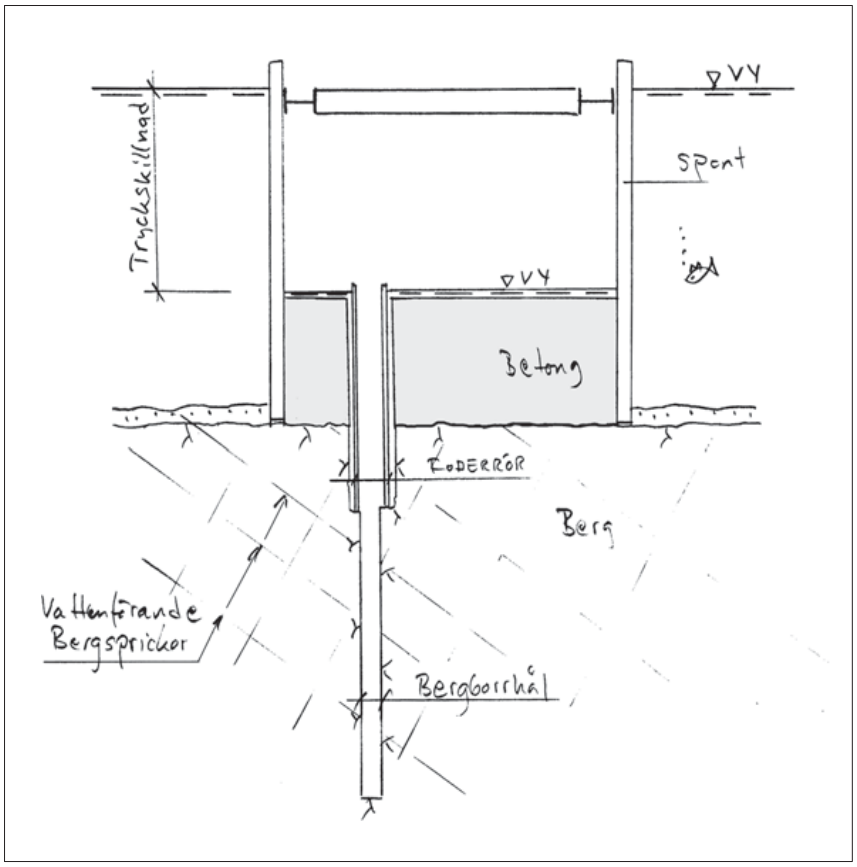
Placering av kärnan i icke brukfyllt foderrör

När kärnan sätts i ett foderrör utan föregående brukfyllning så sker fyllning efter monteringen av kärnan genom en slang som mynnar vid kärnans botten. Vid litet avstånd mellan kärna och rör fästs en bandformad slang vid kärnan med tape före nedsänkningen. Slangen lämnas i så fall ofta kvar då gjutningen är klar, det vill säga då injekteringsbruket nått överkanten på foderröret. Pumpningen av kringgjutningsbruket ska ske tills rent bruk tränger upp vid rörets överkant. En fördel med denna metod är den mindre förbrukningen av injekteringsbruk jämfört med utförandet att sätta kärnan i ett helt brukfyllt foderrör. Brukfyllning med hjälp av slang används även då foderröret är fyllt med grundvatten. Någon länsning av foderröret före gjutningen krävs normalt inte.

Fyllning av foderrör vid inläckande vatten

För ett foderrör vars överände ligger under en närliggande fri vattenyta, eller grundvattenyta, kan inläckage av vatten i röret uppkomma, se Figur 8.33.

Vattenflödet in i ett foderrör eller bergborrhål kan i vissa fall vara så stort att fyllning av injekteringsbetongen inte kan ske utan risk för separation. Vid begränsat vattenflöde kan tätning av sprickor och otätheter i bergmassan ske med hjälp av berginjektering. Om vatteninflödet är mycket stort kan foderrörets överkant höjas för att minska vattnets tryckgradient. Vid stora vatteninflöden kan injektering och omborrning erfordras.



Figur 8.33 Exempel på situation där inläckage av vatten i foderrör kan uppkomma.

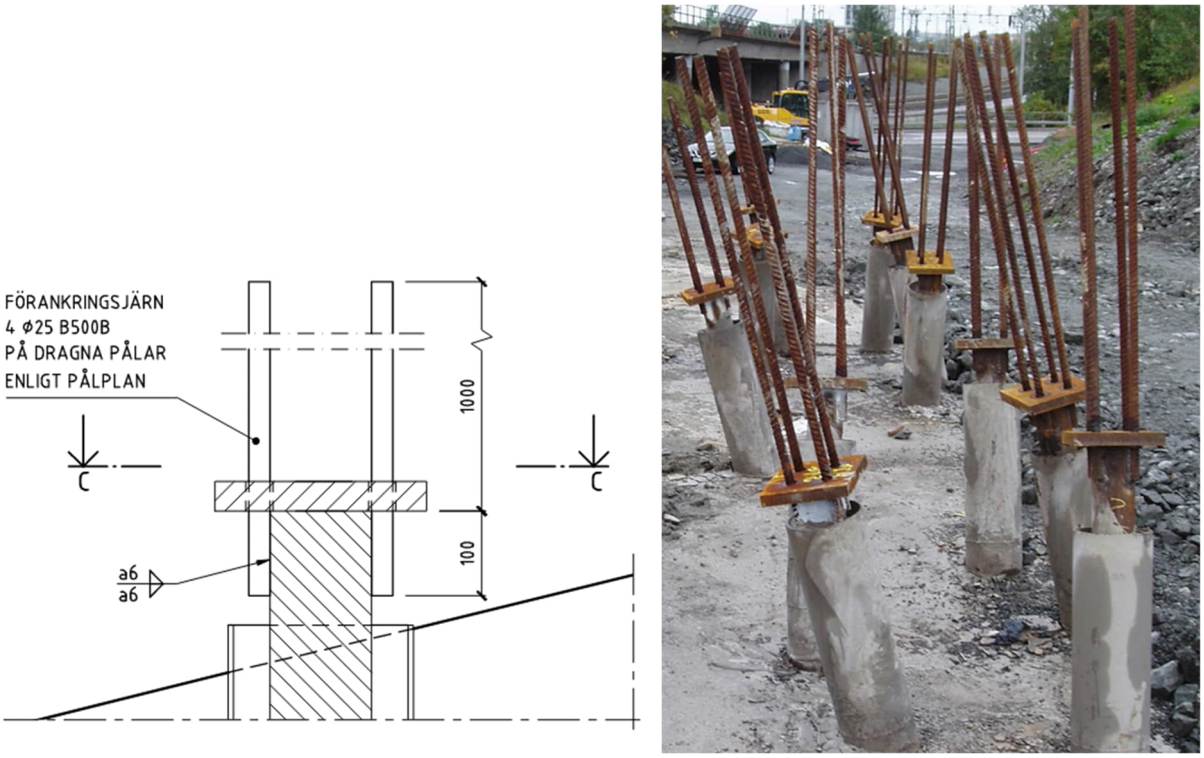
8.6.7.3.9 Kapning av foderrör och kärna

Foderrör kapas med skärande låga eller rondell. I ett normalfall används inte foderröret konstruktivt och då ställs inga krav på den kapade ytan. Kapning av kärnan bör om möjligt utföras innan kärnan monteras i foderröret. Kapningen av en ingjuten kärna sker med automatsåg eller skärande låga. Vid grövre ämnen blir kapningsarbete som utförs på platsen omfattande. Kapsnittet ska bearbetas till plan anliggning om tryckfördelningsplatta ska placeras ovanpå kärnänden enligt SS-EN 1090-2:2018+ A1:2024 (SIS, 2024). Stålkärnan ska kapas vinkelrätt mot kärnans längdaxel, om inte annat föreskrivs.

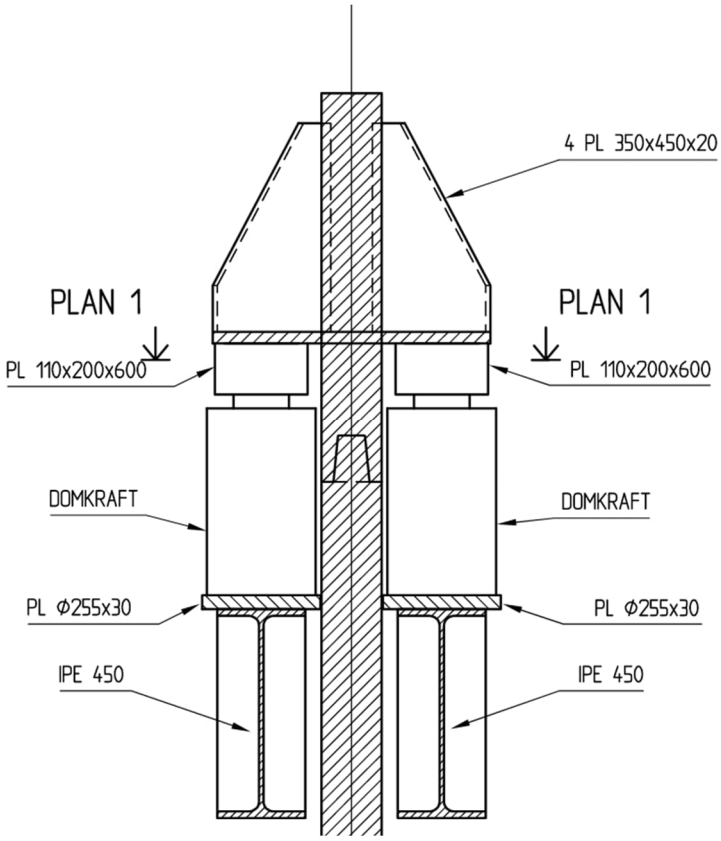
8.6.7.3.10 Montering av topplåt/lastöverförande platta

Normalt gjuts toppen av stålkärnepålen in i en armerad betongkonstruktion. För att överföra kraften till pålen monteras en stålplatta på eller nära påltoppen, se Figur 8.34.

Vanligen används svetsning, vilket kräver förvärmning, se SS-EN 1090-2:2018+A1:2024 (SIS, 2024). För stora plattor kan montagearbetets omfattning bli tidskrävande. I vissa fall kan lastöverföring upptill ske med hjälp av påsvetsade rillor på samma sätt som utefter kärnans ingjutning i berg, exempelvis om stålkärnepålen gjuts in i en pelare. Ett alternativ till att svetsa plattan till kärnan på platsen är att sammanfoga plattan och ett kort kärnsegment på verkstad, som i sin andra ände har en API-gänga, se Figur 8.35. Plattan kan då monteras på arbetsplatsen utan att svetsning behöver utföras, vilket minskar monteringstiden och befrämjar hög kvalitet. En sådan plattkonstruktion kan utformas så att den kan ta upp både tryck- och dragbelastning. Arbetet på platsen blir smidigare om kärnan levereras komplett med monterad platta och utförd påläggssvets, där sådan krävs. Motsvarande tidsvinst kan med god marginal uppväga den extra bergborrning som krävs för att kunna använda sådana färdigtillverkade kärnor av i förväg bestämd längd. Se vidare under avsnitt 8.4.5.11.



Figur 8.34 Stålkärnepålar avsedda för både tryck och dragkrafter är försedda med topplatta och förankringsjärn.



Figur 8.35 Exempel på förtillverkad påltopp med API-gänga och förstärkt topplåt, här för provdragning av stålkärnepåle.

Vid enbart tryckta kärnor placeras vanligen en tryckplatta av stål på kärnans överände. Tryckkraften överförs genom direkt anliggning, vilket kräver bearbetning (slipning) av kärnans ändyta. För att fixera

plattan under gjutningen svetsas plattan till kärnans ändyta genom ett hål i plattan. Plattans godstjocklek beror på lasterna. Väljs en tunnare platta kan avstyvningar som svetsas till kärnan erfordras. I allmänhet är det dock bättre att välja en så stor platta så att sådant svetsningsarbete på platsen elimineras.

För kärnor med betydande dragbelastning krävs längsgående plåtar som svetsas till både kärna och platta. Ur arbetsteknisk synpunkt är det en stor fördel att placera dessa plåtar över plattan. Även för tryckbelastade stålkärnepålar kan denna utformning tillämpas, vilket eliminerar behovet av planbearbetning av kapsnittet.

8.6.8 Borrade och tryckta injekterade pålar

8.6.8.1 Allmänt

Avsnittet handlar till stor del om borrade injekterade pålar, men då det även finns möjlighet att trycka, vibrera och slå pålarna diskuteras även detta. Påltypen hänförs till utförandestandarden SS-EN 14199:2015, Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar (SIS, 2015b). Häri framgår vilka toleranser som kan förväntas.

Injekterade pålar är påltyper som installeras genom borrning under samtidig injektering eller genom samtidig injektering under nedslagning eller nerpressning. Det som är gemensamt för dessa påltyper är att de genom installationen ger möjligheter att ändra den omgivande jordens egenskaper, dels genom kompaktion av friktionsjord och dels genom injektering längs manteln, vilket skapar ett täckande cementskikt som kan fungera som enkelt korrosionsskydd. Metoden fungerar även som en skonsam installationsmetod med avseende på omgivningspåverkan. Figur 8.36 visar en tvärsektion med den injekterade pålen, det stelnade cementbruket och den omkringliggande jorden.

8.6.8.2 Metodbeskrivning

8.6.8.2.1 Utrustning

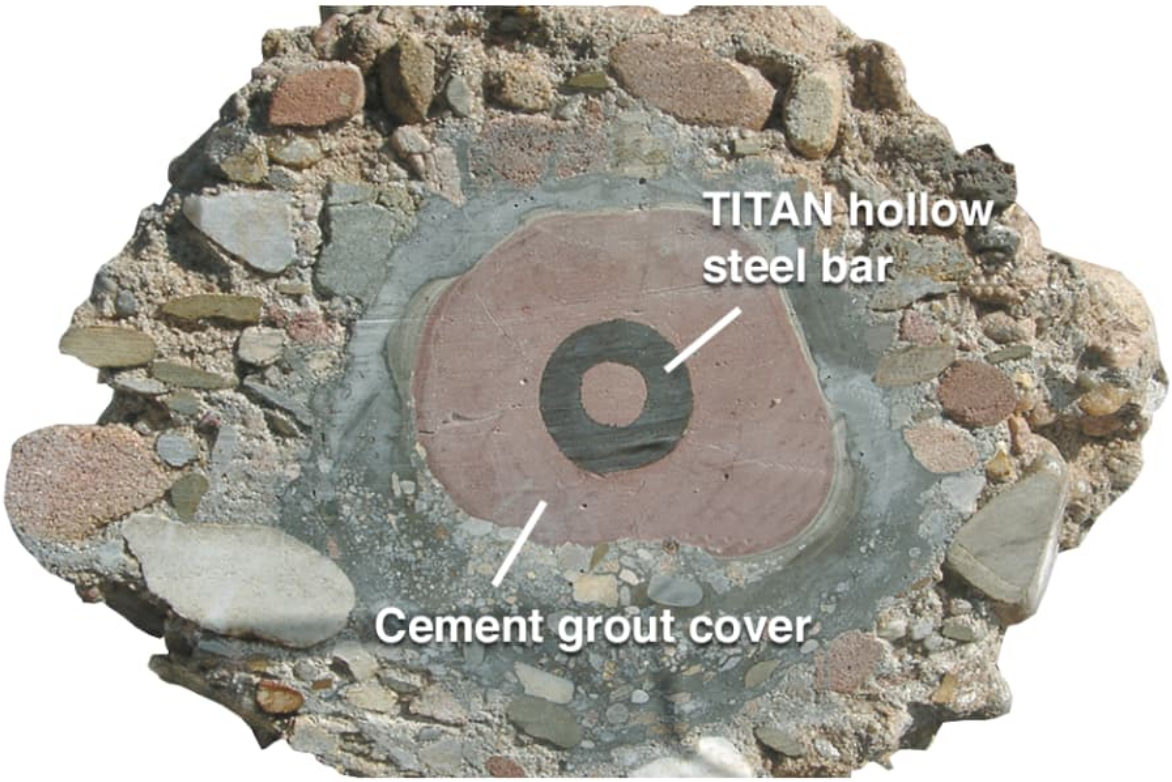
Borrutrustningen som krävs för borrade och tryckta injekterade pålar är en borrigg utrustad med topphammare där möjligheten finns att genom en svivel, som sitter under topphammaren, pumpa injekteringsbruk genom staget/röret ner till borrkronan och ut genom spolhålen i borrkronan. Det finns borriggar utrustade med topphammare som klarar av att skarva 1-12 meters segment där upp till 6 meters segment är mest förekommande. Det finns även större maskiner för specialfall.

En topphammare är en hammare som sitter på maskinens mast där den kan hissas eller sänkas längs masten. Den har till uppgift att slå ovanpå röret/staget samtidigt som den roterar röret/staget så att detta drivs ner i marken. Topphammarens storlek och kapacitet har en direkt inverkan på hur grova segment som kan användas samt hur djupt dessa kan installeras, beroende på markens beskaffenhet. Vanligast förkommande topphammare idag är de som klarar borrkronor upp till cirka 115 mm i berg och cirka 220 mm i friktionsjord.

Injekteringsbruket blandas med hjälp av en injekteringsplattform. Det finns enkla plattformar som matas manuellt till mer avancerade som matas automatiskt. Här ska injekteringsplattform väljas utifrån de krav som ställs på injekteringsbruket såsom bruktyp, v_{ct}, kapacitet, blandningsförfarande, tryck och spolhastighet. Det är av helt avgörande betydelse för slutresultatet att tillräcklig pump- och blandningskapacitet kan erhållas.

Om en injekterad påle slås eller trycks ner krävs en maskin med hejare eller tryckkraft som klarar att få ner pålen med aktuell diameter till erforderligt djup i den aktuella jorden. Att trycka eller slå pålar under kontinuerlig injektering görs väldigt sällan.

Maskinerna idag är i stort sett dieseldrivna, men det har skett en utveckling mot eldrivna maskiner eller batteridrift.



Figur 8.36 Bild på injekteringpåle efter färdigställande som visar injekteringsstålet, bruket och omgivande jord. Foto: Ischebeck.

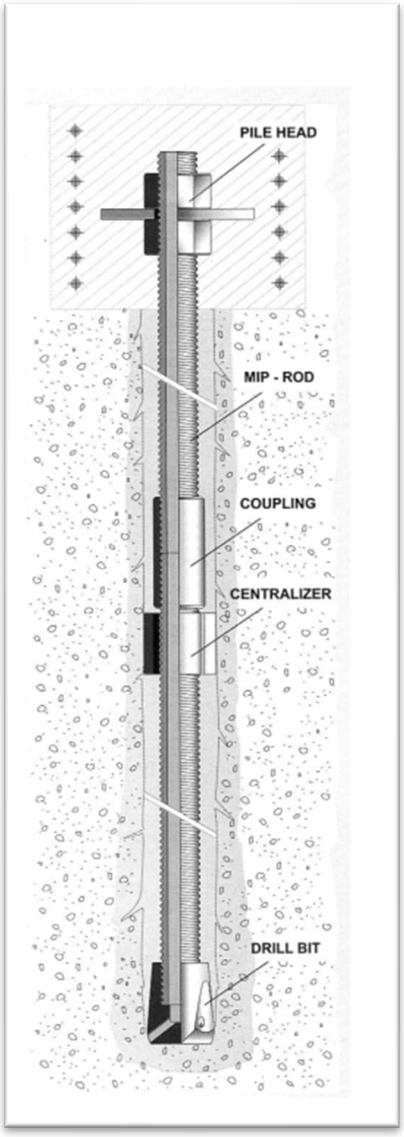
8.6.8.2.2 Borrade injekterade pålar

Borrade och injekterade pålar installeras genom samtidig borrning och injektering. Ett exempel på detta är att använda självborrande stag eller mikropålar. En engångsborrkrona skruvas fast på det helgängade, ihåliga stålet. Val av borrkrona görs utifrån om pålen ska vara spetsbärande eller mantelburen, samt vilken jordlagerföljd pålen installeras i. Det kan även vara krav på täckskikt runt färdig påle, vilket beror på cementbruk och tillsatser samt jordens beskaffenhet. Injekteringsbruket pressas genom stålet och ut i borrkronan genom ett eller flera utlopp, riktade radiellt eller vertikalt beroende på borrkrona. Skarvning sker med skarvhylsor som gängas. Genom att använda ett högt injekteringstryck skapas ett täckskikt längs hela stålets längd, se Figur 8.36.

Foderrör kan även användas i övre lager eller om pålarna installeras i fritt vatten då foderrör används för att pålarna ska nå sjöbotten.

Det går även att installera traditionella borrade rörpålar med gängade skarvar på detta sätt. Då måste en specialborrkrona och en specialadapter tas fram.

Exempel på en borrad injekterad påle med gängat stål visas i Figur 8.37.



Figur 8.37 Borrad och injekterad påle. Bild: Ishebeck.

8.6.8.2.3 Slagna/tryckta injekterade pålar

Slagna/tryckta injekterade pålar förekommer, men installationsmetoden är väldigt ovanlig i Sverige idag. Pålarna installeras antingen genom slagning eller nedpressning under samtidig injektering av cementbruk. Slagutrustningen kan bestå av fallhejare, hydraulisk hejare av olika slag, tryckluftshejare och även topphammare. Ur skonsamhetssynpunkt bör en högfrekvent hejare användas. Om block eller andra hinder i undergrunden påträffas, kan pålen installeras i ett foderrörsborrat hål. Samma rotationsenhet kan användas både för foderrörsborrningen som för nedslagning av pålen. Vid installation med nedpressning används en separat injekteringspump. Då pålen installeras medelst slagning trycksätts cementbruket vid varje slag.

8.6.8.3 Råd

8.6.8.3.1 Material

Mottagningskontroll enligt kapitel 9 ska genomföras. Skarvhylsor och gängor ska vara oskadade och rengjorda. Borrkronans “face” ska kontrolleras, så att det inte saknas stift eller skär och borrkronans spolhål ska vara öppna. Kontrollera att nacke/svivel passar i maskinen samt att de passar med

rör/stag. Färdigblandat injekteringsbruk ska kontrolleras så att det har rätt v_{ct} och rätt andel tillsatsmedel. Det kan finnas andra krav på prover/tester som ska utföras på bruket före installation. Om pålarna ska vara försedda med ett visst korrosionsskydd måste detta användas.

8.6.8.3.2 Installation

Vid installationen ska följande förhållanden beaktas:

- Att inte för stor mängd material spolas upp.
- Att pump och blandningsutrustning har tillräcklig kapacitet.
- Förekomst av vatten, särskilt jord- eller bergavsnitt med artesiskt tryck.
- Att tillfredställande anordningar finns för omhändertagande av spillet.
- Att risk inte föreligger för att luft kan sugas in i injekteringsslangarna.
- Att kontinuerlig registrering av injekteringsmängd och borrningsdjup sker.
- Kontrollera att provtagning av injekteringsbruket sker för kontroll av t.ex. hållfasthet och v_{ct}, om krav finns på detta.
- Kontrollera att urspolning av för stor mängd jordmaterial inte sker.
- Säkerställ att personal känner till förväntade jordförhållanden och att verkliga jordförhållanden dokumenteras utgående från de observationer som sker vid neddrivningsarbetet och injekteringsarbetet.
- Kontrollera hur förväntat och verkligt djup till berg stämmer överens.

Kontrollera att korrosionsskyddet stannar kvar när pålen drivs ner. Arbetsledaren ska ha kontinuerlig kontakt med borrarna så att bilden av undergrundens beskaffenhet klarläggs i takt med att borrningsarbetet fortskrider. Eventuella avvikelser från förutsatta förhållanden upptäcks då så tidigt som möjligt.

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

Under installationen erhålls en övergripande verifiering av de geotekniska undersökningarna samt en indikation på om lösare jordarter påträffas eftersom de ofta blir dimensionerande för den geotekniska bärförmågan. För att minimera avvikelser placeras borriggen på ett plant underlag, som inte rör sig. Riktningen på varje pålsegment kontrolleras av borroperatören vid borriggen i samband med installationen. Skarvhylsorna ska tillses bli korrekt anslutna för att minimera initialkrokigheten. Vikten på borriggen bör vara så stor som möjligt för att minimera riktningsavvikelserna, speciellt i blockrika jordar.

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

Kontroll och dokumentation redovisas i kapitel 9.

Vid installation nära befintliga pålar är det av yttersta vikt att riktningen på pålarna kontrolleras noggrant. I annat fall kan felet i installationsriktning tillsammans med initialkrokigheten medföra att befintliga pålar skadas. Kontrollen kan utföras av borroperatören från borriggen. Vid borrning/neddrivning i blockrika jordar är risken stor att pålen glider längs stenarnas ytterkanter och därmed får en vinkeländring. Riktningsavvikelserna, som kan medföra förändring av dimensioneringsförutsättningarna, ska mätas upp för eventuell reducering av konstruktiv bärförmåga (se kapitel 5 och 6). Nyligen installerade, intilliggande pålars injektering kan påverkas. Det bör framgå av bygghandling hur nära nyinstallerade pålar nya pålar får installeras.

8.6.8.3.3 Provbelastning

Då cementbruket har härdat i minst cirka 7 dygn tillåts pålen provbelastas. Statisk provbelastning rekommenderas, eftersom det omgivande cementbruket annars riskeras att skadas vid dynamisk provbelastning. Verifiering av geoteknisk bärförmåga beskrivs i kapitel 7 och 9. Utvärdering av karakteristisk geoteknisk bärförmåga baseras på provbelastning. Normalt utförs provbelastning i drag, även om pålen ska belastas i tryck. Dimensionering av konstruktiv tryck- och dragbärförmåga ska vara utförd, se kapitel 6.

8.6.8.3.4 Kapning och montering av topplåt

Pålar kapas med skärande låga eller rondell. För kallbearbetade pålar (borrstål) beaktas den lokala uppvärmningens inverkan på materialets hållfasthet om topplatta ska monteras nära kapsnittet. Vid montering av topplåt med mutter på både under- och ovansidan, se Figur 8.37, så belastas inte kapsnittet eller det värmepåverkade området. I vissa fall, främst vid klena borrstål, kan lastöverföring från överbyggnad till påle ske genom vidhäftning mellan den uppstickande pålen och omgivande betongkonstruktion. Där utrymmet i konstruktionen är tillräckligt, och där kanske även omlottskarvning till armering kan ske, är detta en tekniskt och ekonomiskt fördelaktig metod.

Normalt monteras en lastöverförande platta vid toppen av den kapade pålen. Vid borrstål används normalt en topplåt med frigående hål, fixerad med hjälp av muttrar på under- och översidan. Med denna lösning hindras inte brukskärnan att bidra till den konstruktiva bärförmågan. Alternativt kan muttrarna sparas in om topplåten utförs med gängat hål och för gängsnittet tillräcklig tjocklek. För borrstål med hög hållfasthet bör svetsning undvikas. Om kontaktytan utförs med jämnhet för trycköverföring enligt SS-EN 1090-2:2018+A1:2024 (SIS, 2024), kan svetsvolymen reduceras avsevärt. Kravet på åtkomlighet för svetsning på plåtens undersida måste beaktas, se avsnitt 8.4.5.11.

8.6.9 Grävpålar

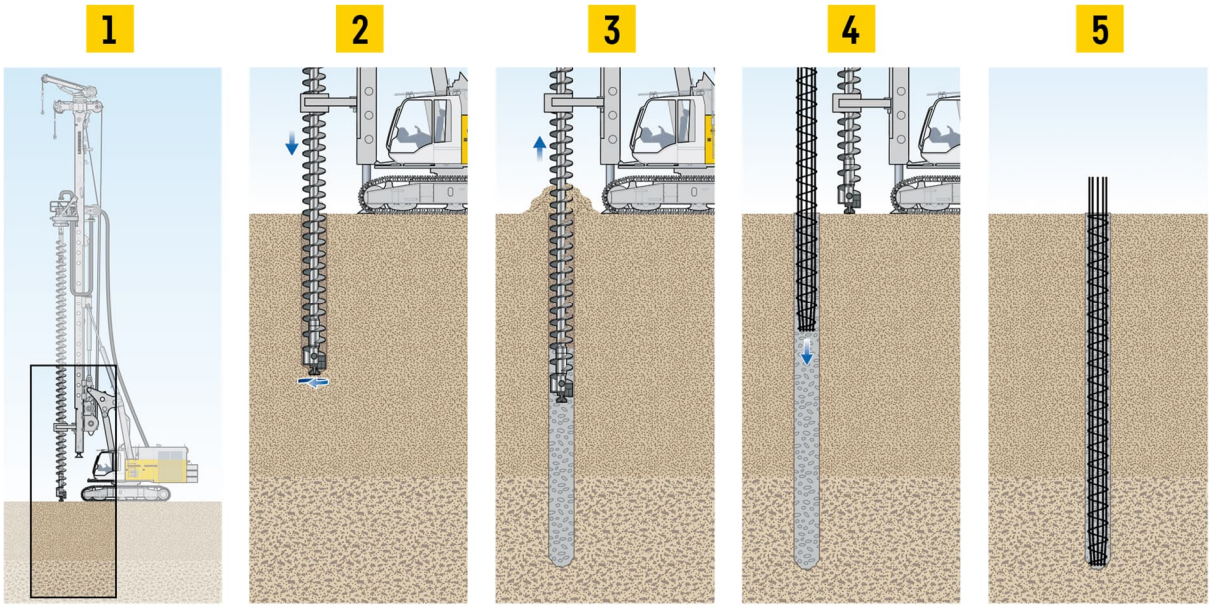
8.6.9.1 Allmänt

Grävpålar är platsgjutna betongpålar, förstärkta med en armeringskorg, som har många tillämpningsområden inom grundläggning. Utförandet styrs enligt utförandestandarden SS-EN 1536:2010, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c). Grävpålar är en internationellt sett vanlig grundläggningsmetod. Några av grävpålarnas fördelar är att de har en hög konstruktiv bärförmåga samt att de skapar små sättningar och deformationer i området runt omkring installationsplatsen, eftersom jorden i pålarna schaktas bort. Grävpålar har oftast en diameter mellan 600-2000 mm. Grävpålar kan utföras genom enbart grävning där schaktväggarna stabiliseras med någon typ av stödvätska såsom vatten, bentonit- eller polymerslurry, eller med ett foderrör som på något sätt förs ner i marken och därefter urschaktas röret ovanifrån. Grävpålemaskin visas i Figur 8.38.



Figur 8.38 Grävpålemaskin vid Bagers plats Malmö.

CFA-pålar (Continuous Flight Auger), utförs utan foderrör och den uppborrade jorden ersätts kontinuerligt med betong, när borren dras upp ur marken. Därefter installeras en armeringskorg i den färska betongen, se Figur 8.39.



Figur 8.39 Arbetsmetodik för CFA-pålar. Bild ifrån Liebherr.

Ledning för arbeten med stödvätska kan med fördel sökas i Guide to Support Fluids for Deep Foundations, First edition (EFFC/DFI, 2019). Foderröret kan föras ned genom till exempel vridning,

nedpressning, slagning eller vibrering. Det kan sedan lämnas eller dras upp beroende på metod och typ av geotekniska förutsättningar. När hålet eller röret är urgrävt så förs armeringskorgen ner i det schaktade hålet till rätt djup varefter hålet/pålen igjuts med betong. Ledning för betonggjutning av sådana pålar återfinns i Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations, Third edition (EFFC/DFI, 2024).

Idag utförs grävpålar oftast med specialbyggda maskiner som borrar, vrider eller trycker ner ett foderrör som sedan töms på material med en augerskruv på samma maskin. När foderröret tömts sänks armeringskorgen med sin fulla längd ner i hålet och gjutning av röret kan ske. När betongen är på plats så dras eller skruvas foderröret upp för att sedan återanvändas. Detta kan även utföras med en traditionell borrmaskin om man har möjlighet att få ner röret och tömma det på ett bra sätt, få ner armeringskorgen och dra upp röret efter gjutning. Lämnas röret blir pålen jämförbar med en traditionell borrad stålpåle.

8.6.9.2 Metodbeskrivning

8.6.9.2.1 Material

Grävpålar kräver följande komponenter:

- Armeringskorgar med rätt diameter och längd. Armeringskorgarna lyfts med maskinen eller med mobilkran.
- Betong med korrekt sammansättning för att klara de höga krav som finns på bland annat flytbarhet, hållfasthet, härdningstid osv.
- Tratt med slang ner i röret så inte betongen släpps fritt i röret vid gjutning, så kallad ”tremie pipe”.

I de fall foderrör krävs för arbetenas utförande:

- Foderrör för den diameter på pålen som ska utföras.
- Det antal rörsektioner som krävs. Det kan behövas många sektioner om planeringen är att gjuta flera pålar samtidigt. Det går oftast inte att dra upp rören förrän betongen är färdiggjuten.
- Kopplingsanordning för rörsektionerna inklusive eventuella bultar och verktyg.
- Borrkronor som kan behövas för att driva ner röret på platsen.
- Augerskruv med korrekt diameter samt andra typer av utrustning som kan behövas för att tömma rören som t.ex. skopa, spett och mejsel.

8.6.9.2.2 Maskiner

Grävpålar utförs med stora maskiner, oftast med en vikt från 30 ton och upp till 200 ton. Detta gör att det krävs en arbetsplattform vid etablering, se avsnitt 8.5. Maskinerna som ska utföra grävpålar med foderrör är utrustade med en speciell rotationsenhet på masten som möjliggör tryckning av foderrören med samtidig rotation. Augerskruven är monterad på en stång som går genom rotationsenheten på maskinen. Detta gör det möjligt att först driva ner röret för att sedan tömma röret på material med augerskruven utan att behöva byta rotation på maskinen. Vid större diameter på pålarna används ibland en extern vridenhet som placeras framför maskinens larver och bultas i maskinen så att denna kan hjälpa till att vrida ner foderröret. Foderrören är ofta 3-6 m långa sektioner som bultas ihop. Längst fram på det första röret sätts oftast en borrkrona. Denna borrkronas utformning beror på vilken typ av geotekniska förutsättningar som råder på platsen. Det är stor skillnad på borrkronor. Ska röret endast

drivas genom lera behöver borrkronans utformning inte vara så speciell, men ska rören drivas genom blockig friktionsjord erfordras borrkronor som klarar av dessa förhållanden. Ibland ska rören drivas ned i berg vilket ställer högre krav på borrkronan. Beroende på vilken typ av material grävpålarna installeras i så kan augerskruven ibland behöva bytas ut mot andra utrustningar. Är materialet i röret så löst att det inte går att få upp med augerskruven kan en ”skopa” användas. Är det mycket sten/block i röret kan tunga fallmejslar behövas för att lösgöra massorna i röret.

8.6.9.3 Råd

8.6.9.3.1 Arbetsplatsen

Se avsnitt 8.4 för generella krav på arbetsberedning. Grävpålar är en förhållandevis speciell metod där aktuell utrustning har stor påverkan på arbetsgången, vilket gör att arbetsbredningen måste anpassas enligt följande förslag:

- Vid installation av grävpålar krävs att ytan är iordningställd så att den klarar maskinens vikt vid körning och för respektive arbetsmoment. Finns framkomliga vägar för grävmaskin eller hjullastare? Vid tömning av rören kommer det upp väldigt mycket material som måste köras bort på något sätt. Borrmaskinen kan bara lägga materialet vid sidan om röret.
- Om stödvätska ska användas krävs en stor station för att kontinuerligt rena vätskan och avlägsna jord från denna. Stationen är i normalfallet skrymmande och tung, plats måste iordningställas.
- Om betongen ska blandas på plats behöver också betongstationen placeras, likaså är denna skrymmande och tung, inte minst beroende på de olika silorna som krävs.
- Då det ofta handlar om stora och höga maskiner ska säkerhetsområdet till andra på arbetsplatsen samt tredje man kontrolleras utifrån det arbete som ska utföras och de maskiner som ska användas.
- Utförda geotekniska undersökningar och förutsättningar måste gås igenom. Vilken längd ska grävpålen ha? Vilka jordlager förutsätts finnas i marken och på vilket djup eller i vilken typ av jord eller berg ska pålen spets placeras? Kan det antas att man stöter på hinder eller ändrade förutsättningar?
- Var ska det uppschaktade materialet läggas och vem ansvarar för att det körs bort så att framkomligheten på arbetsplatsen finns kvar? Vem ansvarar för transport och eventuell deponi av materialet?
- Hur installeras armeringskorgarna och i vilket skede, så att lyft kan ske på ett säkert sätt för egen och annan personal på arbetsplatsen?
- Vilken typ av betong som ska användas (recept) måste gås igenom enligt SS-EN 1536:2010 + A1:2015 (SIS, 2015c) och Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations (EFFC/DFI, 2024). Vem ansvarar för att avropa betongen? Ska pålarna gjutas med ränna måste betongbilarna komma nära pålarna. Ska betongpump användas så måste uppställningsplats för denna vara iordningställd. Hur många pålar gjuts vid varje gjuttillfälle?

- Möjligheten för kontinuerlig rengöring av utrustning måste säkerställas. Detta är viktigt speciellt på vintern då denna kan frysa vilket gör uppstarten långsam.
- Pålarnas läge och eventuell lutning bör markeras på handlingar och kontrolleras att det stämmer mot övriga konstruktioner på arbetsplatsen. Framkomligheten till grävpålarnas placering måste säkerställas.

8.6.9.3.2 Installation allmänt

Personalen ska vara väl förtrogen med den utrustning som används samt ha praktisk insikt i den geoteknik samt betongteknik som erfordras för arbetets utförande. Schaktning för grävpålar kan ske med gripskopa, jordskruv, slamskopa, gruspump eller spolning och vid behov kompletteras med mejsling eller sprängning. Schaktväggarna kan stabiliseras antingen med rör som återvinns, kvarlämnas eller med hjälp av stödvätska. Metod bör väljas utifrån vad som ger minsta störning av omgivande jord samt ger kortast arbetscykel. Vid arbetet bör arbetsverktyg väljas som ej väsentligt påverkar det naturligt rådande vattentrycket.

8.6.9.3.3 Schaktning med foderrör

Foderröret, se Figur 8.40, förs ned i jorden på sådant sätt att jorden inte trängs undan eller så att kringliggande jord inte väller in i röret eller luckras upp utanför röret. Röret förs ned genom vridning, nedpressning, slagning eller vibrering. Arbetsrörsektionerna bör vara släta utvändigt och dimensionerade för att tåla erforderligt neddrivnings-, urschaktnings- och mejslingsarbete.

Vid arbete i kohesionsjord som överlagras av torrskorpa (eller fyllning) kan en fast propp bildas i röret av torrskorpeleran. Proppen tränger undan den lösa leran under torrskorpan när röret förs ned i den. Torrskorpeleran ska därför grävas ur innan neddrivningen fortsätter i den lösa leran. När röret schaktas ur så att det totala överlagringstrycket i jorden närmar sig värdet 9 ggr lerans odränerade skjuvhållfasthet uppkommer risk för bottenupptryckning till följd av skjuvbrott i leran. För att undvika att bottnen trycks upp bör arbetsröret drivas ned så att spetsen ligger tillräckligt långt under schaktbotten i röret. Vid behov ökas mottrycket i röret genom att fylla det med vatten, bentonitsuspension eller polymervätska, se Guide to Support Fluids for Deep Foundations (EFFC/DFI, 2019).

I silt eller sandskiktad lera föreligger risk för hydraulisk bottenupptryckning vid schaktning under grundvattenytan om ej schaktningen utförs med arbetsröret fyllt med vatten eller stödvätska.

Även vid arbete under grundvattenytan i genomsläppliga jordarter som sand, grus eller sandig och grusig morän bör schaktning göras i vattenfyllt rör för att undvika bottenuppluckring genom hydrauliskt genombrott, vilket kan minska schaktbottnens bärförmåga (påle grundlagd i jord) eller medverka till sättningar i närbelägen, på högre nivå, grundlagd konstruktion. Förekommer block eller andra hinder i jorden bör de, där så är möjligt, avlägsnas i förväg. Möter arbetsröret sådana hinder under neddrivningen kan hindren röjas undan genom mejsling eller sprängning.



Figur 8.40 Maskin med foderrör. Foto: Bauer.

8.6.9.3.4 Schaktning utan foderrör

Schaktning för grävpåle utan foderrör, där schaktväggarna stabiliseras med borrvätska, kan utföras om särskild utredning visar att jorden och förhållandena på platsen är lämpliga. Särskild arbetsbeskrivning ska upprättas då detta är förhållandevis ovanligt. Stödvätska kan bestå av till exempel vatten, bentonit- eller polymersuspension. Den särskilda utredningen ska bland annat omfatta en geoteknisk undersökning som klarlägger bland annat grundvattenförhållanden, jordlagrens vattengenomsläpplighet och jordlagrens sammansättning. Pålens överdel kan säkras med ett foderrör.

8.6.9.3.5 Behandling av pålbottnen vid grundläggning på berg

Krav på berganslutning med avseende på bergets lutning, eventuell inmejslingslängd och rensning bestäms av pållast, bergkvalitet och tillåten sättning. Indikationer på bergytans ungefärliga läge, lutning och kvalitet erhålls från den geotekniska undersökningen, se kapitel 2, underlag för projektering.

I samband med grävpålearbetet bör följande kontrolleras:

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

Avviker berget från de förutsättningar som anges i den geotekniska undersökningen bestäms erforderliga kompletterande åtgärder. Bergytan bör rensas från finmaterial före eventuell armering och gjutning. Bergrensningen vid schaktning i torrhet utförs om möjligt för hand. Vid schaktning i torrhet kan träspont användas för tätning. Sponten lämnas då kvar vid gjutningen. Slam- eller mammutpump används vid arbete under vatten eller bentonitsuspension.

Vid rensning under vatten kontrolleras med kontrollstänger eller spettlod att finmaterial inte tränger in i arbetsröret från omgivande jordmassor så att hålrum uppstår. Lämplig åtgärd för att förhindra detta är att hela tiden genom påfyllning i arbetsröret hålla tillräckligt vätskeövertryck eller att använda bentonitsuspension. När berget är rensat kontrolleras att ytan uppfyller ställda krav, eventuellt kan kärnborrning utföras för att säkerställa bergkvalitet. Tid för kontroll görs så kort som möjligt varefter armering och gjutning utförs snarast möjligt.

8.6.9.3.6 Behandling av pålbotten vid grundläggning på friktionsjord

Schaktnings- och bottenarbete bör utföras så att pålbotten inte luckras upp. Tiden mellan avslutad schaktning och gjutning hålls så kort som möjligt. Vid arbete under grundvattenytan måste alltid risken för bottenuppluckring beaktas. Anvisningar för arbetenas utförande upprättas i samråd med geotekniker/geokonstruktör. Schaktbottnens beskaffenhet kan kontrolleras med kontrollstänger eller spettlod.

8.6.9.3.7 Armering

Armeringskorgen bör utformas på sådant sätt att den har betryggande hållfasthet och formstabilitet för de påfrestningar den utsätts för under arbetet och så att alla erforderliga arbetsmoment kan genomföras utan hinder. Armering och dess anordnande beskrivs i SS-EN 1536:2010 + A1:2015, (SIS, 2015c). Följande detaljer bör beaktas:

- Korgens byglar utformas så att arbetsrörselements eventuella invändiga lyftöglor kan användas.
- Armeringskorgar förses med horisontella stänger i nederändan vilka ska hindra att den lyfts under gjutningen. Stängerna monteras så att gjutröret kan passera fritt ned till pålbotten.
- Armeringskorgens höjdläge kontrolleras vid gjutningen.
- Det är viktigt att de kontrollanordningar som ska appliceras på armeringskorgen inte skadas och att de är placerade på korrekt sätt.
- Armeringskorgen ska i förekommande fall förses med extra rör för verifierings- och kontrollarbeten, med t.ex. sonic- eller TIP-utrustning, för kontroll av bergytan eller för urborrning av provkroppar av betong.

8.6.9.3.8 Betonggjutning

Betongmassa för grävpåle sammansätts så att massan flyter ut ordentligt och ger en fullgod slutprodukt i fråga om hållfasthet och täthet. Utförandestandard SS-EN 1536:2010 + A1:2015, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c) ska följas. Utförande, sammansättning och provning av betong behandlas i Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations, Third edition (EFFC/DFI, 2024). Betong gjuts om möjligt i torrhet. Undervattensgjutning kan emellertid övervägas:

- När vattentillströmningen är så stor att pålbotten inte kan hållas torr.
- När risk finns för bottenupptryckning eller bottenuppluckring.

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

En smidig och lättflytande betongmassa erhålls om:

- Ballasten består av naturligt rundade jordkorn.
- Ballasten är mångraderad.

Bindetidsretarderande medel används normalt, speciellt om vissa moment fördröjs, till exempel rördragning. Betongmassan bör inte vibreras. Betongmassan gjuts i en sammanhängande process med hög gjuthastighet. Utrustning och teknik väljs så att diskontinuiteter undviks.

Vid gjutning under vatten bör följande punkter iakttas:

- Gjutrören ska ha vattentäta skarvar.
- Gjutrörets underkant ska ligga minst 2 m under betongytan och röret ska vara helt fyllt under hela gjutningen.
- Gjutningen avslutas minst 0,5 m över specificerad avskärningsnivå för att uppnå god betongkvalitet i pålhuvudet.

När arbetsröret dras upp kontrolleras att betongmassan fyller ut minst volymen av arbetsröret och att betongmassa inte flyter ut i onormal mängd i omgivande jord eller hålrum. Om betongmassan har för styv konsistens eller fylls på till för hög nivå innan röret dras upp kan vidhäftningen mot rörets väggar bli så stor att insnörning (minskning av diametern på pålen) eller avbrott i pålen uppstår. Påfyllningen av betongmassan måste balanseras så att tillräckligt, men inte för stort, övertryck mot kringliggande jord erhålls. Kvarsittande formrör för grävpålar kan användas:

- I öppet vatten.
- I mycket lösa jordlager (mycket lös lera, dy, gyttja).
- I jordlager med öppen struktur (sten- och blockfyllning).
- I jordlager med kraftigt flödande vatten.

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

8.7 VIBRERADE PÅLAR

8.7.1 Allmänt

Vibrering är en specialmetod och det finns ingen styrande standard för de flesta sorters pålar. Den bedöms huvudsakligen vara aktuell för följande byggsituationer:

- Som projekterad metod i bygghandling för att minska omgivningspåverkan.
- Som extra åtgärd för att ta sig igenom vissa kompakta jordlager där det inte är möjligt att driva pålen med slagning eller borrning.

Som projekterad metod i bygghandling: Det rekommenderas att det redan i planerings- (kapitel 2) och projekteringsskedet (kapitel 3) bedöms om vibrering krävs, dels för att minska omgivningspåverkan (vibrationer, buller eller massundanträngning), dels för att ta sig igenom mer kompakta jordlager. Bedöms detta vara en lämplig åtgärd bör mer detaljerade studier tas fram, exempelvis provpålning (se kapitel 3, 7 och 9).

Som extra åtgärd: Vibrering kan användas för drivning genom vissa jordlager, och en spontvibrator kan anpassas för att gripa pålen. Eventuella åtgärder ska dokumenteras tydligt, (se kapitel 9, kontroll och verifiering).

Idag erbjuder flera olika tillverkare vibratorer och kringutrustning för installation av spont och pålar eller för lösning av andra grundläggningsproblem. Detta möjliggörs genom hydrauliska vibratorer med variabel frekvens och amplitud, där vibrationsprocessen kan styras och övervakas elektroniskt. När vibratorer används på rätt sätt åstadkoms en skonsam och effektiv installation, som kan anpassas till de specifika geotekniska förutsättningarna.

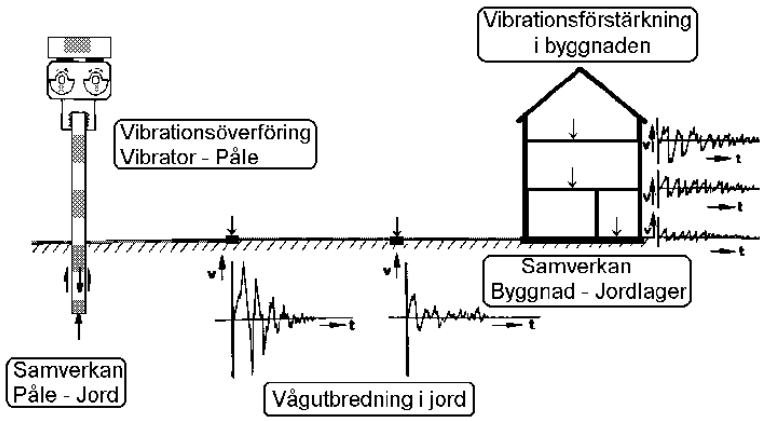
Omgivningspåverkan vid vibrodrivning redovisas i kapitel 10.

Mer detaljerad beskrivning av vibrerade pålar redovisas i Massarsch (1993), Westerberg, Massarsch och Eriksson (1996), Krogh och Lindgren (1997) och Viking (1998).

8.7.2 Metodbeskrivning

8.7.2.1 Vibreringsutrustning

I vibreringsprocessen samverkar flera faktorer, vibratorns dynamiska egenskaper, överföringen av vibrationsenergin till och genom pålen, samverkan mellan den vibrerande pålen och den omgivande jorden samt vågutbredningen i jordlagren och byggnader på eller i jord, se Figur 8.41.



Figur 8.41 Vibrering av påle och jord. Bild: Pålkommissionen.

I Sverige är alla vibratorer hydrauliskt drivna och består av följande huvudkomponenter:

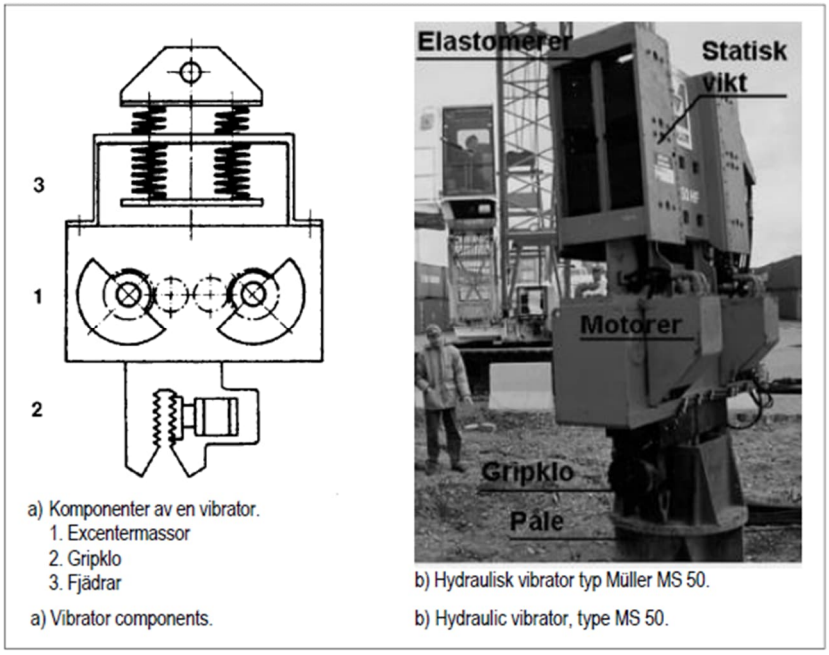
- Excentermassor.
- En statisk massa.
- Fjädrar (elastomerer).
- Gripklo.

Fjädrarna utgör förbindelsen mellan den vibrerande delen (excentermassor, motorer och lager samt vibratorhus) och den statiska delen (upphängningen och den statiska massan). Den statiska massan ovanpå fjädersystemet har till uppgift att öka penetrationsförmågan, men ska också säkerställa en lugn drift genom dynamisk avstämning av vibreringsenheten. Drivningsutrustningen består av följande huvudkomponenter:

- Kraftaggregat.
- Hydrauliska ledningar.
- Vibrator.
- Kontrollpanel.
- Påle.
- Pålkran.

Figur 8.42 visar en principfigur av en vibrator. Figur 8.43 visar en movaxvibrator som har anpassats till vibrering av pålar, där en gripklo fattar tag runt pålen vid vibrering.

För att uppnå ett ur teknisk och ekonomisk synvinkel optimalt drivningsresultat bör de dynamiska egenskaperna hos vibrator och påle anpassas till de aktuella jordlagrens egenskaper. Vibratorer är komplicerade arbetsredskap som måste skötas och kontrolleras med jämna tidsintervall. Kraftaggregatet, de hydrauliska ledningarna, vibratorns motorer samt excentermassornas lager bör inspekteras kontinuerligt för att upptäcka slitage och undvika driftstörningar.



a) Komponenter av en vibrator.
1. Excentermassor
2. Gripklo
3. Fjädrar

a) Vibrator components.

b) Hydraulisk vibrator typ Müller MS 50.

b) Hydraulic vibrator, type MS 50.

Figur 8.42 Principbild av en vibrator. Figur och foto: Pålkommissionen.



Figur 8.43 Movaxvibrator för vibrering av pålar i lera.

8.7.2.2 Vibratorers verkningssätt

För närmare information om beräkningar av vibratorers olika tekniska parametrar hänvisas till kapitel 3. Vibratorns svängningsrörelse åstadkoms av i par anordnade excentermassor som roterar med samma hastighet men i motsatt riktning. Vibratorn försätts då i vertikal svängningsrörelse eftersom centrifugalkraftens horisontella komponent upphävs. Vridmomentet har stor betydelse vid vibrodrivning, och påverkas av de roterande massorna och avståndet till rotationsaxeln.

Vridmomentet, också kallat det ”statiska momentet”, är oberoende av massornas rotationshastighet.

En annan viktig parameter vid vibrodrivning i jord är förskjutningsamplituden. I kombination med centrifugalkraften är förskjutningsamplituden ett mått på vibratorns drivningskapacitet.

I kohesionsjord är det fördelaktigt att arbeta med stor förskjutningsamplitud. Därför ska den dynamiska massan vara så liten som möjligt. Parametrarna påverkar hur vibratorn och pålen samverkar. Genom att ändra massan, rotationsaxeln och rotationsfrekvensen kan vibratorn anpassas till de lokala förhållandena, innefattande både pålen och jordlagerföljden. I många fall sker övergångar mellan olika jordlager, vilket kan hanteras med en justering av vibratorn.

8.7.2.3 Vågrörelse i påle

Vid vibrering penetrerar pålen jorden på ett principiellt annat sätt än vid slagning med fallhejare. Eftersom hejaren inte är fast kopplad till pålen och slagenergin överförs till pålen via dynan och mellanlägget, kan en del av energin gå förlorad. Vid varje slag måste pålen förflyttas ur sitt viloläge, varvid pålens tröghetskrafter och jordens dynamiska motstånd måste övervinnas.

Vibratorn däremot är normalt fast förbunden med pålen, vilket innebär att energiförlusterna blir små. Vibratorn försätter pålen i en vertikalsvängningsrörelse. En del av rörelseenergin förbrukas längs pålens mantel genom mantelfriktion och omvandlas till värme. Den kvarvarande energin kan användas för att övervinna jordens motstånd vid pålspetsen. Rörelseenergin breder ut sig dels från pålens mantel, dels från pålspetsen till den omgivande jorden. Hur stor del av energin som överförs från manteln respektive spetsen beror huvudsakligen på jordlagrens dynamiska egenskaper.

Två faktorer påverkar i hög grad pålens nedträngning i jorden. Å ena sidan måste kraften i pålen vara tillräckligt stor för att övervinna jordens motstånd (längs manteln och vid spetsen). Å andra sidan begränsar pålens impedans den maximala kraften som kan ledas ner genom pålen till spetsen.

8.7.2.4 Jordmotstånd vid vibrering

Vibrationsdrivning av pålar eller spont skiljer sig på ett grundläggande sätt från slagning med fallhejare. Vibrator och påle är fast kopplade till varandra och pålen befinner sig i en oscillerande rörelse. Centrifugalkraften verkar såväl uppåt som neråt. Genom pålens och jordens svängningsrörelse minskas mantelmotståndet temporärt (vid varje svängningscykel) och pålen tränger ner i jorden på grund av vibratorns och pålens vikt. Drivningsproblem uppstår när spetsmotståndet är större än de neråt verkande krafterna. Till skillnad från slagning med fallhejare förlorar pålspetsen vid varje vibrationscykel kontakten med det underliggande jordlagret. Denna avlastningseffekt (då ett undertryck uppstår) har en gynnsam inverkan på pålens nedträngning.

När en påle vibreras ner i jord överförs vibrationsenergin dels längs manteln, dels vid pålspetsen. Det finns flera hypoteser som försöker förklara varför vibrering, främst i friktionsjord, ger ett lägre drivningsmotstånd än slagning med fallhejare, Krogh och Lindgren (1997). En viktig aspekt är att pålen under nedträngningen hålls i ständig rörelse, varigenom jordens skjuvhållfasthet längs manteln reduceras till residualvärdet. Den cykliska belastningen bidrar till en nedbrytning av jordens hållfasthet. En annan faktor är att jorden genom svängningsrörelsen försetts i ett ”flyttillstånd”, en förklaring som har berättigande i lös, vattenmättad friktionsjord. Denna teori, som är mycket utbredd, kan dock inte förklara varför vibrering är mycket effektiv även i medelfast och fast, torr friktionsjord.

I kohesionsjord, där mantelfriktionen mellan pålen och den omgivande jorden är låg, har jordens horisontella svängningsrörelse liten betydelse, eftersom den odränerade skjuvhållfastheten är oberoende av normalspänningen.

Vid val av lämpliga vibratorer är det nödvändigt att i förväg kunna uppskatta jordens motstånd vid vibrering. Den erforderliga vibratorkapaciteten kan antingen uppskattas med ledning av empiriska samband eller med teoretiska analyser.

8.7.2.5 Mantel- och spetsmotstånd

Generellt kan sägas att vibratorer är bäst lämpade för installation av pålar med relativt litet spetsmotstånd (öppna rör, stålprofiler eller sponter). Vibrationsdrivning är mindre effektiv i mycket fast kohesionsjord.

Löst lagrad friktionsjord tenderar att packas tills den har uppnått en ”kritisk lagringstäthet”. I löst lagrad, vattenmättad friktionsjord ökar porvattentrycket genom vibrering, som reducerar effektivspänningen och därmed skjuvhållfastheten. När porvattenövertrycket når totaltrycket uppstår ”jordförvätskning” (liquefaction) och hållfastheten försvinner temporärt. Om vibreringen fortsätter utjämnas porvattenövertrycket igen och effektivspänningen ökar. Friktionsjord övergår efter jordförvätskning i ett fastare lagringstillstånd.

Fast lagrad friktionsjord har en tendens till volymökning, den ”dilaterar”, vilket i vattenmättad jord medför en minskning av porvattentrycket. Detta leder till en temporär ökning av skjuvhållfastheten och därmed drivningsmotståndet. När porvattentrycket vid fortsatt vibrering ökar luckras jorden upp till en lägre (”kritisk”) lagringstäthet.

8.7.2.5.1 Mantelmotstånd i friktionsjord

I friktionsjord uppstår genom pålens vertikala svängningsrörelse ett oscillerande vågfält med en stor horisontell svängningskomponent. Den horisontella svängningsamplituden ökar som en funktion av

jordens friktionsvinkel och minskar temporärt det horisontella jordtrycket. Hypotesen kan förklara varför vibrering är effektiv även i fast friktionsjord. Vibreringsfrekvensen har ingen nämnvärd inverkan på mantelmotståndet i friktionsjord.

Det stora antalet lastcykler som uppstår vid vibrering bryter ner jordstrukturen. Sandpartiklarna nöts och friktionsvinkeln minskar. I friktionsjord uppnås den bästa nedträngningen genom en ökning av svängningshastigheten i pålen (hög centrifugalkraft). Andra faktorer har underordnad betydelse.

8.7.2.5.2 Mantelmotstånd i kohesionsjord

Med undantag av sensitiva leror (där skjuvhållfastheten reduceras på grund av mekanisk nedbrytning), minskar mantelmotståndet endast långsamt under vibreringsprocessen. I lösa leror sjunker skjuvhållfastheten på grund av förhöjt porvattentryck, medan skjuvhållfastheten i fasta (överkonsoliderade) leror kan öka på grund av ett temporärt porvattenundertryck (dilatans). Horisontalsvängningarna är relativt små i kohesionsjord på grund av den låga friktionsvinkeln. Dessutom påverkas den odränerade skjuvhållfastheten inte av ändringen av normalspänningen. Svängningshastigheten har endast begränsad inverkan på mantelmotståndet.

Vibrationsfrekvensen och därmed belastningshastigheten påverkar kohesionsjordens skjuvhållfasthet. Mantelmotståndet ökar med vibrationsfrekvensen. Därför bör vibrationsfrekvensen i kohesionsjord hållas lågt, utan att förorsaka resonanseffekter. Förskjutningsamplituden är den faktor som har störst inverkan på mantelmotståndet i leror. I medelfast och fast lera erfordras en relativt stor förskjutningsamplitud för att kunna övervinna mantelmotståndet. Vidhäftningen mellan påle och kohesionsjord kan minskas när förskjutningsamplituden överskrider ett kritiskt värde, som för medelfasta och fasta leror ligger omkring 10–30 mm.

Lerans skjuvhållfasthet avtar i allmänhet med ökat antal lastcykler och har tendensen att reducera mantelmotståndet. I kohesionsjord utförs vibrationsdrivning lämpligen med stor förskjutningsamplitud. Detta uppnås enklast vid en låg vibrationsfrekvens. I dessa fall bör risken för resonanseffekter beaktas.

8.7.2.5.3 Spetsmotstånd i friktionsjord

Spetsmotståndet beror på jordens skjuvhållfasthet, som mobiliseras genom undanträngningen av jordmaterialet. Genom den oscillerande rörelsen förlorar pålspetsen vid varje lastcykel kontakten med jordlagret. Undertrycket har en nedbrytande inverkan på skjuvhållfasthet, men kan i fast friktionsjord också leda till oönskade dilatanseffekter. Den mest effektiva nedträngningen uppnås i friktionsjord genom hög centrifugalkraft, som åstadkoms genom ökad vibrationsfrekvens.

I lös och medelfast lagrad, vattenmättad friktionsjord uppstår temporärt ett flyttillstånd (jordförvätskning) nära pålspetsen. Porvattentrycket utjämnas dock snabbt i grovkornig friktionsjord. Förskjutnings-amplituden måste i allmänhet begränsas vid höga frekvenser. Erfarenheten tyder på att förskjutnings-amplituden endast har underordnad betydelse. Lastcykler orsakar en nötning av jordpartiklarna (minskad friktionsvinkel) samt en nedbrytning av jordstrukturen vid spetsen. I löst lagrad jord kan ibland packning uppstå. I fast friktionsjord, däremot, kan ett ökat antal lastcykler resultera i dilatans som gradvis luckrar upp jorden.

I friktionsjord övervinns spetsmotståndet bäst genom hög vibrationsfrekvens och stor centrifugalkraft.

8.7.2.5.4 Spetsmotstånd i kohesionsjord

Spetsmotståndet i kohesionsjord är hastighetsberoende och tilltar med ökad frekvens. Centrifugalkraften måste vara tillräckligt stor för att bryta ned lerans skjuvhållfasthet. I lera kan det stora antalet lastcykler leda till en reduktion av skjuvhållfastheten.

För att kunna övervinna spetsmotståndet i fast lera krävs en stor förskjutningsamplitud, som uppnås bäst genom vibrering med låg frekvens.

8.7.2.6 Resonanseffekter i jord

Vid vibrering av pålar kan resonans uppstå mellan vibratorsystemet och de omgivande jordlagren. Denna effekt kan undvikas, men också förstärkas genom vibrering. Vid användning av moderna, variabla vibratorer kan vibratorfrekvensen och svängningsamplituden varieras under hela drivningsförloppet för att minska markvibrationer.

Vid resonans vibrerar vibratorn, pålen och de omgivande jordlagren ”i fas” och det uppstår en effektiv vibrationsöverföring från vibratorn genom pålen till de omgivande jordlagren. Resonanseffekten medför att den relativa svängningsrörelsen mellan pålen och jorden, som erfordras för att pålen ska kunna tränga ned, minskar trots att jordlagren svänger mycket kraftigt. Ur drivningssynpunkt är det därför viktigt att undvika resonansfrekvensen. Det är svårt att teoretiskt beräkna resonansfrekvensen vid pål- eller spontdrivning, eftersom den påverkas av jordens dynamiska egenskaper, pålens längd och impedans samt vibratorns svängande massa. Däremot kan resonansfrekvensen bestämmas i fält med hjälp av elektronisk processtyrning.

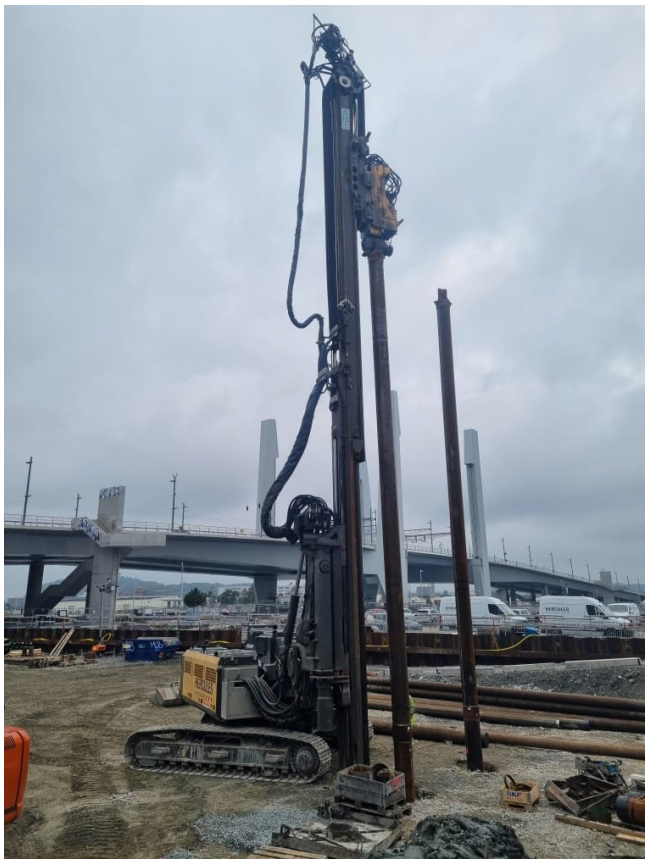
Till skillnad från resonanseffekter i jordlager kan resonans även framkallas i pålen. Genom resonanseffekten förstärks svängningsrörelsen i pålen, som ger ökad penetration. Påfrestningarna på påle och utrustning samt energiförbrukningen är dock mycket höga.

8.7.3 Råd

8.7.3.1 Vibrationsutrustning

Vibrationsdrivning kan vara effektiv vid installation av pålar och spont, förutsatt att arbetet utförs av kompetent personal och med lämplig utrustning. Ett exempel på där en vibrator har anpassats till en standard pålmaskin visas i Figur 8.44. Följande frågor bör övervägas vid projekt där vibrator ska användas för pål- eller spontdrivning:

- Val av vibratorns kapacitet (centrifugalkraft och förskjutningsamplitud).
- Kraftaggregatets kapacitet (tryck och flöde) som måste anpassas till vibratorns behov.
- Pålens geometri (tvärsnittsarea) och materialegenskaper (impedans).
- Typ och kapacitet av pålkran (med eller utan gejder).
- Kraftförsörjningen (separat kraftaggregat eller hydraulisk matning från pålkranen).
- Personalens (maskinförarens) erfarenhet.
- Jordlagrens geotekniska egenskaper samt grundvattenförhållanden, jordens motstånd och geodynamiska förutsättningar.
- Bärförmåga och stoppslagnings-/vibreringskriterier.
- Omgivningspåverkan.
- Dokumentation och kvalitetsövervakning.
- Service och kontinuerlig kontroll/övervakning av utrustningen.
- Provvibrering för fastställande av optimal installationsmetod.



Figur 8.44 API spontmaskin anpassad för att vibrera pålar.

8.7.3.2 Kontroll vid användning av vibrator

De viktigaste parametrarna vid användning av vibratorer för pålslagning är:

- vibratorns frekvens
- svängningsamplitud
- oljetryck
- djup
- svängningshastighet på eller i marken (eller i en byggnad)
- tid
- mätpunktsbeteckning.

Dessutom kan annan projektinformation som datum, projektbeteckning, maskin- och vibratortyp, maskinförarens namn registreras. Mätvärden samlas i en konventionell dator. Med hjälp av den elektroniska registreringsutrustningen kan det genomförda arbetet dokumenteras och senare analyseras med avseende på:

- produktivitet (erfarenhet som kan användas som underlag vid framtida projektanbud)
- maskinbelastning/överbelastning och kapacitetsutnyttjande
- produktion (till exempel problem eller avbrott)
- omgivningspåverkan (vid eventuella skadeståndskrav).

8.8 FALSKA PÅLSTOPP

8.8.1 Bakgrund

Med falskt pålstopp åsyftas att pålen vid drivning och stoppslagning uppvisar ett större drivningsmotstånd, dvs. en minskad sjunkning per slag, än vid efterslagning. Det höga drivningsmotståndet vid stoppslagningen motsvarar alltså inte någon hög statisk bärförmåga för den färdiga pålen. Redan några timmar efter avslutad slagning kan drivningsmotståndet ha minskat så att pålen med relativ lätthet kan drivas vidare, det vill säga bärförmågan är lägre än vad som kan uppskattas vid stoppslagning. Man kan därefter räkna med att drivningsmotståndet successivt ökar igen under den fortsatta slagningen tills skenbar stoppslagning återigen sker.

Normalt brukar falska pålstopp ske i fast lagrad siltig jord. Fenomenet har även inträffat i överkonsoliderad lera med relativt hög andel silt och i finsand. Utomlands har falska pålstopp dessutom noterats vid slagning i vissa typer av lerskiffer. Falska pålstopp är relativt sällsynta och förekomst av siltig jord behöver inte betyda att risken för falska stopp är överhängande. I dag finns inte någon enhetlig bild av vilka kriterier som krävs för uppkomst av falska pålstopp.

Redan inom några timmar efter avslutad slagning kan det porundertryck som uppkommer vid falska pålstopp ha försvunnit, vilket leder till en reduktion av effektivspänningarna kring pålspetsen och följaktligen en minskning av pålens spetsbärförmåga. Hänsyn till detta behöver tas vid utförande av kontrollslagning. Orsaken till falska pålstopp redovisas i kapitel 3.

8.8.2 Åtgärder

Om falska pålstopp uppstår är konsekvenserna ofta allvarliga. Om det aktuella lagret är relativt mäktigt, så att man inte kan slå igenom det till bärkraftigare lager, kan följande åtgärder eller kombination av åtgärder behöva göras:

- Efterslagning av pålarna, (se kapitel 9).
- Byte till tyngre hejare.
- Reducera lasten på pålarna så att den motsvarar den geotekniska bärförmågan som är möjlig att uppnå i det aktuella jordlagret (se kapitel 6 och 7).
- Utökad provpålning/produktionskontroll möjliggör att en lägre partialkoefficient kan användas vid utvärdering av dimensionerande geoteknisk bärförmåga (Se kapitel 9).
- Försöka penetrera det aktuella lagret genom en växelvis slagning av pålarna.
- Byte av påltyp.

I dag finns inte något säkert sätt att genom geotekniska undersökningar förutse falska stopp i ett visst jordlager. CPT-undersökning samt hejarsondering i kombination med provtagning (jordartsbedömning) kan däremot ge en indikation om det finns en förhöjd risk för falska stopp, se kapitel 2. Kännedom om tidigare pålning i området kan i det här avseendet vara värdefullt. Provpålning är därför det bästa sättet att undersöka risken för falska stopp, se kapitel 9. Provpålning bör ske i ett så tidigt skede i projekteringen att det möjliggör nödvändiga förändringar t.ex. byte av påltyp, utökad provpålning, anpassad last, stoppslagning i ett specifikt lager. Notera att falska stopp kan vara ett mycket lokalt problem och stora variationer kan förekomma inom samma arbetsplats. För att kontrollera eventuell förekomst av falska stopp ska kontrollslagning alltid utföras och detta tidigast ett antal timmar efter avslutad slagning. Vid upptäckta problem ska efterslagning utföras i erforderlig omfattning för att lokalisera problemområdet.

8.9 GRUNDFÖRSTÄRKNING (VAKANT)

Avsnittet kompletteras i kommande utgåvor av Pålhandboken.

8.10 PÅLNING PÅ VATTEN FRÅN PONTONER OCH ARBETSBRYGGOR

8.10.1 Allmänt

Pålning på vatten erfordras ibland vid projekt i närheten av hav, sjöar och vattendrag såsom kajkonstruktioner och broar. Ofta används stora påldimensioner vilket kräver omfattande utrustning och transporter av material. Detta avsnitt redovisar kortfattat faktorer som bör beaktas vid pålning på vatten, vilket kan genomföras ifrån ponton eller ifrån arbetsbryggor.

8.10.2 Arbeten från ponton

Pontoner är flytetyg som tillåter arbeten på vatten, visat i Figur 8.45. Detta kan innefatta flytande pontoner som måste stabiliseras eller pontoner på stödben (s.k. ”jack-up”) som kan sättas ner på sjöbotten.

Nedanstående punkter bör beaktas vid användning av pontoner för grundläggningsarbeten:

- Bärighet för pontonen och anslutande konstruktioner: Dessa måste kontrolleras och förutsättningar måste finnas framme innan pontonen belastas. Detta gäller speciellt vid excentriska laster eller behov av att utföra lutande pålar stående på kanten av ponton. Speciellt räckvidden för pontonen jämfört med läget för pålarna bör beaktas innan bestämning av egenskaper för ponton sker.
- Ponton ska besiktigas innan arbetena ska inledas.
- Behov av stödben för pontonen ska beaktas. Erforderligt geounderlag för denna bedömning bör medfölja i handlingar. Detta innefattar bärigheten av sjöbotten, täckning av grusfyllning och lutning på sjöbotten.
- Behov av åtgärder för att förhindra grumling vid arbeten ifrån ponton ska beaktas. Detta innefattar behov av åtgärder som siltgardin och hur detta påverkar arbetena.
- Anslutning mellan ponton och land vid påfart och avfart är en arbetsmiljörisk och ska beaktas i arbetsberedning (se avsnitt 8.4). På grund av den höga lasten för pålningsmaskiner finns stor risk för att maskiner välter vid övergång mellan ponton och land där hela eller delar av maskinen blir instabil.
- Behövs styrbalk för arbetena eller någon slags balkraster för att styra slagning eller borrning? Hur ska denna monteras och hur påverkar detta entreprenadarbetena?



Figur 8.45 Pålning från ponton. Foto: Veidekke grundläggning.

8.10.3 Arbeten från arbetsbryggor

Arbetsbryggor är provisoriska arbetsplattformar som oftast pålas, visat i Figur 8.46 och Figur 8.47. På pålarna byggs en trä- eller stålram med en arbetsplattform där arbetsmaskiner kan framföras. Detta kan ge en mer ekonomisk framdrift än att använda pontoner, speciellt för mer omfattande projekt. Arbetsbryggorna är oftast provisorier som projekteras av entreprenören. En fördel är att bryggan, om hänsyn tas vid projekteringen, kan användas för andra arbeten än grundläggningsarbeten, t.ex. formning och gjutning och transporter av material.

Nedanstående punkter bör beaktas vid användning av arbetsbryggor:

- Förutsättningar för samtliga arbeten innefattande stål- och betongarbeten måste vara klara innan arbetena inleds. Finns tillräckligt djup för montering av stag eller strävor, och är transporter möjliga?
- Plattform för maskiner ska monteras så att trafik möjliggörs. Alla laster ska beaktas, inklusive bromslaster. Glidning av maskin ska förhindras.
- Pålbrygga ska besiktigas av konstruktör på plats innan den tas i bruk.
- Pålbryggans pålar kan behöva skyddas från isbildning och drivis om den ska användas över den kalla årstiden.



Figur 8.46 Slagning stålpåle för pålbrygga. Foto: Hercules Grundläggning



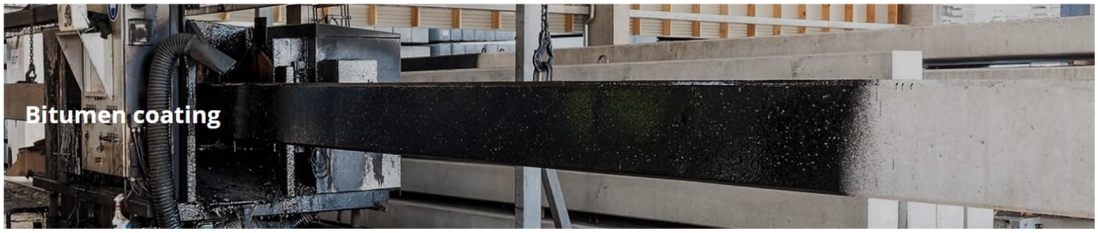
Figur 8.47 Pålning från pålbrygga. Foto: Peab Grundläggning.

8.11 BITUMENSTRYKNING AV PÅLAR

Avsikten med bitumenstrykning på pålar är att reducera påhängslaster på grund av sättningsdifferens mellan påle och omgivande jord. Det är möjligt att bitumenstryka manteln, antingen över hela manteln eller del av denna, se Figur 8.48.

Påhängslasten minskas genom att bitumen stryks på pålens mantel ner till den önskade nivån, där sättningen bedöms vara så liten att påhängslast inte uppkommer på pålen, eller längs hela pålens längd. Detta leder enligt Peleveiledningen till en avsevärd reduktion av påhängslasten. Följande metodik för denna bitumenstrykning innefattar enligt Peleveiledningen 2019 (NGF, 2019):

- Ojämnheter ska tas bort ifrån stålpålar innan bitumen påförs.
- Pålen ska först påföras en primer.
- Innan bitumen påförs ska pålen vara rengjord, torr och ha en temperatur på minst 10 °C.
- Beläggningen bestående av ooxiderat bitumen påförs.
- Beläggningen ska vara minst 2 mm för betongpålar och 1 mm för stålpålar om bitumen 70/100 används.
- Innan pålen ska slås skyddas beläggningen med till exempel papper eller annat material, se Figur 8.49.
- Finns det grövre jordlager ovanpå leran ska beläggningen skyddas vid neddrivning, till exempel genom förschakt eller foderrör.



Figur 8.48 Exempel på bitumenstrykning av betongpåle.



Figur 8.49 Exempel på bitumenbestrukna betongpålar med pappersinslagning.

8.12 REFERENSER

Arbetsmiljöverket, 2023a. *AFS 2023:3, Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:3) om projektering och byggarbetsmiljösamordning – grundläggande skyldigheter.* Arbetsmiljöverkets författningssamling.

Arbetsmiljöverket, 2023b. *AFS 2023:4, Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2023:4) om produkter–maskiner.* Arbetsmiljöverkets författningssamling.

Arbetsmiljöverket, 2023c. *AFS 2023:9, Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:9) om produkter – stegar, ställningar och viss annan utrustning för arbete på höjd, samt vissa trycksatta anordningar.* Arbetsmiljöverkets författningssamling.

Arbetsmiljöverket, 2023d. *AFS 2023:10, Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:10) om risker i arbetsmiljön.* Arbetsmiljöverkets författningssamling.

Arbetsmiljöverket, 2023e. *AFS 2023:11, Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:11) om arbetsutrustning och personlig skyddsutrustning – säker användning.* Arbetsmiljöverkets författningssamling.

Arbetsmiljöverket, 2023f. *AFS 2023:12, Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:12) om utformning av arbetsplatser.* Arbetsmiljöverkets författningssamling.

Arbetsmiljöverket, 2023g. *AFS 2023:13, Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:13) om risker vid vissa typer av arbeten.* Arbetsmiljöverkets författningssamling.

EFFC/DFI, 2019. *Guide to Support Fluids for Deep Foundations.* By the joint EFFC/DFI Support Fluids Task Group. First edition, 2019.

EFFC/DFI, 2024. *Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations.* By the joint EFFC/DFI Concrete Task Group. Third edition, 2024.

Hercules, 2026. *Betongpåleboken, Anvisningar för projektering, design och kontroll.* Hercules Grundläggning AB, Upplaga 4 /2026.

Krogh, P. & Lindgren, A., 1997. *Dynamic field measurements during deep compaction at Changi airport, Singapore*. Examensarbete 97/9, JOB, KTH, Stockholm.

Massarsch, K. R., 1993. Man-made Vibrations and Solutions, State-of-the-Art Lecture, Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Missouri, June 1 - 6, 1993, Vol. II, pp. 1393 - 1405.

NGF, 2019. *Pelevegledningen 2019*. Norsk geoteknisk förening, Den norske Pelekomité.

Pålkommissionen, 1993. *Rapport 90 - Grova stålrörspålar – anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll*.

Pålkommissionen, 2000. *Rapport 98 - Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar*. Författare: Åke Bengtsson, Bo Berglars, Sven Hultsjö och Jan Romell.

Pålkommissionen, 2012. *Tekniskt PM 1:2012, Accelererande hejare, En studie av effektiviteten utvärderad från stötvågsmätningar*. Författare: Ingemar Hermansson, Mattias Grävare och Thomas Bjerendal.

SGI, 2023. *SGI Vägledning 8 - Utredning av släntstabilitet. Utgåva 1*. Statens geotekniska institut. Huvudförfattare: Karin Odén och Tobias Thorén.

SIS, 2005. *SS-EN 1992-1-1:2005 - Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader + SS-EN 1992-1-1:2005/AC:2008 , SS-EN 1992-1-1:2005/AC:2010 , SS-EN 1992-1-1:2005/AC:2010, SS-EN 1992-1-1:2005/A1:2014 och SS-EN 1992-1-1:2005/A1:2014.*

SIS, 2008. *SS-EN 12794:2005+A1:2007/AC:2008 - Förtillverkade betongprodukter – Betongpålar.*

SIS, 2011. *SS-EN 1090-1:2009+A1:2011, Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner - Del 1: Bedömning av bärverksdelars överensstämmelse med ställda krav.*

SIS, 2012a. *SS-EN ISO 22282-1:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 1: Allmänna regler (ISO 22282-1:2012).*

SIS, 2012b. *SS-EN ISO 22282-3:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 3: Vattenförlustmätning i berg (ISO 22282-3:2012).*

SIS, 2013. *SS-EN 1537:2013, Utförande av geokonstruktioner – Förankringar*.

SIS, 2015a. *SS-EN 12699:2015, Utförande av geokonstruktioner - Massundanträngande pålar*.

SIS, 2015b. *SS-EN 14199:2015, Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar*.

SIS, 2015c. *SS-EN 1536:2010 + A1:2015, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar*.

SIS, 2021a. *SS-EN 16228-1:2014+A1:2021- Borrnings- och grundläggningsutrustning - Säkerhet - Del 1: Allmänna krav.*

SIS, 2021b. *SS-EN 16228-2:2014+A1:2021- Borrnings- och grundläggningsutrustning - Säkerhet - Del 2: Mobila borriggar för anläggnings- och geoteknik, stenbrott och gruvor.*

SIS, 2021c. *SS-EN 16228-3:2014+A1:2021- Borrnings- och grundläggningsutrustning - Säkerhet - Del 3: Styrd horisontell borrutrustning.*

SIS, 2021d. *SS-EN 16228-4:2014+A1:2021- Borrnings- och grundläggningsutrustning - Säkerhet - Del 4: Grundläggningsutrustning.*

SIS, 2021e. *SS-EN 16228-6:2014+A1:2021- Borrnings- och grundläggningsutrustning - Säkerhet - Del 6: Sprutnings-, gjutnings- och injekteringsutrustning.*

SIS, 2021f. *SS-EN 16228-7:2014+A1:2021- Borrnings- och grundläggningsutrustning - Säkerhet - Del 7: Utbytbar tilläggsutrustning.*

SIS, 2024. *SS-EN 1090-2:2018+A1:2024. Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner – Del 2: Tekniska krav för stålkonstruktioner*.

Svensk Byggtjänst, 2015. *Schakta säkert*, Svensk Byggtjänst och SGI, ISBN 978-91-7333-737-3. Författare: Karin Lundström, Karin Odén och Wilhelm Rankka.

Svensk Byggtjänst, 2021. *Säker uppställning av tunga maskiner*. Svensk Byggtjänst och SBUF, ID: 13547. Författare: Wilhelm Rankka, Sven Liedberg, David Rudebeck och Björn Dehlbom. Uppställning av tunga anläggningsmaskiner, Svensk Byggtjänst, 2022.

Svensk Byggtjänst, 2023. *AMA Anläggning 23, RA Anläggning 23.*

Svensk Grundläggning, 2016. *Ordnings- och skyddsregler, 2016:1*.

Svensk Grundläggning, 2018a. *Riskinventering och arbetsberedning sjöjobb*.

Svensk Grundläggning, 2018b. *Riskinventering och arbetsberedning borrning*.

Svensk Grundläggning, 2018c. *Riskinventering och arbetsberedning stållager*.

Svensk Grundläggning, 2019. *SÄKER GRUND - Allmänna säkerhetsanvisningar och beställarvägledning vid utförande av grundläggning*, 2019-11-6.

Trafikverket, 2025a. *TRVINFRA-00227 - Krav med rådstext - Bro och broliknande konstruktion, Byg*gande. Version 6.0, Publiceringsdatum 2025-07-01.

Trafikverket, 2025b. *TDOK 2023:0125, Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA Anläggning 23.* Version 2.0. Dokumentdatum 2025-07-01.

Transportstyrelsen, 2018. *TSFS 2018:57 - Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder.*

Viking, K., 1998. *Driveability studies of vibro-driven model piles in non-cohesive soils – laboratory simulations*, Licentiate Thesis 2029, JOB, KTH, Stockholm.

Westerberg, E., Massarsch, K. R. och Eriksson, K., 1996. Soil resistance during vibratory pile driving. Proceedings, International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT´95, Volume 3, s. 241 - 250.