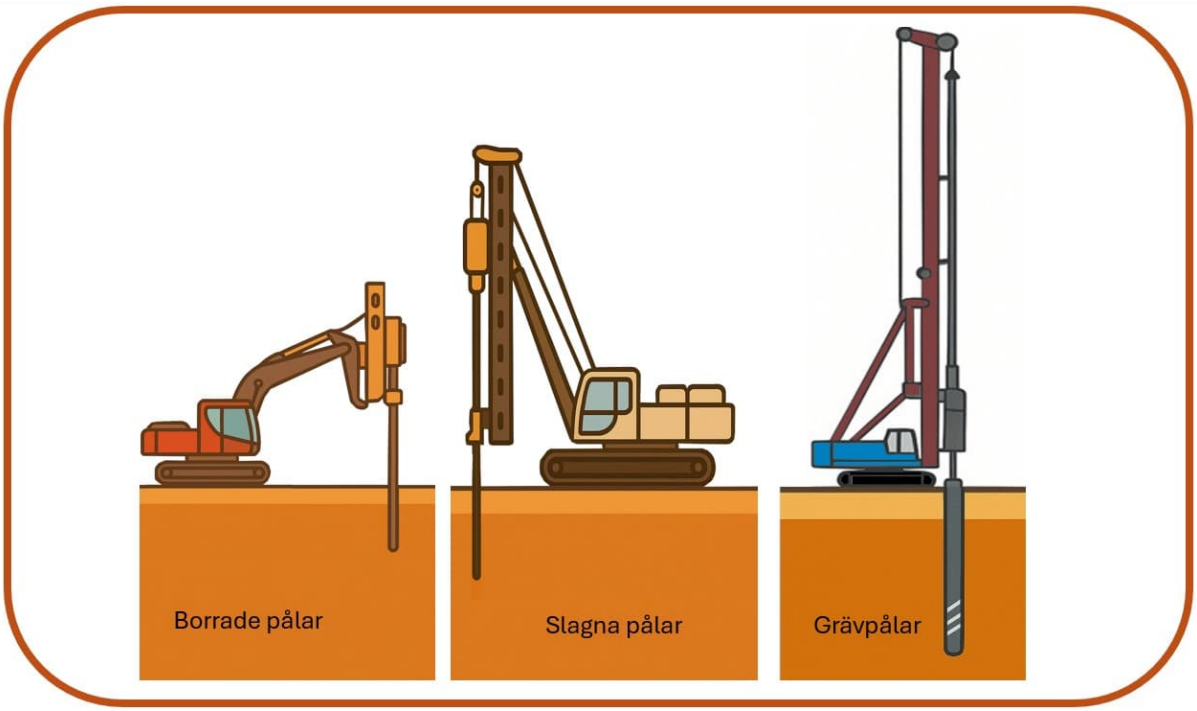


PÅLHANDBOKEN

KAPITEL 9, KONTROLL OCH VERIFIERING



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

9	**Kontroll och verifiering**	**5**
9.1	**Allmänt**	**5**
9.2	**Arbetsledning och kontrollplaner vid pålningsarbeten**	**7**
9.3	**Påltyper**	**9**
9.3.1	Allmänt	9
9.3.2	Betongpålar	11
9.3.3	Träpålar	18
9.3.4	Slagna stålrörspålar	20
9.3.5	Borrade stålrörspålar	25
9.3.6	Dragförankringar i pålar	28
9.3.7	Stålkärnepålar	32
9.3.8	Borrade och injekterade pålar	35
9.3.9	Grävpålar	38
9.4	**Verifiering av geoteknisk bärförmåga**	**41**
9.4.1	Allmänt	41
9.4.2	Statisk provbelastning	41
9.4.3	Dynamisk provbelastning med stötvågsmätning	50
9.4.4	Hävdvunna åtgärder	65
9.4.5	Provpålning	69
9.5	**Produktionskontroll av geoteknisk bärförmåga**	**77**
9.5.1	Allmänt	77
9.5.2	Produktionskontroll med provbelastning	77
9.6	**Övriga kontrollmetoder**	**81**
9.6.1	Allmänt	81
9.6.2	Kontrollmetoder för grävpålar	82
9.7	**Kontrollprogram för omgivningspåverkan**	**85**
9.7.1	Allmänt	85
9.7.2	Krav på kontrollmätningar	85
9.7.3	Framtagning av kontrollprogram	86
9.7.4	Mätning inom kontrollprogram	88
9.7.5	Dokumentation av kontrollmätningar	91
9.8	**Befintliga pålar (vakant)**	**91**
9.9	**Referenser**	**92**

9 KONTROLL OCH VERIFIERING

9.1 ALLMÄNT

Detta kapitel behandlar kontroll och verifiering av pålar och innefattar slagna och vibrerade pålar, borrade pålar, grävpålar och borrade injekterade pålar. Kontroll och verifiering av dragstag i stålpålar behandlas också då detta är vanligt förekommande och ingår i grundläggningsarbetena.

Vid utförande i geoteknisk kategori 3 ska entreprenörens egenkontroll kompletteras med kontroll utförd av "oberoende" sakkunnig, se kapitel 3.

Kapitlet omfattar kontrollåtgärder vid utförande av pålning och verifiering av geoteknisk bärförmåga. Detta innefattar en rad kontrollåtgärder indelat på olika påltyper eller arbetsmoment. En del av dessa kontrollåtgärder återfinns i utförandestandarder, och andra är en rekommendation för vad som är lämpligt enligt praxis.

Tidigare tillämpades begreppen ”Grundkontroll” och ”Tilläggskontroll”, som funnits med sedan Nybyggnadsreglerna i slutet på 1980-talet. Grundkontroll avsåg generell kontroll av material och arbetsutförande som alltid ska utföras. Tilläggskontroll avsåg kontroll utöver grundkontroll som är objektspecifik. Grundkontroll och tilläggskontroll var vedertagna begrepp i BKR och BSK och fanns med ända fram till Boverkets EKS 9 (Boverket, 2013). I samband med att EKS 10 (Boverket, 2015) trädde i kraft så försvann begreppen och ersattes med begreppet ”Utförandekontroll”.

Begreppen grundkontroll och tilläggskontroll för pålningsarbeten användes tidigare i AMA Anläggning. Grundkontroll av pålar omfattade exempelvis kontroll av märkning av pålelement, skarvar, bergskor och dubbar, kontroll av påldetaljer, inmätning av pålars läge och längd, kontrollberäkning av en pålgrupps verkliga bärförmåga efter inmätning samt dokumentation av eventuell slagräkning och verifiering av geoteknisk bärförmåga. Tilläggskontroll omfattade angivna objektanpassade kontrollåtgärder, kontrollåtgärder avseende kontrollslagning och efterslagning av pålar samt kontroll av påles krökning och integritet (Svenska Byggtjänst, 2014).

I AMA Anläggning 23 (Svensk Byggtjänst, 2023) anges att dokumentation av kontroll, provning och verifiering ska uppfylla kraven i SS-EN 1997-1 (SIS, 2005), samt för påltypen gällande utförandestandard. I AMA angiven ”kontroll” avser, där inte annat anges, kontroll som entreprenören ska ombesörja genom till exempel mätning och provning. Uppfyllelse av ställda krav ska verifieras genom kontroll som dokumenteras och fortlöpande tillsänds beställaren. Ett kontrollprogram ska upprättas som ska innehålla kontroller enligt entreprenadhandlingarna samt de kontroller som ska utföras enligt leverantörens anvisningar. För ytterligare detaljer, se AMA Anläggning 23.

I kapitel 9 används fortsättningsvis inte begreppen grundkontroll och tilläggskontroll. I avsnitt 9.3 beskrivs olika typer av kontrollåtgärder som väljs specifikt för respektive objekt, vilka ska specificeras i en kontrollplan (kontrollprogram). Kontrollen anpassas efter påltyp, installationsmetod och markförhållanden och kompletteras vid behov, exempelvis om de geotekniska förhållandena avviker ifrån vad som är redovisat i den marktekniska undersökningsrapporten, se kapitel 2, underlag för projektering.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga enligt SS-EN 1997-1:2005 (SIS, 2005) sker genom beräkning (främst mantelburna pålar), genom hävdvunna åtgärder (slagna stål- och betongpålar) eller genom provbelastning (samtliga påltyper).

Produktionskontroll med bestämning av geoteknisk bärförmåga görs vanligtvis med stötvågsmätning (dynamisk provbelastning) eller genom statisk provning. Den statiska provbelastningen i drag utförs antingen direkt på pålarna eller på dragförankringar som installeras i borrade stålrörspålar. Statisk

provning i tryck som produktionskontroll är idag inte vanlig i Sverige på grund av tidsåtgång och kostnad.

Verifiering kan delas in i direkt bestämning av geoteknisk bärförmåga genom provbelastning och verifiering av geoteknisk bärförmåga genom till exempel ett stoppslagningskriterium. I den första delen av kontrollen genomförs bestämning av bärförmågan och kriterier för verifiering tas fram. I nästföljande del där kriterium för verifiering av bärförmåga är framtaget, används detta för att verifiera bärförmågan. Detta är vanligt för spetsburna pålar där stoppslagningskriterium används.

SS-EN 1997–1:2005 (SIS, 2005), avsnitt 7.9, anger att samtliga pålar ska följas upp under produktionen och att pålprotokoll ska föras. Produktionskontroll med till exempel bestämning av bärförmågan och pålens integritet ska göras när iakttagelser under installationen tyder på stora avvikelser från förväntat beteende med avseende på de geotekniska förhållandena eller tidigare erfarenheter på platsen. Installation av ersättningspåle kan behöva göras om osäkerheter råder om pålens kvalitet. Val av lämpligt antal pålar som ska kontrolleras bör utföras på basis av det som observeras under installationen. Produktionskontrollen är ett komplement till provpålningen (dimensionering genom provning) enligt SS-EN-1997-1:2005 (SIS, 2005).

I avsnitt 9.4 redovisas olika metoder för verifiering av geoteknisk bärförmåga, i avsnitt 9.5 redovisas produktionskontroll av geoteknisk bärförmåga och i avsnitt 9.6 beskrivs övriga kontrollmetoder.

I avsnitt 9.7 ges råd om hur ett kontrollprogram för omgivningspåverkan kan upprättas och vilka mätningar som bör innefattas. Detta ansluter till kapitel 2, underlag för projektering, och kapitel 3, projektering. För mer detaljer angående skaderisker, tillämpliga regelverk och prognostiseringsverktyg för olika jord-, vatten- och luftfenomen som kan uppstå på grund av pålningsarbeten eller pålgrundläggning, se kapitel 10.

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).

För verifiering av bärförmåga för pålar och förankringar är följande standarder tillämpliga:

- SS-EN ISO 22477-1:2018 - Geoteknisk undersökning och provning – Provning av geokonstruktioner- Del 1: Statisk provbelastning av pålar med axiell trycklast (SIS, 2018a).
- SS-EN ISO 22477-2:2023 - Geoteknisk undersökning och provning – Provning av geokonstruktioner- Del 2: Statisk provdragbelastning av pålar (SIS, 2023).
- SS-EN ISO 22477-4:2018 - Geoteknisk undersökning och provning – Provning av geokonstruktioner- Del 4: Dynamisk provbelastning av pålar (SIS, 2018b).
- SS-EN ISO 22477-5:2018 - Geoteknisk undersökning och provning – Provning av geokonstruktioner- Del 5: Provning av förankringar (SIS, 2018c).
- SS-EN ISO 22477-10:2016 - Geoteknisk undersökning och provning – Provning av geokonstruktioner- Del 10: Provning av pålar: snabb provbelastning (SIS, 2016a).

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

9.2 ARBETSLEDNING OCH KONTROLLPLANER VID PÅLNINGSARBETEN

BAS-P och BAS-U ska utses för arbetsmiljöarbete. Detta beskrivs i kapitel 8 och kapitel 3. Ansvarig arbetsledare bör vara på plats innan arbetena börjar. Framtagande av arbetsberedning redovisas i kapitel 8.

Nedan redovisas information om kontroll vid pålningsarbeten.

Steg	**Innefattar**
Förutsättningar	Kontroll av att verkliga jord- och grundvattenförhållanden överensstämmer med de förutsättningar på vilka projekteringen baserats.
Arbetsplan	Arbetsplanen bör innehålla krav på viss arbetsgång, restriktioner för belastningar på schaktkanter, slagningsföljd för pålar samt uppgifter om omfattning av eventuella åtgärder för förhindrande av massförskjutningar, se kapitel 8. Arbetsplanen bör också redovisa vilka åtgärder som planeras i det fall ändringar i förutsatta förfaranden krävs. Beställarens krav beträffande arbetena bör återges i planen. Arbetsplanen bör normalt överlämnas till beställaren för godkännande innan arbetena startar. Notera att sådant godkännande normalt inte innebär något ökat ansvar för beställaren.
Kontrollplan	Kontroll av utförandet av pålningsarbetet redovisas i en kontrollplan (kontrollprogram). Utöver detta kan det även finnas behov av ett kontrollprogram för omgivningspåverkan. Denna kan omfatta exempelvis vibrations- och rörelsemätningar, som erfordras vid genomförandet av pålningsarbetet, samt acceptabla gränsvärden, se avsnitt 9.3.1 och 9.7. Erforderliga åtgärder vid konstaterade avvikelser från angivna förutsättningar bör också anges i kontrollplanen.
Svetsplan	I förekommande fall ska svetsplan upprättas enligt SS-EN 1090-2:2018, avsnitt 7.2 (SIS, 2024) och tillämplig/a del/delar av SS-EN ISO 3834-3:2021 (beroende på utförandeklass) (SIS, 2021a). Svetsplan för tillverkning på verkstad upprättas av leverantör. Leverantören ansvarar också för kontroll av svetsar, både metod och omfattning. Allt som har med svetsar att göra, planering, utförande och kontroll hanteras av leverantören. Leverantören CE-märker produkten enligt SS-EN 1090-1:2009 (SIS, 2011) och tar fram en deklaration av överenstämmelse för levererat material. Pålentreprenören ansvarar för att upprätta svetsplan för svetsarbete på arbetsplats, skarvning av stålpålar, montering av topplåt m.m. Svetsplan tas ofta fram i samarbete mellan konstruktör och utförare. Pålentreprenör ansvarar för att personal har erforderlig svetskompetens. Svetsplanen upprättas enligt SS-EN 1090-2:2018 (SIS, 2024).

Steg	Innefattar
Kvalitetssäkring	Program för kvalitetssäkring upprättas av entreprenören i samråd med beställaren. Kvalitetssystemet ska uppfylla kraven i SS-EN ISO 9001:2015, Ledningssystem för kvalitet – Krav (SIS, 2015d) Programmet bör behandla: • Organisation. • Produktidentifikation och produktegenskaper. • Tillverkningskrav. • Detaljerade utförandebeskrivning. • Kontroll och provning. • Behandling av avvikelser. • Korrigerande åtgärder. • Kvalitetsdokument. Flera företag har egna kvalitetssäkringssystem. För att säkerställa genomförandet finns en eller flera kvalitetsrevisorer. Denne är vanligen en erfaren konstruktör inom företaget, eller någon med liknande bakgrund. Kvalitetssäkringssystem utarbetas i samråd med de större beställarna, exempelvis Trafikverket. Systemet läggs till grund för det tillstånd till egenkontroll som företaget kan erhålla. Beställaren bör ha möjlighet att genomföra en egen revision av entreprenörens kvalitetssäkringsprogram.

9.3 PÅLTYPER

I bygghandling anges vilka kontrollåtgärder som ska utföras inför och under pålinstallationen. Dessutom ska det framgå vem som ska utföra kontrollen, hur denna bör dokumenteras, samt vilka parter som ska ta del av kontrollresultaten. Exempelvis kan avvikelser mellan förväntade och verkliga förhållanden göra kompletterande pålning nödvändig.

I de fall pålarna/pålmaterialet (inklusive beslag) är tillverkade med bestyrkta egenskaper, t.ex. CE-märkta genom harmoniserade standarder eller medelst en ETA (European Technical Assessment), kan mottagningskontroller inskränkas till att de har korrekta dimensioner och märkningar.

9.3.1 Allmänt

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av pålar och dragförankringar i pålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av pålar hänförs till de utförandestandarder som är tillämpliga inom pålningsområdet, se avsnitt 9.1. Med ”pålar” i föreliggande avsnitt avses också dragförankringar i pålar.

Utrustning

Kontroll att maskinutrustning för installation av de olika påltyperna uppfyller krav enligt SS-EN 16228-1 till 4 och 6 till 7 (SIS, 2021b-g), se kapitel 8. Övriga krav redovisas under respektive påltyp.

Utsättning

Arbetsmoment	**Kontroll**
Utsättning	• Kontrollera att pålen är rätt utsatt. • Kontrollera att pålens beteckning stämmer med ritningen. • Kontrollera att utsättningen inte har rubbats. • Kontrollera att pålarna installeras i föreskriven ordningsföljd.

Omgivningspåverkan

Nedan redovisas förslag på kontroll av buller, markrörelser, grundvatten och portryck samt vibrationer. Beskrivning av framtagande och innehåll i kontrollprogram redovisas i avsnitt 9.7.

Del	**Kontroll**
Markrörelser	Pålningsordning och eventuella skyddsåtgärder för arbetena (exempelvis lerproppsdragning) bör redovisas i arbetsplan. Eventuella mätningar av sättningar, porvattentryck och vibrationer redovisas i kontrollplan.
Lerproppsdragning/augerborrning	Vid lerproppsdragning/augerborrning bör kontrolleras att upptagen jordvolym och begränsning av markrörelse motsvarar den avsedda.
Grundvatten och portryck	Grundvattennivåmätning och portrycksmätningar utförs i lämplig omfattning.

Del	Kontroll
Vibrationsmätning	Mätning av markvibrationer bör ske rutinmässigt på byggnader inom det område som bedöms bli påverkat av vibrationer från pålningsarbeten. Ofta ger bakgrundsvibrationer, förorsakade av exempelvis trafik större vibrationer än själva pålslagningen. Vibrationerna alstrade av pålningsarbetet bör därför jämföras med uppmätta bakgrundsvibrationer, se avsnitt 9.7.
Buller	Riktlinjer för mätning av buller, specifikt för mätinstrument, användning av A-filter samt bestämning av ekvivalent ljudnivå (L_{Aeq}) och tidsvägt maximal ljudnivå (L_{AFmax}) ges i den svenska standarden SS-EN ISO 9612:2009 (SIS, 2009). De internationella standarderna ISO 1996-1:2016 (ISO, 2016) och ISO 1996-2:2017 (ISO, 2017) används också som vägledning för mätningar, och för definiering av olika parametrar för att beskriva ljudmiljö.
Mätning, generellt	• Ange antal, utformning och läge för mätpunkter. • Ange krav på mätmetodik och mätnoggrannhet. • Ange när (period) mätningarna bör utföras. • Ange hur mätresultaten bör hållas tillgängliga under pålningsarbetenas utförande. • Ange hur mätresultaten bör redovisas och dokumenteras.
Åtgärder	• Ange vilka mätvärden som accepteras utan åtgärd. • Ange vilka åtgärder som bör vidtas om acceptabla värden överskrids.

Installerade pålars längd

Del	Kontroll
Pållängder	• Kontrollera att pållängder överensstämmer med angivna uppgifter. • Kontrollera att pålar installeras till avsedd längd och att längderna protokollförs. För pålar som ska installeras till en viss längd kontrolleras att verklig längd i jord överensstämmer med den i bygghandlingarna föreskrivna längden. Mätning av överlängder (pålkap) bör göras omgående och noteras i pålprotokoll. Vid stora eller oväntade variationer i pållängder bör åtgärder vidtas enligt arbetsplan. Saknas uppgifter i arbetsplanen kontaktas ansvarig projektör. • Kontrollera att protokollet innehåller alla nödvändiga uppgifter. • Kontrollera att uppgifter protokollförs omgående.

Installerade pålars planläge och lutning

Del	**Inmätningskontroll**
Grundprincip	Pålars läge i plan och pålhuvudets nivå kan accepteras inom vissa toleranser som bör specificeras i handlingar.
Ansvar	Vem ansvarar för inmätningen? För knektade pålar kan läge förändras och efterföljande entreprenör kan mäta in pålar som blivit påverkade av arbeten som skett vid schaktarbete.
Tid	Läge för pålar kan förändras efter färdigställande på grund av efterföljande pålningsarbete. Tid för kontroll bör läggas in i bygghandling. Saknas detta bör entreprenör kontakta projektör. Pålar kan mätas in vid flera tillfällen: direkt efter installation, efter slutfört pålningsarbete och efter följande markarbete etc.
Föreskrifter	Tillåten avvikelse anges i arbetshandlingarna. Saknas sådana uppgifter kontaktas ansvarig projektör eller beställare. Ledning för val av toleranser återfinns i tillämplig utförandestandard.
Dokumentation	Särskilt inmätningsprotokoll upprättas. Detta märks med datum när inmätning har blivit utförd för att kontrollera rörelser.
Läge, lutning och rakhet	Pålens avvikelse från avsett läge i plan och nivå samt avvikelse från avsedd lutning och riktning, mäts in efter avslutad installation eller annan tidpunkt. Om misstanke uppstår att pålarna har flyttat sig när grannpålar blivit slagna görs förnyad inmätning. Tidpunkt för mätning dokumenteras. Genom tolkning kontrolleras i vilken mån pålen är bucklad eller krökt.
Kontroll av kapning	Kapning av installerade pålar ska utföras enligt handling, vanligtvis vinkelrät mot pålens längdaxel. För betongpålar bör större ytojämnhet än 50 mm inte förekomma.

9.3.2 Betongpålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av betongpålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av betongpålar hänförs till utförandestandard SS-EN 12699:2015 (SIS, 2015a).

Utrustning

Tabellen nedan gäller även andra påltyper än slagna betongpålar, se avsnitt 9.3.3 och 9.3.4.

Typ	**Kontroll**
Slagningsutrustning	• Kontrollera att giltig besiktningshandling finns. Pålningsmaskinen ska ha giltig besiktningshandling och vara utrustad enligt kraven i maskininstruktion och uppfylla krav enligt europastandarder, se avsnitt 9.3.1 och kapitel 8. • Kontrollera att föraren har kompetensbevis om sådant finns för den aktuella maskinen. • Kontrollera att maskinen kan positionera pålar i avsedda lägen och lutningar, se kapitel 8. Innan pålslagning påbörjas placeras maskinen så att den utan att flyttas kan fullfölja slagningen av pålen. För detta måste finnas en lämplig arbetsyta, se kapitel 8, arbetsberedning. Mark med dålig bärighet (t.ex. en avschaktad yta i lös lera) kan behöva förstärkas, se kapitel 8 (arbetsberedning och arbetsmiljö). Maskinen bör vara utrustad så att den kan positionera pålar i avsedda lägen. Den bör kunna orientera pålar vertikalt eller i avsedda lutningar.
Fallhejare	• Kontrollera att hejarens vikt överensstämmer med den angivna. • Kontrollera att anslagshastigheten/fallhöjden är den avsedda. Särskild utrustning finns för direkt uppmätning av hejarens anslagshastighet. Anslagshastigheten kan också beräknas med utgångspunkt från fallhöjden. Vid beräkningen måste hänsyn tas till den bromsande effekt upplyftningsanordningen har på hejarens fria fall. För frifallshejare blir anslagshastigheten cirka 90 % av den vid helt fritt fall. För en accelererande hejare kan en effektivitet på nära 100 % uppnås. Vid slagning av lutande pålar bör fallhöjden mätas vertikalt och kompensation bör göras för den ökade friktionen mellan hejare och dess styrning. Det finns hejare som på olika sätt accelererar fallet. Vid användning av sådan hejare bör anslagshastigheten kontrolleras genom mätning. Hejarens effektivitet och dynans dämpning kan direkt avläsas ur resultat från stötvågsmätning på pålarna.
Vibrationshejare	• Kontrollera att hejaren ger tillräcklig effekt. Kontroll kan utföras genom jämförande slagning med annan hejartyp.
Lufthejare	• Kontrollera att hejaren har tillräcklig lufttillförsel. • Kontrollera att hejarvikt och slaghastighet är de avsedda. Lufthejare kan bestå av enkelverkande fallhejare (jfr. fallhejare) eller vara försedd med en relativt lätt kolv, som har en slaghastighet av 300 – 600 slag i minuten.

Typ	Kontroll
Dynor, knektar	• Kontrollera att slaget överförs centriskt till pålen. • Kontrollera att slagkubb och inlägg har rätt hårdhet. • Kontrollera att knekten är avsedd för aktuellt påltvärsnitt. • Kontrollera att dynorna är utformade så att de medverkar till att centrera slaget från hejaren. Dynan ska fungera som en dämpning för skadliga krafter från hejaren. Slagkubb och dyninlägg måste ha rätt hårdhet. Ett dyninlägg anses ha rätt hårdhet om det utförs av 50 mm tjock plywood och utsätts för 300 slag med aktuell hejare. Dynan ska vara utformad så att den ligger stilla på pålen och inte rör sig när hejaren lyfts.

Material

Typ	Kontroll, märkning och tillverkningsritningar
Pålelement och beslag, kontroll	• Kontrollera att pålelementet är CE-märkt enligt harmoniserad standard SS-EN 12794:2005+A1:2007 (SIS, 2007). • Kontrollera att avsett pålelement används. • Kontrollera att pålelement har lagrats och hanterats så att skador ej uppkommit. • Kontrollera att pålarna har beslag (skarvar och skor) med bestyrkta egenskaper, typgodkända, CE-märkta (enligt ETA) eller tillverkade med tredjepartsgranskning i erforderlig omfattning. • Kontrollera att pålarna har bergsko i föreskriven omfattning, se kapitel 3, projektering. • Kontrollera att restriktioner beträffande hantering och slagning uppfylls. Beräkning av pålelementets konstruktiva bärförmåga och de restriktioner beträffande slagning och hantering som förutsatts vid denna beräkning bör finnas tillgänglig på arbetsplatsen, se kapitel 5 och 6.

Typ	Kontroll, märkning och tillverkningsritningar
Pålelement och beslag, märkning	Beroende på vilket sätt CE-märkningen av pålelementet redovisas enligt SS-EN 12794:2005+A1:2007 (SIS, 2007), ser märkningen olika ut. Pålelementen av betong ska dock vara märkta så att de kan identifieras med avseende på: • Tillverkare. • Tillverkningsdag. • Betongkvalitet. • Armeringsmängd. • Kontrollerande organ. Märkningen ska vara i klartext eller kod. Eventuell kodförklaring ska finnas tillgänglig på arbetsplatsen. Till pålelementen ska finnas en tillverkningsritning som anger: • Betongkvalitet. • Miljöklass. • Armeringens dimensioner, lägen och täckande betongskikt. • Speciella cementsorter och ballastmaterial. Uppgifter om vilka krav i övrigt som ställs ska anges på tillverkningsritningen. • Pålskarvar ska vara märkta så att de är identifierbara med avseende på tillverkare, tillverkningsperiod och produktionslinje, samt ingående material. • Pålskor bör normalt vara utformade som bergskor, se kapitel 6.

Installation

Arbetsmoment	Kontroll
Pålens placering	• Kontrollera att positionering av pålen i avsett läge görs med stor noggrannhet. Om pålen förflyttar sig vid slagning genom det övre lagret bör pålen lyftas upp och sättas om. När pålen slagits ner är det inte möjligt att med pålmaskinen tvinga den i position. Även vid noggrann pålslagning kan avvikelser i plan på 100 à 150 mm uppkomma. I utförandestandard SS-EN 12699:2015 (SIS, 2015a) finns krav för massundanträngande pålar, men projektspecifika krav kan också införas. Det är viktigt att entreprenör i arbetsberedning meddelar byggherre om de bedömer att det inte är möjligt att hålla de specifika kraven för toleranser.

Arbetsmoment	Kontroll
Skadliga påkänningar i pålmaterialet	• Kontrollera att slagning av pålar utförs så att skadliga påkänningar inte uppstår i pålmaterialet. Hejaren ska under hela slagningen vara centrerad över pålens tyngdpunkt. Hejarvikten bör hållas hög och fallhöjden så låg som möjligt under påldrivningen. Vid slagning i lösa jordar eller jordar med stor återfjädring bör fallhöjden hållas på ett absolut minimum för att undvika skadliga dragpåkänningar i pålen. Vid slagning av betongpålar i vatten kan vatten sugas in i dragsprickor och snabbt pressas ut och förorsaka skador på betongen när tryckvågen från nästa slag kommer, s.k. hydraulisk utmattning eller vattensprängning, se kapitel 3, projektering. Mätning av pålens sammantryckning och återfjädring för ett hejarslag kan ge värdefull information om pålens tillstånd, se avsnitt 9.4, verifiering av geoteknisk bärförmåga.
Skarvning	• Kontrollera att skarvning av pålar utförs så att minsta möjliga vinkelavvikelse uppkommer i skarven.
Pålspetsens fäste vid slagning mot berg	• Kontrollera att fallhöjden hålls låg vid slagning av pålar med fallhejare mot berg eller förmodat berg, cirka 20 cm, under 300 slag så att bergdubben mejslas in i berget. Detta används i de hävdvunna reglerna som redovisas i avsnitt 9.4.4.
Kontroll- och efterslagning	• Kontrollera att kontrollslagning utförts. Efterslagning kan vara aktuellt i sådana fall då pålarna kan ha påverkats under slagningen. Exempelvis vid en stor mängd pålar i ett tunt lerlager kan upptryckning av befintliga omkringliggande pålar ske, vilket gör att spetsbärförmågan minskar. Lutande pålar slås med försiktighet och hänsyn bör tas till att knäckningsrisken ökar. Vid stor fri längd (exempelvis slagning i vatten) bör speciella åtgärder vidtas för att minska knäckningsrisken under slagningen. Pålar har relativt liten vridstyvhet. Om vridning observeras i samband med slagningen kan pålarna ha blivit uppspruckna och därför bör pålarna kontrolleras genom stötvågsmätning. Omfattning av kontroll- och efterslagning av pålarna redovisas i arbetsplanen för pålningsarbetet.

Arbetsmoment	Kontroll
Efterslagning av spetsburna pålar	• Efterslagning utförs vid behov. Behov av efterslagning klarläggs oftast med den obligatoriska kontrollslagningen. Efterslagning av spetsburna pålar utförs när risk kan finnas att pålspetsen har lyfts. Detta kan inträffa exempelvis för korta pålar eller då pålarna är slagna i lera som direkt överlagrar berg. Slagning av intilliggande pålar kan då medföra att tidigare slagna pålar lyfts. Detta kan kontrolleras genom avvägning av pålskallen, dels direkt efter slagningen, dels efter det att intilliggande pålar har slagits. Om pålens topp då rört sig uppåt efterslås pålen. Efterslagningen utförs som förnyad stoppslagning. Pålens topp kan också röra sig uppåt på grund av såväl elastiska som plastiska deformationer i pålmaterialet. Om exempelvis en påle har sprickor med 0,2 mm sprickvidd per meter, som är slutna vid avslutad slagning och pålen senare blir dragbelastad (på grund av hävning), motsvarar sprickorna en rörelse uppåt av 4 mm om 20 m av en dragbelastad påles längd. Kontroll av att jorden vid spetsen ej har relaxerat, se kapitel 3, kan också utföras genom efterslagning. Om pålens sjunkning ökar vid efterslagningen bör stötvågsmätning utföras för att kontrollera om relaxation förekommer. Vid provpålning och bestämning av stoppslagningskriterier för arbetsplatsen bör efterslagning utföras tidigast ett dygn efter slagningen. Efterslagning utförs normalt vid provpålning för att kontrollera att pålens bärförmåga inte är mindre än vid själva slagningen. Det kan också vara av ekonomiskt intresse att mäta pålar vid efterslagning av provpålar i friktionsjord, eftersom bärförmågan ofta växer till med tiden, se kapitel 7. Mätning vid efterslagning medför då en gynnsammare bedömning av pålens slutliga bärförmåga. Friktionspålar efterslås också för att kontrollera att slagningen av intilliggande pålar ej minskat dess spetsbärförmåga. Detta gäller om intilliggande pålar slås djupare än avståndet mellan pålarna.

Påles integritet

Typ	Kontroll
Integritetskontroll	• Integritetskontroll utförs vid behov. Integritetskontroll kan utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna beträffande påles integritet är uppfyllda. Med integritet avses en påles funktionsduglighet efter installation. Integritetskontroll kan utföras genom stötvågsmätning eller annan lämplig metod. Vid stötvågsmätning av skarvade pålar, och i övrigt då så bedöms erforderligt, bör metoden med tung hejare (high strain) användas. I övriga fall kan metoden med lätt hammare (low strain) användas. För mer information, se avsnitt 9.4. I handlingarna för ett pålningsprojekt bör anges krav på kontroll av påles integritet. I kontrollplanen bör även anges om pålentreprenören ska utföra integritetskontroll och verifiera att förutsättningarna uppfylls. Där kan även anges erforderliga åtgärder vid eventuella avvikelser från antagna förutsättningar.

Rakhetsmätning

Rakhetsmätning med inklinometer kan utföras enligt avsnitt 9.3.4, under förutsättning att pålarna är försedda med ett för ändamålet installerat invändigt rör.

Kontroll av korrosionsåtgärder

I normalfallet ej relevant.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av geoteknisk bärförmåga och produktionskontroll utförs enligt avsnitt 9.4 och 9.5.

Dokumentation

Del	**Dokumentation**
Omfattning	• Administrativa uppgifter. • Uppgifter om installationsutrustning och pålar. • Protokoll från installation av varje enskild påle (pålprotokoll).
Administrativa uppgifter	• Objektets namn (beteckning). • Beställare. • Pålentreprenör. • Ansvarig arbetsledare. • Arbetshandlingar (ritningar, beskrivningar). • Kvalitetskrav (kvalitetsdokumentation).
Installationsut-rustning och pålar	• Maskintyp, fabrikat. • Hejartyp, hejarvikt. • Påltyp, tillverkningsritning. • Beslag, tillverkningsritningar. • Tillverkningsdatum för pålar. • Verifieringsmetod för pålarnas konstruktiva bärförmåga. • Verifieringsmetod för pålarnas geotekniska bärförmåga.

Del	Dokumentation
För enskilda pålar	• Beteckning (pålnummer). • Påltyp. • Installationsdatum. • Pålelementens längder. • Pålskarv. • Pållutning. • Antal slag, eventuella slag-sjunkningsdiagram. • Verkningssätt (huvudsakligen spetsburen eller mantelburen, kohesionspåle eller friktionspåle). • Pålspetsnivå. • Kapnivå. • Pålkap. • Effektiv pållängd. • Användning av knekt. • Eventuell lerproppsdragning. • Stoppslagningssjunkning. • Fallhöjd och energi vid stoppslagning. • Verifieringsmetod (PDA-mätning).

9.3.3 Träpålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av träpålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av träpålar hänförs till utförandestandard SS-EN 12699:2015 (SIS, 2015a).

Utsättning

Kontroll av utsättning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Utrustning

Kontroll av utrustning utförs enligt avsnitt 9.3.2.

Material

Typ	**Kontroll**
Pålelement och beslag	• Kontrollera att längd, toppdiameter och diametertillväxt överensstämmer med gällande ritningar, se kapitel 8. Det är viktigast att kontrollera pålarnas toppdiameter. Träpålar med större längd än 20 m och en toppdiameter större än 125 mm är specialpålar. En normal diametertillväxt, vilken ansätts vid projektering, är 8 mm per meter. Föreskrivs större diametertillväxt bör sådan kontrolleras och dokumenteras. • Kontrollera att beslag (skarv, spets och sprickringar) tillverkats och monterats enligt gällande ritningar. Skarvning av träpålar med bra kvalitet är mycket vanskligt att få till. Om det ändå utförs måste det ske med noggrant vinkelkapade ändar. Vid skarvning av träpålar ska stor noggrannhet iakttas. Risken för skadlig vinkelavvikelse i skarven är mycket stor då avvikelsen i skarven förstärks genom träpålens naturliga avvikelse. Vinkelavvikelse i skarv ska dokumenteras. • Kontrollera att träpålarna är fria från röta och lös bark. Träpålarna bör vara av nyfällda träd utan lös bark. Träd som kan börja torka före slagningen bör vattenlagras fram till tidpunkten för slagning.

Installation

Arbetsmoment	**Kontroll**
Pålens placering	• Kontrollera att positionering av pålen i avsett läge görs med stor noggrannhet. Om pålen förflyttar sig vid slagning genom det övre lagret bör pålen lyftas upp och sättas om. När pålen slagits ner är det inte möjligt att med pålmaskinen tvinga den i position. Även vid noggrann pålslagning kan avvikelser i plan på 100 à 150 mm uppkomma. I utförandestandard SS-EN 12699:2015 (SIS, 2015a) finns krav för massundanträngande pålar, men projektspecifika krav kan också införas. Det är viktigt att entreprenör i arbetsberedning meddelar byggherre om de bedömer att det inte är möjligt att hålla de specifika kraven för toleranser.
Skarvning	• Kontrollera att skarvning av pålar utförs så att minsta möjliga vinkelavvikelse uppkommer i skarven. • Kontrollera att skarven centreras och slås samman. 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.

Påles integritet

Ej relevant.

Rakhetsmätning

Ej relevant.

Kontroll av korrosionsåtgärder

Ej relevant.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Produktionskontroll och i förekommande fall verifiering av geoteknisk bärförmåga utförs enligt avsnitt 9.5 och 9.4.

Omgivningspåverkan

Kontroll av buller, markrörelser, grundvattennivå/portryck och vibrationer kan utföras enligt avsnitt 9.3.1. Kontrollprogram för omgivningspåverkan redovisas i avsnitt 9.7.

Installerade pålars längd

Kontroll av installerade pålars längd utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Installerade pålars planläge och lutning

Kontroll av installerade pålars planläge och lutning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Dokumentation

Dokumentation utförs enligt avsnitt 9.3.2.

9.3.4 Slagna stålrörspålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av slagna stålrörspålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av slagna stålrörspålar hänförs till utförandestandard SS-EN 12699:2015 (SIS, 2015a).

Utsättning

Kontroll av utsättning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Utrustning

Kontroll av utrustning utförs enligt avsnitt 9.3.2 samt enligt tabell nedan.

Typ	Kontroll
Hydraulham-mare/Fallhejare	• Kontrollera att giltig besiktningshandling finns. Maskinutrustningen ska ha giltig besiktningshandling och vara utrustad enligt kraven i maskininstruktion och uppfylla krav enligt europastandarder, se avsnitt 9.3.1 och kapitel 8. • Kontrollera att hydraulhammaren kan leverera tillräcklig installationsenergi för aktuell påltyp. Slagkolvvikten bör överstiga 2 gånger pålens vikt per meter. Detta gäller för stålkvalitet 440-460 MPa. För fullt utnyttjande av högre stålkvalitet måste energin öka i motsvarande grad. Se vidare kapitel 7. • Kontrollera att hydraulhammaren kan slå centriskt och över hela pålens ståltvärsnitt. Kontroll av fallhejare, se avsnitt 9.3.2

Material

Typ	Kontroll
Pålelement och beslag	De flesta stålpålar är CE-märkta enligt ETA, varför kontrollerna inskränker sig till följande: • Varje element bör ha en identifieringsmarkering och till elementet bör höra material-, hållfasthets- och kvalitetsverifikationer från leverantör. • Kontrollera att rätt material är levererat. Kontroll av stålkvalitet, påsvetsade detaljer, längder och antal. Bör ingå i mottagningskontroll. • Kontrollera dimensioner på rör, skarvar, och topplåtar. Bör ingå i mottagningskontroll. • Kontroll av levererat material så att det ej finns defekter, skador, rost eller transportskador. Bör ingå i mottagningskontroll. • Kontroll av eventuell ytbehandling. Bör ingå i mottagningskontroll. • Se till att material förvaras enligt gällande anvisningar. • Vid svetsade skarvar och svetsarbete i samband med topplåt ska en svetsplan upprättas enligt SS-EN 1090-2:2018 (SIS, 2024), se avsnitt 9.2. • Funktionskontroll på maskinen och hejaren tillsammans, samt kontroll att slagdyna, centrering och slagdon är anpassade för planerat arbete. • Kontrollera att levererad bergskos utformning överensstämmer med föreskrivet utförande, med avseende på stålmaterial, dimensioner samt utförandet av bergdubbens spets och bergskons svetsar. • Om egg på bergdubb utförts i form av påläggssvets kontrolleras denna med avseende på eventuell sprickbildning. Om det är fråga om bergdubb med härdad dubb kontrolleras att härdningen inte skadats genom svetsning eller annan åverkan. För stålpålar som inte är CE-märkta enligt ETA erfordras ytterligare kontroller enligt upprättad bygghandling.

Installation

Arbetsmoment	**Kontroll**
Pålens placering	• Kontrollera att positionering av pålen i avsett läge görs med stor noggrannhet. Om pålen förflyttar sig vid slagning genom det övre lagret bör pålen lyftas upp och sättas om. När pålen slagits ner är det inte möjligt att med pålmaskinen tvinga den i position. Även vid noggrann pålslagning kan avvikelser i plan på 100 à 150 mm uppkomma. I utförandestandard SS-EN 12699:2015 (SIS, 2015a) finns krav för massundanträngande pålar, men projektspecifika krav kan också införas. Det är viktigt att entreprenör i arbetsberedning meddelar byggherre om de bedömer att det inte är möjligt att hålla de specifika kraven för toleranser.
Skadliga påkänningar i pålmaterialet	• Kontrollera att slagning av pålar utförs så att skadliga påkänningar inte uppstår i pålmaterialet och att eventuella koniska hylsskarvar slås isär.
Skarvning	• Skarvning med gängad skarv utförs enligt leverantörs anvisning. • Kontrollera att skarvning av pålar utförs så att minsta möjliga vinkelavvikelse uppkommer i skarven.
Kapning och montering av topplåt	Kapning av stålrör • Kontrollera att tillstånd att kapa har erhållits från beställare. • Kontrollera att angiven kapnivå stämmer. • Kontrollera att kapytan ges föreskriven planhet. Montering av topplåt • Om topplåt ska svetsas ska arbetet utföras enligt bygghandling och upprättad svetsplan, se avsnitt 9.2. • Kontrollera att personal har erforderlig svetskompetens. • Kontrollera att plattan är rengjord före montering. • Kontrollera hur fixtur ska utföras och om kran krävs för montering. • Kontrollera om möjlig arbetsställning gör att svetsarbetet kan utföras som planerat.
Pålspetsens fäste vid slagning mot berg	• Kontrollera att fallhöjden hålls låg vid slagning av pålar med fallhejare mot berg eller förmodat berg, cirka 20 cm, under 300 slag så att bergdubben mejslas in i berget.

Arbetsmoment	Kontroll
Kontroll- och efterslagning	• Kontrollera att kontrollslagning utförts. Efterslagning kan vara aktuellt i sådana fall då pålarna kan ha påverkats under slagningen. Exempelvis vid en stor mängd pålar i ett tunt lerlager kan upptryckning av befintliga omkringliggande pålar ske vilket gör att spetsbärförmågan minskar. Lutande pålar slås med försiktighet och hänsyn bör tas till att knäckningsrisken ökar. Vid stor fri längd (exempelvis slagning i vatten) bör speciella åtgärder vidtas för att minska knäckningsrisken under slagningen. Omfattning av kontroll- och efterslagning av pålarna redovisas i arbetsplanen för pålningsarbetet.
Efterslagning av spetsburna pålar	• Efterslagning utförs vid behov. Behov av efterslagning klarläggs oftast med den obligatoriska kontrollslagningen. Efterslagning av spetsburna pålar utförs när risk kan finnas att pålspetsen har lyfts. Detta kan inträffa exempelvis för korta pålar eller då pålarna är slagna i lera som direkt överlagrar berg. Slagning av intilliggande pålar kan då medföra att tidigare slagna pålar lyfts. Detta kan kontrolleras genom avvägning av pålskallen, dels direkt efter slagningen, dels efter det att intilliggande pålar har slagits. Om pålens topp då rört sig uppåt efterslås pålen. Efterslagningen utförs som förnyad stoppslagning. Kontroll av att jorden vid spetsen ej har relaxerat, se kapitel 3, kan också utföras genom efterslagning. Om pålens sjunkning ökar vid efterslagningen bör stötvågsmätning utföras för att kontrollera om relaxation förekommer. Vid provpålning och bestämning av stoppslagningskriterier för arbetsplatsen bör efterslagning utföras tidigast ett dygn efter slagningen. Efterslagning utförs normalt vid provpålning för att kontrollera att pålens bärförmåga inte är mindre än vid själva slagningen. Det kan också vara av ekonomiskt intresse att efterslå provpålar i friktionsjord, eftersom bärförmågan ofta växer till med tiden, se kapitel 7. Mätning vid efterslagning medför då en gynnsammare bedömning av pålens slutliga bärförmåga. Friktionspålar efterslås också för att kontrollera att slagningen av intilliggande pålar ej minskat dess spetsbärförmåga. Detta gäller om intilliggande pålar slås djupare än avståndet mellan pålarna.
Pålning från ponton	Vid pålning från ponton, men också vid pålning på land till stort djup, föreskrivs ofta att pålarna bör 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.

Påles integritet

Typ	Kontroll
Integritetskontroll	• Integritetskontroll utförs vid behov. Integritetskontroll kan utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna beträffande påles integritet är uppfyllda. Med integritet avses en påles funktionsduglighet efter installation. Integritetskontroll kan utföras genom stötvågsmätning (high strain) eller annan lämplig metod. Istället för stötvågsmätning kan andra metoder användas, såsom filmning och rakhetsmätning. För mer information, se avsnitt 9.4.3.8.2.

Rakhetsmätning/rakhetskontroll

Nedan redovisas förslag på kontroll genom rakhetsmätning eller rakhetskontroll. Detta kan utföras för att verifiera pilhöjden på pålen, vilket har stor betydelse för den konstruktiva bärförmågan, se kapitel 6.

Del	Kontroll
Förutsättningar	• Rakhetskontroll kan utföras för att verifiera att de vid dimensioneringen valda förutsättningarna beträffande påles rakhet är uppfyllda. Rakhetskontroll utförs om det specificeras i bygghandling. För mer om initialkrokighet, se kapitel 6. I handlingarna för ett pålningsprojekt ska anges om pålarna ska rakhetsmätas eller inte. För pålar som ska rakhetsmätas ska rakhetskrav som behöver verifieras anges. I de fall rakhetskraven inte innehålls ska rakhetsmätningen ligga till grund för kompletterande åtgärder för säkerställande av pålarnas/grundläggningens bärförmåga.
Metod	• Rakhetskontroll utförs med sådan metod att påles initialkrokighet kan konstateras inte överstiga förutsatta värden. Rakhetskontroll kan utföras med tolk, inklinometer eller med annan lämplig metod. • Rakhetsmätning utförs med metod där rakheten på enskilda pålar kan bestämmas, exempelvis med inklinometer eller laser.
Omfattning	• Rakhetskontroll och/eller rakhetsmätning ska utföras enligt bygghandling.

Kontroll av korrosionsåtgärder

Typ	Kontroll
Skyddsrör	Pålar som står fritt i vatten bör sättas i skyddsrör. Kontroll av kringgjutning av bruk kring påle ska utföras. Detta innefattar brukets egenskaper samt kontroll att påle helt täcks av bruk.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av geoteknisk bärförmåga och produktionskontroll utförs enligt avsnitt 9.4 och 9.5.

Omgivningspåverkan

Kontroll av buller, markrörelser, grundvattennivå/portryck och vibrationer kan utföras enligt avsnitt 9.3.1. Kontrollprogram för omgivningspåverkan redovisas i avsnitt 9.7.

Installerade pålars längd

Kontroll av installerade pålars längd utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Installerade pålars planläge och lutning

Kontroll av installerade pålars planläge och lutning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Dokumentation

Dokumentation utförs enligt avsnitt 9.3.2.

9.3.5 Borrade stålrörspålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av borrade stålrörspålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av borrade stålrörspålar med diameter <300 mm hänförs till utförandestandard SS-EN 14199:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar (SIS, 2015b) och pålar med diameter >300 mm till SS-EN 1536:2010+A1:2015, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c).

Utsättning

Kontroll avseende utsättning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Utrustning

Typ	**Kontroll**
Borrutrustning	• Kontrollera att giltig besiktningshandling finns. Borriggen ska ha giltig besiktningshandling och vara utrustad enligt kraven i maskininstruktion och uppfylla krav enligt europastandarder, se avsnitt 9.3.1 och kapitel 8. • Kontrollera att föraren har kompetensbevis om sådant finns för den aktuella maskinen. • Kontrollera att maskinen kan positionera pålar i avsedda lägen och lutningar, se kapitel 8. • Kontrollera att tillräcklig kompressorkapacitet finns tillgänglig. Mark med dålig bärighet (t.ex. en avschaktad yta i lös lera) kan behöva förstärkas, se kapitel 8 (arbetsberedning och arbetsmiljö). Maskinen bör vara utrustad så att den kan positionera pålar i avsedda lägen. Den bör kunna orientera pålar vertikalt eller i avsedda lutningar.
Utrustning för stoppslagning	Se avsnitt 9.3.2 och 9.3.4.

Material

Typ	**Kontroll**
Pålelement och beslag	De flesta stålpålar är CE-märkta enligt ETA, varför kontrollerna inskränker sig till följande: • Varje element bör ha en identifieringsmarkering och till elementet bör höra material-, hållfasthets- och kvalitetsverifikationer från leverantör. • Kontrollera att rätt material är levererat. Kontroll av stålkvalitet, påsvetsade detaljer, längder och antal. Bör ingå i mottagningskontroll. • Kontrollera dimensioner på rör, borrkronor, skarvar, och topplåtar. Bör ingå i mottagningskontroll. • Kontroll av levererat material så det ej finns defekter, skador, rost eller transportskador. Bör ingå i mottagningskontroll. • Kontroll av eventuell ytbehandling. Bör ingå i mottagningskontroll. • Se till att material förvaras enligt gällande anvisningar. • Vid svetsade skarvar och svetsarbete i samband med topplåt ska svetsplan upprättas enligt SS-EN 1090-2:2018 (SIS, 2024), se avsnitt 9.2. • Kontrollera att levererad borrkrona överensstämmer med föreskriven utformning, med avseende på stålmaterial, dimensioner samt utförandet av svetsar. För stålpålar som inte är CE-märkta enligt ETA erfordras ytterligare kontroller enligt upprättad bygghandling.

Installation

Arbetsmoment	**Kontroll**
Pålens placering	• Kontrollera att positionering av pålen i avsett läge görs med stor noggrannhet.
Skarvning	• Skarvning med gängad skarv utförs enligt leverantörs anvisning. • Kontrollera att skarvning av pålar utförs så att minsta möjliga vinkelavvikelse uppkommer i skarven.

Arbetsmoment	Kontroll
Kapning och montering av topplåt	Kapning av stålrör • Kontrollera att tillstånd att kapa har erhållits från beställare. • Kontrollera att angiven kapnivå stämmer. • Kontrollera att kapytan ges föreskriven planhet. Montering av topplåt • Om topplåt ska svetsas ska arbetet utföras enligt bygghandling och upprättad svetsplan, se avsnitt 9.2. • Kontrollera att plattan är rengjord före montering. • Kontrollera hur fixtur ska utföras och om kran krävs för montering. • Kontrollera om möjlig arbetsställning gör att svetsarbetet kan utföras som planerat.

Påles integritet

Integritetskontroll kan utföras enligt avsnitt 9.3.4.

Rakhetsmätning

Rakhetskontroll kan utföras enligt avsnitt 9.3.4.

Kontroll av korrosionsåtgärder

Kontroll av korrosionsåtgärder kan utföras enligt avsnitt 9.3.4.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av geoteknisk bärförmåga och produktionskontroll utförs enligt avsnitt 9.4 och 9.5.

Omgivningspåverkan

Kontroll av buller, markrörelser, grundvattennivå/portryck och vibrationer kan utföras enligt avsnitt 9.3.1. Kontrollprogram för omgivningspåverkan redovisas i avsnitt 9.7.

Installerade pålars längd

Kontroll av installerade pålars längd utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Installerade pålars planläge och lutning

Kontroll av installerade pålars planläge och lutning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Dokumentation

Dokumentation utförs enligt avsnitt 9.3.2.

9.3.6 Dragförankringar i pålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av dragförankringar i borrade stålrörspålar och/eller foderrör. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av dragförankringar hänförs till utförandestandard SS-EN 1537:2013, Utförande av geokonstruktioner – Förankringar (SIS, 2013). Provning ska utföras enligt SS-EN 22477-5:2018 (SIS, 2018c).

Utsättning

Kontroll av utsättning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Utrustning

Typ	**Kontroll**
Borrutrustning	• Kontrollera att giltig besiktningshandling finns. Borriggen ska ha giltig besiktningshandling och vara utrustad enligt kraven i maskininstruktion och uppfylla krav enligt europastandarder, se avsnitt 9.3.1 och kapitel 8. • Kontrollera att föraren har kompetensbevis om sådant finns för den aktuella maskinen. • Kontrollera att tillräcklig kompressorkapacitet finns tillgänglig.

Material

Typ	**Kontroll**
Material, hantering och lagring	• Kontrollera att rätt dimensioner på borrstål och borrkronor för bergborrhål används. • Kontrollera att rätt kvalitet/sort/dimensioner på ståldelar, skarvhylsor, muttrar, topplåtar, borrkronor, cement och tillsatsmedel används. I de fall annat fabrikat används än vad som specificerats i bygghandling ska beställare/projektör kontaktas för godkännande. • Kontrollera att korrossionsskydd för stålet är i enlighet med föreskrivet i bygghandling. Detta bör överensstämma med krav i SS-EN 1537:2013 (SIS, 2013). • Kontrollera att det inte finns defekter, skador eller tecken på djupt inträngande korrosion på stålet. • Kontrollera att materialet hanteras och förvaras på rätt sätt. Materialet får inte vara för kallt vid installation. Kontrollera att vattnet som ska användas till blandning av bruk är godkänt.

Installation

Arbetsmoment	**Kontroll**
Borrning av bergborrhål	• Kontrollera att påle/foderrör rensats och att bergnivån mätts in med lod. Vid problem med täthet på bergborrhål kan en bergplugg utföras. Detta är en betongplugg som tätar överlappet mellan pålen och bergborrhålet. Plugg för tätning gjuts i botten av påle. Detta kan göras med bruk eller med betong. Plugg kan vara cirka 0,5 m och tätar mellan berg och påle. • Kontrollera att påle och bergborrhål rensats från borrkax och att nivå på underkant bergborrhål lodats efter borrning av bergborrhål. Vid lutande pålar kan borrkax ansamlas i botten på bergborrhål vilket kan påverka gjutningen. Bergborrhålet kan borras något längre (förslagsvis 1,5-2 m) så att kax kan stanna på botten och inte påverka montering av stag.
Kontroll av täthet för bergborrhål	• Kontroll av täthet för bergborrhål genomförs vid behov. Detta minskar risken för att gjutningen av bruk påverkas av bergborrhålets täthet. Detaljerad information om hydrogeologisk provning redovisas i SS-EN ISO 22282-1:2012 (SIS, 2012a) och SS-EN ISO 22282-2:2012 (SIS, 2012b). Kriterier för täthet tas fram av projektör. En första kontroll av täthet för bergborrhål kan genomföras med övertryck på 0,2 bar. Förslagsvis används ett PVC-rör eller liknande som fästs på pålens överkant och har minst 2 m längd. Därefter fylls röret med en 2 m vattenpelare och sänkningen av vattenytan mäts in varje minut. Kontroll av täthet kan också göras nere i berget med manschett/packer som tätar mot berget och tillåter ett övertryck i berget.
Kommunicerande bergborrhål	Vid omfattande sprickformationer i berget kan sprickor finnas mellan närliggande bergborrhål. Vattentrycket i dessa kan kommunicera, dvs. vid kontroll av täthet och vid injektering kan vattnet flöda mellan bergborrhålen. Om sådana förhållanden bedöms föreligga kan det vara bra att borra ett borrhål i taget som injekteras så att arbeten med närliggande bergborrhål inte påverkar de redan öppna bergborrhålen. Vid omfattande sprickformationer kan kontroll av tidigt utförda borrhål, som är utförda i olika delar av området, genomföras för att kontrollera behov av anpassning av arbetsmetodiken.
Injektering av bergborrhål	Om det vid kontroll av täthet för bergborrhålet bedöms att tätheten inte är tillräcklig kan injektering av bergborrhålet genomföras, se kapitel 8.

Arbetsmoment	Kontroll
Fastgjutning av bergstag	• Kontrollera att installationsförfarandet för respektive dragförankring dokumenteras. • Kontrollera att borrstål och borrkrona är rätt monterad. • Kontrollera att skarvhylsor och skarvgängor är rengjorda och oskadade och att det finns verktyg för kontroll av att tillräckligt åtdragningsmoment påförts vid skarvningen. • Kontrollera att injekteringsbruket har rätt vct och att rätt tillsatsmedel används. • Kontrollera att pump- och blandningsutrustning har tillräcklig kapacitet. • Kontrollera att risk inte föreligger för att luft kan sugas in i injekteringsslangarna. • Kontrollera att provtagning av injekteringsbruket sker för kontroll av t.ex. hållfasthet och vct. • Kontrollera att borrningspersonalen känner till förväntade bergförhållanden och att denna dokumenterar verkliga förhållanden utgående från de observationer som sker vid borrnings- och injekteringsarbetet. • Kontrollera att anordningar finns för omhändertagande av cementspill vid miljökänslig omgivning.
Provdragning och förspänning	• Kontrollera fastgjutningen efter härdning genom provdragning enligt bygghandling och SS-EN 22477-5:2018 (SIS, 2018c). • Kontrollera att eventuell förspänning utförs till föreskriven förspänningslast enligt bygghandling.

Integritet

Ej relevant.

Rakhetsmätning

Ej relevant.

Kontroll av korrosionsåtgärder

Typ	Kontroll
Korrosionsskydd	Det finns kravställningar på korrosionsskydd för stag som i många fall kan vara otydliga. Korrosionsskydd kan innefatta yttre ingjutning av staget, coating av staget eller rostmån. Bygghandling ska specificera erforderligt korrosionsskydd i rör och bergborrhål. Om ”dubbelt korrosionsskydd” används bör beskrivning av vad detta avser framgå. SS-EN 1537:2013 (SIS, 2013) specificerar krav på korrosionsskydd.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av geoteknisk bärförmåga utförs enligt avsnitt 9.4.2.2.2.

Omgivningspåverkan

Kontroll av buller, markrörelser, grundvattennivå/portryck och vibrationer kan utföras enligt avsnitt 9.3.1. Kontrollprogram för omgivningspåverkan redovisas i avsnitt 9.7.

Installerade dragförankringars längd

Kontroll av installerade dragförankringars längd utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Dokumentation

Del	**Dokumentation**
Omfattning	• Administrativa uppgifter. • Uppgifter om installationsutrustning och förankring. • Protokoll från installation av varje enskild förankring (protokoll).
Administrativa uppgifter	• Objektets namn (beteckning). • Beställare. • Entreprenör. • Ansvarig arbetsledare. • Arbetshandlingar (ritningar, beskrivningar). • Kvalitetskrav (kvalitetsdokumentation).
Installationsutrustning och dragförankringar	• Maskintyp, fabrikat. • Typ av dragförankring, tillverkningsritning. • Korrosionsskydd. • Tillverkningsdatum för dragförankring. • Verifieringsmetod för förankringarnas konstruktiva bärförmåga. • Verifieringsmetod för förankringarnas geotekniska bärförmåga.
För enskilda dragförankringar	• Beteckning (pålnummer). • Typ av dragförankring. • Installationsdatum. • Total längd, förankringslängd och fri längd.

9.3.7 Stålkärnepålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av stålkärnepålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av stålkärnepålar hänförs till utförandestandard SS-EN 14199:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar (SIS, 2015b).

Utsättning

Kontroll av utsättning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Utrustning

Typ	**Kontroll**
Borrutrustning	• Kontrollera att giltig besiktningshandling finns. Borriggen bör ha giltig besiktningshandling och vara utrustad enligt kraven i maskininstruktion och uppfylla krav enligt europastandarder, se avsnitt 9.3.1 och kapitel 8. • Kontrollera att föraren har kompetensbevis om sådant finns för den aktuella maskinen. • Kontrollera att maskinen kan positionera pålar i avsedda lägen och lutningar, se kapitel 8. • Kontrollera att tillräcklig kompressorkapacitet finns tillgänglig. Mark med dålig bärighet (t.ex. en avschaktad yta i lös lera) kan behöva förstärkas, se kapitel 8 (arbetsberedning och arbetsmiljö). Maskinen bör vara utrustad så att den kan positionera pålar i avsedda lägen. Den bör kunna orientera pålar vertikalt eller i avsedda lutningar.
Utrustning för stoppslagning	Se avsnitt 9.3.2 och 9.3.4.

Material

Typ	**Kontroll**
Mottagnings-kontroll	Vid leverans av kärnor och rör till arbetsplatsen bör det kontrolleras att materialet uppfyller specifikationerna avseende: • Materialkvalitet. • Dimensioner. • Rakhet, rundhet och övriga toleranskrav. • Att materialet förvaras och hanteras på ett godtagbart sätt. • Övriga krav. Skador och avvikelser dokumenteras. Inverkan av avvikelserna klarläggs tillsammans med konstruktören innan montering sker. Förvaring och hantering bör ske på lämpligt sätt. Kärnor med is, snö, lera och andra främmande ämnen får inte installeras i foderrör. Om stålkärnepålarna är CE-märkta enligt ETA, erfordras inte kontroll av rakhet, rundhet och övriga toleranskrav.

Typ	Kontroll
Kontroll av svetsad skarv	Vid svetsade skarvar och svetsarbete i samband med topplåt ska en svetsplan upprättas enligt SS-EN 1090-2:2018 (SIS, 2024), se avsnitt 9.2. • Kontrollera att kärnytor har föreskriven planhet. • Kontrollera att fogberedning är utförd. • Kontrollera att förvärmning är förberedd och genomförbar. • Kontrollera att det finns fixturer för uppfyllande av rakhetskrav. • Kontrollera att svetspersonal har föreskriven kompetens. • Kontrollera att rätt elektrodmaterial används. • Kontrollera att elektroderna förvaras torrt och varmt. • Kontrollera att distanser är rätt monterade.
Kontroll av gängad skarv	• Kontrollera att gängorna är rengjorda och oskadade. • Kontrollera att det finns verktyg för att uppnå föreskrivet åtdragningsmoment. • Kontrollera att det finns föreskrivna gängmedel.

Installation

Arbetsmoment	Kontroll
Borrning och kontroll av täthet i bergborrhål	Se avsnitt 9.3.6
Sättning av kärna	• Kontrollera att borrhålet är rengjort och lodat till botten. • Kontrollera att rakhetskontroll utförts enligt bygghandling. • Kontrollera att täthetskontroll av bergborrhål utförts. • Kontrollera att borrningen utförts till erforderligt djup och avslutats i friskt berg. • Kontrollera att kärnan är rengjord. • Kontrollera att kärnans temperatur är större än +4 grader ˚C. • Kontrollera att rillor har svetsats (för mantelburen kärna).

Arbetsmoment	Kontroll
Stoppslagning av spetsburna stålkärnor	• Kontrollera att hejaren har rätt dimensioner och vikt. • Kontrollera att det är rätt fallhöjd utan bromsning. • Kontrollera att slagen är centrerade. • Kontrollera att någon typ av dyna är specificerad. • Kontrollera att anslagsytorna är plana. • Kontrollera att det finns fast referenspunkt för sjunkningsmätningen. • Kontrollera om stötvågsmätning ska utföras och att det i så fall finns erforderlig utrustning.
Injektering	• Kontrollera att injekteringsbruket har rätt sammansättning. • Kontrollera det är rätt vct • Kontrollera om tillsatser ska användas, t.ex. flytmedel, retarder, krympningshämmande medel. • Kontrollera om provkuber ska gjutas. • Kontrollera att rätt pumputrustning används. • Kontrollera att rätt blandningsutrustning används. • Kontrollera om minsta blandningstid är föreskriven. • Kontrollera att det är tillräckligt hög temperatur på vattnet till injekteringsutrustningen. Vattnet kan behöva förvärmas vintertid. • Kontrollera att vattnet har tillräcklig hög kvalitet. • Kontrollera att pumpslag tål uppkommande tryck. • Kontrollera att pumpen är uppställd så att insugning av luft inte sker. • Kontrollera att slangen är nedförd till borrhålsbotten före start av pumpning. • Kontrollera att pumpning sker tills ren injekteringsbetong strömmar ut vid toppen av foderröret.
Provdragning vid mantelburen kärna	• Kontrollera att program och utrustning finns för mätningarna. • Kontrollera hur resultaten ska redovisas. • Kontrollera om stabilt underlag finns för domkraft(er). • Kontrollera att det finns arbetsbeskrivning och arbetshandling för provdragning. • Kontrollera att dokumentation av laststeg och rörelser utförs enligt specifikation. • Kontrollera att domkrafter är kalibrerade. • Kontrollera att det finns fixbalk för rörelseavläsning. • Kontrollera att betongen har fått tillräcklig härdningstid.

Arbetsmoment	Kontroll
Kapning av stålkärna och montering av topplåt	• Kontrollera att tillstånd att kapa har erhållits från beställare. • Kontrollera att angiven kapnivå stämmer. • Kontrollera att kapytan ges föreskriven planhet. Montering av topplåt utförs enligt avsnitt 9.3.4.

Påles integritet

Ej relevant.

Rakhetsmätning

Rakhetskontroll av foderrör kan utföras enligt avsnitt 9.3.4.

Kontroll av korrosionsåtgärder

Kontroll av korrosionsåtgärder kan utföras enligt avsnitt 9.3.4.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av geoteknisk bärförmåga och produktionskontroll utförs enligt avsnitt 9.4 och 9.5.

Omgivningspåverkan

Kontroll av buller, markrörelser, grundvattennivå/portryck och vibrationer kan utföras enligt avsnitt 9.3.1. Kontrollprogram för omgivningspåverkan redovisas i avsnitt 9.7.

Installerade pålars längd

Kontroll av installerade pålars längd utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Installerade pålars planläge och lutning

Kontroll av installerade pålars planläge och lutning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Dokumentation

Dokumentation utförs enligt avsnitt 9.3.2.

9.3.8 Borrade och injekterade pålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av borrade och injekterade pålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av borrade och injekterade pålar hänförs till utförandestandard SS-EN 14199:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar (SIS, 2015b).

Utsättning

Kontroll av utsättning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Utrustning

Typ	Kontroll
Borr- och injekteringsutrustning	• Kontrollera att giltig besiktningshandling finns. Borriggen ska ha giltig besiktningshandling och vara utrustad enligt kraven i maskininstruktion och uppfylla krav enligt europastandarder, se avsnitt 9.3.1 och kapitel 8. • Kontrollera att föraren har kompetensbevis om sådant finns för den aktuella maskinen. • Kontrollera att maskinutrustningen (borr- och injekteringsutrustning) är lämplig. • Kontrollera att maskinen kan positionera pålar i avsedda lägen och lutningar, se kapitel 8. • Kontrollera att tillräcklig kompressorkapacitet finns tillgänglig. Mark med dålig bärighet (t.ex. en avschaktad yta i lös lera) kan behöva förstärkas, se kapitel 8 (arbetsberedning och arbetsmiljö). Maskinen bör vara utrustad så att den kan positionera pålar i avsedda lägen. Den bör kunna orientera pålar vertikalt eller i avsedda lutningar.

Material

Typ	Kontroll
Material, hantering och lagring	• Kontrollera att rätt kvalitet/sort på ståldelar, cement och tillsatsmedel används. • Kontrollera att rätt dimensioner på borrstål, skarvhylsor, muttrar och topplåtar och borrkronor används. • Kontrollera att stålet har rostskydd föreskrivet i bygghandling. • Kontrollera att det inte finns defekter, skador eller tecken på djupt inträngande korrosion på stålet. • Kontrollera att materialet hanteras och förvaras på rätt sätt (exempelvis inte för kallt innan injekteringen utförs). • Kontrollera att vattnet som ska användas till injekteringen är godkänt och att vattenkällan ger tillräckligt flöde och tryck till injekteringsplattformen. • Kontrollera att det finns tillräcklig strömförsörjning för injekteringsplattformen. Detta gäller även borriggen om det är en eldriven/batteridriven maskin. I de fall pålarna/pålmaterialet (inklusive beslag) är tillverkade med bestyrkta egenskaper, t.ex. CE-märkta genom harmoniserade standarder eller medelst en ETA, bör mottagningskontroller kunna inskränkas till att de har korrekta dimensioner och märkningar.

Installation

Arbetsmoment	**Kontroll**
Injektering	• Kontrollera att installationsförfarandet för respektive påle dokumenteras. • Kontrollera att borrstål och borrkrona är rätt monterad. • Kontrollera borriggens ansättningsriktning med hänsyn till givna toleranser. • Kontrollera att skarvhylsor och skarvgängor är rengjorda och oskadade och att det finns verktyg för kontroll av att tillräckligt åtdragningsmoment påförts vid skarvningen. • Kontrollera att snedställighet i skarvarna dokumenteras. • Kontrollera att injekteringsbruket har rätt vct och att rätt tillsatsmedel används. • Kontrollera att pump- och blandningsutrustning har tillräcklig kapacitet. • Kontrollera att risk inte föreligger för att luft kan sugas in i injekteringsslangarna. • Kontrollera att borrningshastigheten och injekteringsflödet anpassas så att injekteringsbrukets överyta ligger i markytan. • Kontrollera att kontinuerlig registrering av injekteringsmängd och borrningsdjup sker. • Kontrollera att provtagning av injekteringsbruket sker för kontroll av hållfasthet. • Kontrollera att urspolning av för stor mängd jordmaterial inte sker. • Kontrollera att borrningspersonalen känner till förväntade jordförhållanden och att verkliga jordförhållanden dokumenteras utgående från de observationer som sker vid borrnings- och injekteringsarbetet. • Kontrollera hur förväntat och verkligt djup till berg stämmer överens. • Kontrollera att korrosionsskyddet stannar kvar när pålen går in i jorden. • Kontrollera att anordningar finns för omhändertagande av spillet. • Kontrollera fasta och lösa jordskikt.

Arbetsmoment	Kontroll
Injekteringsprotokoll	Ett injekteringsprotokoll ifylls där uppgifter om cementbruket antecknas: • Typ av injekteringsplattform och operatör. • Start och stopp. • vct. • Antal kg torrvikt cement/m eller antal liter injekteringsbruk/m. • Eventuella tillsatser (antal % av cement-torrvikten). • Injekteringstryck. • Injekteringsflöde. Övriga anmärkningar vid borrningen och injekteringen, till exempel uteblivet returflöde eller stor bruksåtgång på någon nivå.

Påles integritet

Ej relevant.

Rakhetsmätning

Ej relevant.

Kontroll av korrosionsåtgärder

Kontroll av korrosionsåtgärder kan utföras enligt avsnitt 9.3.6.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av geoteknisk bärförmåga och produktionskontroll utförs enligt avsnitt 9.4 och 9.5.

Omgivningspåverkan

Kontroll av buller, markrörelser, grundvattennivå/portryck och vibrationer kan utföras enligt avsnitt 9.3.1. Kontrollprogram för omgivningspåverkan redovisas i avsnitt 9.7.

Installerade pålars längd

Kontroll av installerade pålars längd utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Installerade pålars planläge och lutning

Kontroll av installerade pålars planläge och lutning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Dokumentation

Dokumentation utförs enligt avsnitt 9.3.2.

9.3.9 Grävpålar

Nedan redovisas förslag på kontroll i samband med installation av grävpålar. Lämpliga kontrollåtgärder väljs specifikt för aktuellt objekt. Installation och kontroll av grävpålar hänförs till utförandestandard SS-EN 1536:2010+A1:2015, Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar (SIS, 2015c). Pålarna

är till skillnad från i princip alla andra behandlade påltyper in-situ-tillverkade och alla delar av installationen har påverkan på slutresultatet.



Figur 9.1 Exempel på problem/skador på in-situtillverkade pålar.

Utsättning

Kontroll av utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Utrustning och material

Generella krav anges i utförandestandard SS-EN 1536:2010+A1:2015 (SIS, 2015c), samt i Guide to Support Fluids for Deep Foundations, First edition (EFFC/DFI, 2019) och Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations, Third edition (EFFC/DFI, 2024).

Installation

Generella krav anges i utförandestandard SS-EN 1536:2010+A1:2015 (SIS, 2015c), samt i Guide to Support Fluids for Deep Foundations, First edition (EFFC/DFI, 2019) och Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations, Third edition (EFFC/DFI, 2024). Nedan följer exempel på kontroller.

Arbetsmoment	**Kontroll**
Tillverkning/installation	Kontroller kan exempelvis utföras med: • Shaft Area Profile Evaluator (SHAPE). • Cross-hole sonic logging (sonometrisk mätning, CSL). • TIP, Thermal Integrity Profiling. • Integritetskontroll (low-train PIT, high strain). • Betongprover (sättmått, provtryckning kuber osv.). • Betongkärnor in-situ (provtryckning). • Dynamisk efterkontroll (stoppslagning, sjunkning och fjädring).
Schakt i friktionsjord	Kontroll av uppluckring eller hävning efter schaktarbete. Schaktbotten kan filmas.

Arbetsmoment	Kontroll
Berganslutning	Kontroll av berganslutning med avseende på bergets lutning. Eventuell inmejslingslängd och rensning bestäms av pållast, bergkvalitet och tillåten sättning. Bergytan rensas från finmaterial före eventuell armering och gjutning. Bottenbesiktning kan utföras genom filmning av schaktbotten eller med användande av en s.k. SQUID.

Påles integritet

Se ovan.

Rakhetsmätning

Ej relevant.

Kontroll av korrosionsåtgärder

Ej relevant.

Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Verifiering av geoteknisk bärförmåga och produktionskontroll utförs enligt avsnitt 9.4 och 9.5.

Omgivningspåverkan

Kontroll av buller, markrörelser, grundvattennivå/portryck och vibrationer kan utföras enligt avsnitt 9.3.1. Kontrollprogram för omgivningspåverkan redovisas i avsnitt 9.7.

Installerade pålars längd

Kontroll av installerade pålars längd utförs enligt avsnitt 9.3.1 eller genom lodning i själva pålen, alternativt i därför installerade rör i pålen.

Installerade pålars planläge och lutning

Kontroll av installerade pålars planläge och lutning utförs enligt avsnitt 9.3.1.

Dokumentation

Dokumentation utförs enligt utförandestandard SS-EN 1536:2010+A1:2015 (SIS, 2015c).

9.4 VERIFIERING AV GEOTEKNISK BÄRFÖRMÅGA

9.4.1 Allmänt

Verifiering av geoteknisk bärförmåga redovisas i SS-EN 1997-1:2005 (SIS, 2005). Se vidare kapitel 7.

För pålar i Sverige används metoderna:

- Hävdvunna åtgärder (stoppslagningskriterier).
- Provning.
- Beräkning (för mantelburna pålar och för spetsburna pålar på berg med WEAP-analys).

I detta avsnitt behandlas hur provningen för verifiering genom provbelastning och hävdvunna åtgärder utförs. Bakgrunden till dessa metoder och hur partialkoefficienter ska ansättas redovisas i kapitel 7, geoteknisk dimensionering. I kapitel 7 redovisas också hur verifiering med beräkning utförs.

För pålar används ofta provbelastning eller hävdvunna åtgärder, förutom för mantelburna pålar där beräkning är den dominerade metoden för kohesionspålar (mindre vanlig för friktionspålar) och där statiska provbelastningsförsök är tidskrävande. Vanliga verifieringsmetoder som används för att bestämma den geotekniska bärförmågan innefattar statisk provbelastning i tryck och drag samt dynamisk provbelastning. För spetsburna stål- och betongpålar är dynamisk provbelastning den vanligaste verifieringsmetoden.

Statisk provbelastning används främst för att bedöma bärförmåga och erforderlig pållängd för mantelburna pålar, främst i friktionsjord eller överkonsoliderade leror och för borrade injekterade pålar. Detta görs antingen i projekteringsskedet eller inledningsvis i produktionsskedet för att verifiera tidigare gjorda värderingar baserade på beräkningar eller tidigare erfarenheter. Även spetsburna pålars bärförmåga kan undersökas genom statisk provbelastning. Statisk provbelastning i drag används ofta för dragstag (förankringar) och borrade injekterade pålar, medan statisk provbelastning för verifiering av bärförmåga i tryck är en mer ovanlig metod på grund av att konstruktioner måste anordnas för att ge mothåll för provbelastning, vilket oftast medför höga kostnader, samt det faktum att tidsåtgången är stor.

9.4.2 Statisk provbelastning

Metodik för utvärdering av statisk provbelastning och resulterande geoteknisk bärförmåga redovisas i kapitel 7, geoteknisk dimensionering. I detta avsnitt redovisas riktlinjer och rekommendationer för den praktiska provbelastningen.

9.4.2.1 Statisk provbelastning i tryck

Den gällande utförandestandarden för statisk provbelastning i tryck är SS-EN ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018a). Statisk provbelastning används främst för att bedöma geoteknisk bärförmåga, kryplast och last-sättningsbeteende och därigenom erhålla erforderlig pållängd för mantelburna pålar. För injekteringspålar är statisk provbelastning den vanligaste verifieringsmetoden då injekteringskroppen påverkas negativt av dynamisk provbelastning, vilket gör att cementmassan kan få minskad bärförmåga. Det är tillåtet att utföra provbelastning som dragprovning för både dragna och tryckta pålar, se avsnitt 9.4.2.2. Provbelastningen görs antingen i projekteringsskedet eller inledningsvis i produktionsskedet för att verifiera tidigare gjorda antaganden baserade på beräkningar eller tidigare erfarenheter, se kapitel 3 och 7. Pålar som dimensioneras på basis av statisk provbelastning utförs i geoteknisk kategori

3, se kapitel 7. Även spetsburna pålars geotekniska bärförmåga kan verifieras genom statisk provbelastning. Av bland annat kostnads- och tidsskäl är det praxis att verifiera spetsburna pålars geotekniska bärförmåga främst genom dynamisk provbelastning, se 9.4.3.

De statiska provbelastningsmetoder som tidigare utförts i enlighet med Pålkommissionens Rapport 59 (Pålkommissionen, 1980) i Sverige är:

- Provbelastning med stegvis pålastning.
- Cyklisk provbelastning.
- Provbelastning med konstant nedpressningshastighet.
- Långtidsbelastning med konstant last.

Den första metoden är i princip den enda som under senare år använts i Sverige och som också beskrivs i provningsstandarderna SS-EN ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018a) och SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023). I standarden beskrivs också en cyklisk provning där den maximala provningslasten ska nås efter maximalt två belastningscykler med stegvis pålastning. Övriga metoder har tidigare använts och kan i vissa belastningssituationer ändå tillämpas, varför beskrivningar av dessa ändå tas med i de följande avsnitten.

Provningen kan utföras på flera olika sätt, framförallt gällande anordningen av mothållet. För pålar som ska verifieras i tryck utgörs troligen det vanligaste mothållet av pålar. Ett antal pålar belastas i drag, via ett balksystem. Detta kan ofta bli en omfattande konstruktion, beroende på påltyp och storlek på last. Själva mätutrustningen bör väderskyddas och skyddas från överdrivna temperaturavvikelser under provningsförfarandet. Exemplen i Figur 9.2 visar mothåll anordnat med nedslagna balkpålar, respektive CFA-pålar. Det är av yttersta vikt att mothållet dimensioneras och utförs korrekt. Det bör också upprättas ett separat kontrollprogram för detta. Dels för att kontrollera att mothållet uppför sig som planerat och dels för att korrekt kunna utvärdera alla rörelser och laster under, det ofta långa, provningsförloppet.



Figur 9.2 Uppställningar för statisk provbelastning med mothållspålar av olika slag.

Mothållet kan också anordnas med hjälp av dödvikt, till exempel i enlighet med Figur 9.3. Också för en sådan uppställning är det önskvärt att ett kontrollprogram upprättas, inte minst för mätning av rörelser (sättningar under mothållet).



Figur 9.3 Statisk provbelastning, mothåll med dödvikt av betongpålar.

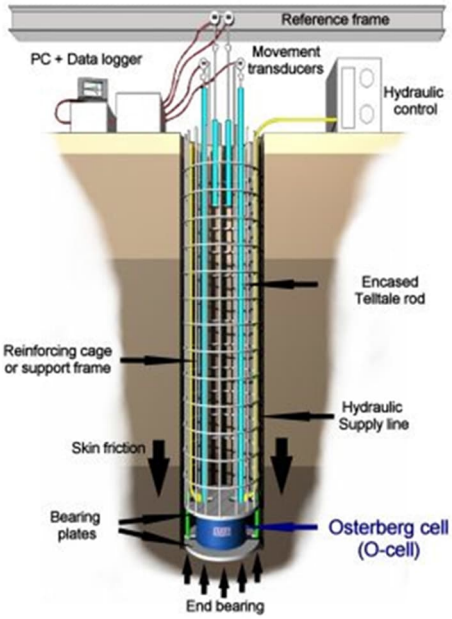
Själva mätproceduren är dock likartad, med fristående upplagda mätbalkar och minst tre oberoende mätklockor runt pålen, se Figur 9.4. I samtliga fall bör kontroller utföras för att säkerställa minimal påverkan på den provade pålen från själva mothållet. Det är viktigt att domkraften har viss frihetsgrad, så att mindre rörelser i plan hos mätpålen kan klaras.



Figur 9.4 Anordning av mätklockor på oberoende mätbalk vid statisk provbelastning av betongpåle.

Om pålen är en grävpåle kan mothållet också utgöras av pålen i sig själv, varvid så kallade Osterbergceller förinstalleras i pålen, se Figur 9.5.



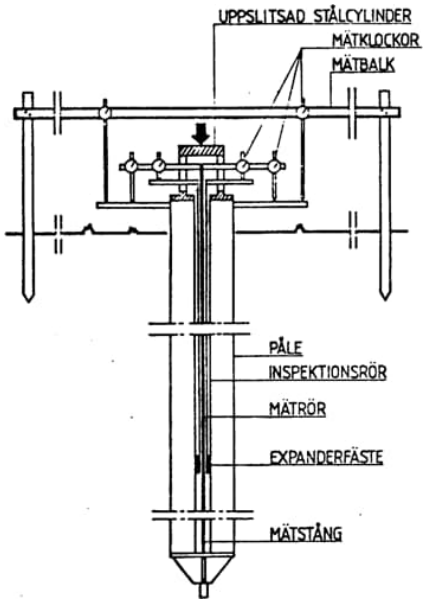


Figur 9.5 Anordning av Osterbergcell i armeringskorg för grävpåle.

För att få mer information kring pålens funktionssätt i samband med statisk provbelastning kan det vara av värde att instrumentera pålen ytterligare. Nedan beskrivs kortfattat tre möjliga instrumenteringssätt för pålar.

Mätstång i pålen

Vid genomförande av statisk belastning finns det möjlighet att mäta pålspetsens sättningsrörelse med hjälp av en mätstång (eng. telltales) som löper fritt i ett rör och sitter fast vid spetsen, se Figur 9.6. Man kan även placera stängerna på olika nivåer i pålen och få information om lastfördelningen i pålen.



Figur 9.6 Princip för instrumentering av påle för mätning av pålens sättning vid olika djup (Pålkommissionen, 1980).

Jordtrycksceller

Jordtrycksceller kan monteras vid spetsen för att mäta spetsmotståndet under statisk provbelastning. Om jordtrycksceller monteras infällda i manteln kan också ökningen av jordtrycket mot manteln mätas, både när pålen står obelastad (krypning) och under statisk provbelastning till brott.

Töjningsgivare

Om mantelmotståndets fördelning längs pålens mantel ska mätas kan töjningsgivare installeras. Det är viktigt att dessa ej nollställs innan provbelastningen, för att få med effekten av residualspänningar i pålen. Mikrosprickor, som normalt förekommer i betongpålar, kan inverka kraftigt på mätnoggrannheten. Skillnaden mot förfarande med mätstång är att töjningsgivaren ger ett punktvärde och mätstången ett medelvärde över sin längd.

9.4.2.1.1 Provbelastningsmetoder

Installation av en påle genom slagning innebär en betydande störning av jorden närmast pålen. Denna störning medför i allmänhet en hållfasthetsminskning i jorden. Packningseffekter i friktionsjord kan ibland leda till att hållfastheten ökar. Med tiden (efter slagningen) sker en successiv tillväxt av bärförmågan. Tillväxten sker på olika sätt i olika jordar, vilket måste beaktas vid val av tidpunkt för provbelastningen, se vidare i kapitel 7. Provbelastning bör helst utföras vid flera tillfällen eller efter maximal tillgänglig tid, då större delar av bärförmågetillväxten inträffat. Detta styrs ofta av tidsaspekten inom projektet.

För injekteringspålar ska cementbruket som omger injekteringsstaget härda innan provbelastning får utföras. Detta påverkas av receptet på injekteringsbruket, men minst en veckas härdning krävs innan provbelastning får inledas.

Under provbelastningens gång mäts pålhuvudets rörelse kontinuerligt i pålens längdriktning. Att särskilja pålens spets- och mantelbärförmåga innebär relativt omfattande mätningar och utförs därför sällan. Provbelastningen visar därför oftast pålens totala bärförmåga. Genom att under provbelastningen mäta pålens sammantryckning erhålls en möjlighet att bedöma från och med vilken last hela lastökningen tas upp vid pålspetsen. Med ledning av provningsresultaten, med enbart mätning på pålhuvudet, kan dock s.k. Chin-analys utföras, för att uppskatta fördelningen mellan spets- och mantelbärförmåga. Ett flertal artiklar beskriver detta, t.ex. “An appraisal of the Chin method based on 50 instrumented pile tests” (Borel et al., 2004).

I Figur 9.7 visas exempel på mothåll med dragstag och lastuppställning för statisk provbelastning.



Figur 9.7 Statisk provbelastning av pålar. Bild: Geometrik.

Stegvis pålastning (Maintained Load, ML)

Metoden syftar vanligen till att bestämma en påles brottlast och verkningssätt. Pålastning sker i steg med ungefär lika steglängd genom hela försöket, vilket redovisas grafiskt. Laststegen väljs till cirka 15 % av beräknad brottlast. Lasten rekommenderas verka i drygt 60 minuter per laststeg enligt SS-EN ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018a). Hela provningsförfarandet redovisas i standarden. Rekommendationer finns även i Pålkommissionens Rapport 59 (1980). I den senare beskrivs enbart förfarandet Quick Maintained Load (QML), där lasten enbart verkar i cirka 15 minuter per laststeg. I svenska finkorniga jordar får det anses vara fullt tillräckligt. Att utsträcka laststegen till 60 minuter ökar inte tillförlitligheten nämnvärt. Detta medför dock en avvikelse från den gällande standard för provbelastning. Mätningar görs vid ett flertal tidpunkter under varje laststeg. När pålastningen avbrutits avlastas pålen. Då lasten sjunkit till cirka 75, 50, 25, 10 och 5 % av maximalt ansatt last görs uppehåll i avlastningen och pålens uppfjädring mäts. När lasten nedgått till noll mäts uppfjädringen vid ett antal olika tidpunkter. En last-sättningskurva och en krypkurva uppritas med utgångspunkt från sättningsavläsningarna. Totalt kan ett belastningsförsök med QML genomföras inom en tidsperiod av 4 à 8 timmar, vilket är betydligt kortare än för en provbelastning enligt standard, vilket kan ta uppemot 12 timmar.

Cyklisk provbelastning

Vid cyklisk provbelastning ökas lasten i ett antal steg såsom vid stegvis pålastning. Enligt det tidigare förfaringssätt i Pålkommissionens Rapport 59 (1980) för cyklisk belastning, hålls ett laststeg ej konstant utan den växlas regelbundet under exempelvis 20 cykler. Lastväxlingen sker mellan en maximal last, som hålls konstant under 10 min, och halva denna last, som hålls konstant under lika lång tid. Tiden för varje cykel bör vara lika för samtliga cykler under hela provbelastningen. Denna tid bör väljas så att pålens rörelse nästan avstannat innan nästa laststeg påförs. Pålen belastas tills kryplasten överskridits. Pålen avlastas sedan på samma sätt som ovan beskrivits för metoden med stegvis pålastning. En last-sättningskurva uppritas med utgångspunkt från sättningsavläsningarna. Ett belastningsförsök med cyklisk provbelastning kan pågå under 15 à 20 timmar.

En enklare variant än metoden ovan finns också beskriven i de gällande provbelastningsstandarderna SS-EN ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018a) och SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023). Dessa kan genomföras under en tidsperiod om ungefär 6 timmar.

Konstant nedpressningshastighet (Constant Rate of Penetration, CRP)

Metoden syftar vanligen till att bestämma en påles brottlast och verkningssätt. Belastningsförsök med konstant nedpressningshastighet innebär att pålhuvudet kontinuerligt trycks ned med en viss förutbestämd låg hastighet (normalt 0,5 mm/min). Härför erforderlig kraft mäts upp. Pålastningen avbryts vid samma sättning som för metoden med stegvis pålastning. Avlastning utförs också som vid belastningsförsök med stegvis pålastning. Totalt kan ett belastningsförsök med konstant nedpressningshastighet genomföras inom en tidsperiod av 3 à 6 timmar.

Långtidsbelastning med konstant last

Metoden syftar främst till att studera en påles sättning (krypning) under konstant last. Lasten hålls konstant under relativt lång tid. Beroende på förhållandena kan belastningstider från 1 dygn till 0,5 à 1 år vara aktuella. Vid dygnslång belastning väljs en lastnivå något lägre än bedömd kryplast. Kryplasten bedöms med ledning av resultat från tidigare belastningsförsök. Se även Yannie (2016).

9.4.2.2 Statisk provbelastning i drag

Metodiken för statisk provbelastning genomförd i drag, se Figur 9.8 och Figur 9.9, är i stort den samma som för provbelastning i tryck. Gällande utförandestandard för statisk provbelastning i drag för

pålar är SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023) och SS-EN ISO 22477-5:2018 (SIS, 2018c) för förankringar. Båda dessa bedöms kunna användas för pålar eftersom verkningssättet för påle som är dragen är en mantelfriktion som mobiliseras längs pålen. Notera att den totala tiden som krävs för statisk provbelastning enligt SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023) är betydligt längre än för statisk provbelastning av förankringar. I följande avsnitt redovisas råd för statisk provbelastning av pålar och för dragförankringar. Den vanligaste metoden att hantera dragkraft i pålar är antingen genom beräkning av bärförmåga på manteln eller genom dragförankringar, varav den vanliga metoden är dragförankring i berg. För injekteringspålar är oftast provbelastning i drag mer praktiskt än provbelastning i tryck.



Figur 9.8 Exempel på statisk provbelastning i drag, betongpålar.



Figur 9.9 Statisk provbelastning av pålar i drag. Bild: Gustav Norén.

9.4.2.2.1 Pålar

Verifiering av bärförmåga i drag genom statisk provbelastning är en vanlig metod för injekteringspålar, eftersom dynamisk provbelastning påverkar den injekterade manteln mot jorden. Detta utförs genom att använda intilliggande pålar som mothåll eller använda en ram för provbelastningsreaktionen. Figur 9.9 visar ett ok som har byggts upp för en statisk provbelastning i drag, där dubbla domkrafter används mot oket för att dra pålen.

Provbelastning genomförs sedan genom metoder redovisade i SS-EN 1997-1:2005 (SIS, 2005), dvs. SS-EN ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018a) och SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023).

Statisk provbelastning av stålkärnepålar utförs på samma sätt som för övriga påltyper. Se kapitel 7 för beskrivning av beräkning av geoteknisk bärförmåga, samt SS-EN 1997-1:2005 (SIS, 2005) för generella krav. Lasterna för stålkärnepålar kan bli väldigt höga, vilket gör att mothållskonstruktionen måste projekteras för att klara lasterna, också med en viss excentricitet om fler domkrafter används.

9.4.2.2.2 Dragförankringar i påle

Statisk provbelastning av dragförankringar nedborrade i berg inuti en borrad stålpåle utförs enligt SS-EN ISO 22477-5:2018 (SIS, 2018c). Genomförs provdragning mot foderrör kan endast vidhäftningen mellan stag-bruk och bruk-berg provas, vilket gör att bärförmågan för bergkonen måste beräknas, se kapitel 7. Sådana provningar kan utföras med s.k. acceptance test, på mycket kort tid (cirka 20 min tidscykel).

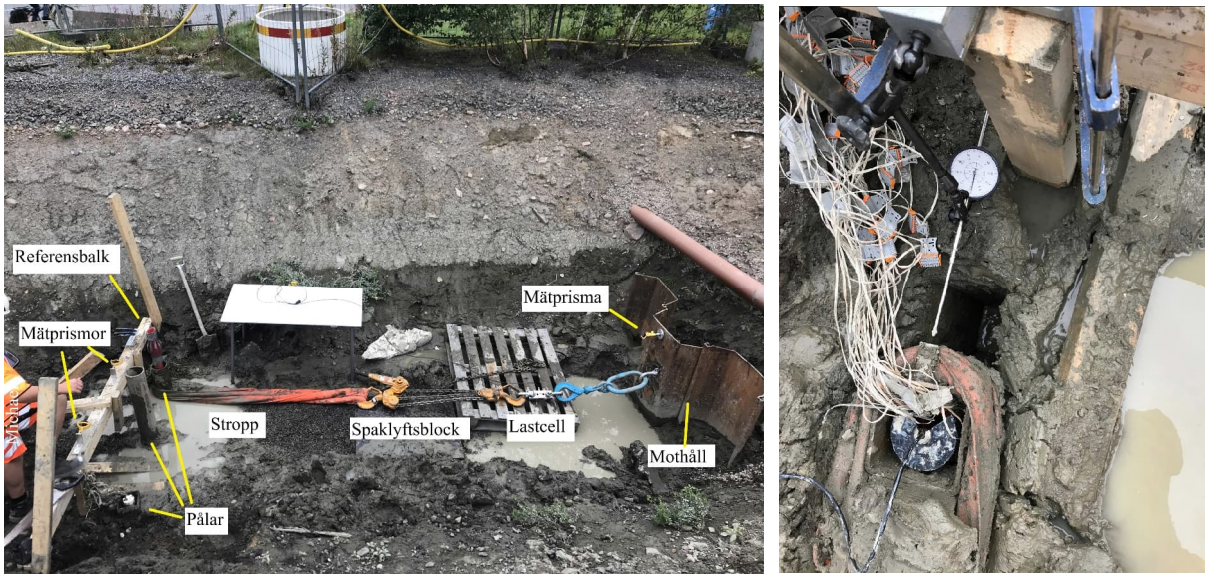
9.4.2.3 Statisk provbelastning för transversell belastning

Ibland kan det vara intressant att verifiera eller prova den geotekniska bärförmågan och last/förskjutningskurvan vid transversell belastning. Dokumenterade försök av detta är tyvärr inte så många i Sverige. I SBUF-projektet ”Transversalbelastning av pålar i postglacial lera” har detta studerats, se Jonefjäll och Sabattini (2022).

De verkliga förhållandena är bra att fånga så noggrant det går med t.ex. rätt inspänningsförhållanden, böjstyvhet, lastvaraktighet, samt form och belastningsriktning för påle. I ovan nämnda SBUF-projekt fanns skillnader på cirka en faktor två mellan cirkulära och ett kvadratiskt tvärsnittsmått, där det kvadratiska rörde sig hälften så mycket vid samma last.

9.4.2.3.1 Uppställning

Illustration av uppställning av transversell statisk provbelastning visas i Figur 9.10 och Figur 9.11.



Figur 9.10 Exempel på statisk, transversell provbelastning (Jonefjäll och Sabattini, 2022).



Figur 9.11 Exempel på uppställning (Jonefjäll och Sabattini, 2022).

Enklaste förfarandet är att inom en pålgrupp belasta två pålar mot varandra istället för mot en spont som i exemplet.

9.4.2.3.2 Mätning

Relevant att mäta är:

- påltopprörelser
- last (lastcell)
- rörelser eller töjningar mot djupet kan även vara intressant för förståelsen och för att undvika att skada pålen strukturellt (inklinometer, fiberoptik eller töjningsgivare).

Innan mätning är det viktigt att göra en bedömning av relevanta laststeg och förväntade deformationer för att undvika strukturellt brott i pålen. En tumregel för att få bra upplösning på datan, är minst 8-10 laststeg. Många gånger är de verkliga transversella lasterna kanske vindstötar, bromslaster från tåg med mera. Då är det mest relevant att välja korta lastcykler för att se hur jorden beter sig vid upprepande laster. I vissa fall kan det vara långvariga laster, som jordtryck, som är relevanta och då är det mer rimligt att utföra försöken i cirka 15 minuters laststeg och sedan reducera tillåtna rörelser och laster enligt tidsfaktorerna för axiellt belastad påle.

Det som kan undersökas vid provning av transversalbelastade pålar är:

- Hitta gränsen mellan reversibla och irreversibla rörelser.
- Få fram styvhet hos systemet för relevanta laststeg (olinjärt beteende).
- Undersöka effekten av cyklisk belastning.

Resultatet från mätningarna kan användas för att kalibrera beräkningsmodellen för bärförmågan.

9.4.2.4 Redovisning av statisk provbelastning

Resultat från statiska provbelastningar i tryck ska redovisas i en särskild rapport enligt SS-ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018a) och SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023). Rapporten ska bland annat innehålla följande uppgifter:

- Syftet med provbelastningen.
- Uppgifter om provbelastningen såsom tidpunkt, typ av provbelastning, utrustning och mothåll.
- Data för provpålar och eventuellt mothållspålar såsom påltyp, skarvar, inspektionsrör, pållängder (omkrets, krokighet) och placering.
- Uppgifter om slagningen av provpålar och mothållspålar såsom tidpunkt, slagningsutrustning, slagningsordning samt eventuellt stoppslagningskriterium.
- Resultat från slagningen av provpålar och mothållspålar såsom inmätning, slagningsdiagram, fjädringsmätning och övriga iakttagelser.
- Resultat av provbelastningen såsom provbelastningsdiagram och eventuell utvärdering av provbelastningsresultatet.

Rapport från provbelastningen används sedan som underlag för dimensionering av den geotekniska bärförmågan för pålar för ett objekt. Detta innebär att uppgifter om val av påltyp, pållängder, stoppslagningskriterier och andra parametrar dokumenteras tillsammans med övrigt underlag för dimensioneringen. Dessa uppgifter bör normalt ej redovisas i samma handling som själva provbelastningsresultaten.

9.4.3 Dynamisk provbelastning med stötvågsmätning

Stötvågsmätning är en metod för att registrera mätdata vid en dynamisk provbelastning, för bestämning av pålars bärförmåga och funktionssätt i jorden. Stötvågsmätning kan utföras på olika påltyper, främst betongpålar och stålrörspålar, men också på grävpålar och träpålar. Mätningar kan utföras på pålar i olika jordar med olika verkningssätt, dvs. spetsburna och mantelburna pålar eller kombinationer därav. I kapitel 7 redovisas metoder för verifiering av bärförmåga genom dynamisk provbelastning (stötvågsmätning). I kapitel 9 redovisas hur metoden genomförs i praktiken, samt diskuterar ytterligare metoder för kontroll genom stötvågsmätning. Provningen ska utföras och redovisas i enlighet

med SS-EN ISO 22477-4:2018 Provning av geokonstruktioner – Dynamisk provbelastning (SIS, 2018b).

9.4.3.1 Princip

Då en påle utsätts för ett slag från en fallhejare uppkommer en stötvåg, som fortplantar sig genom pålen (Bredenberg (1980), Goble & Rausche (1976) och Vijayvergiya & Focht (1972)). Då stötvågen når pålspetsen reflekteras den som en tryckvåg, om pålspetsen står mot fast botten eller som en dragvåg, om spetsen står i lös jord. Även längs manteln erhålls tryckreflexer beroende på mantelmotståndets storlek. Dessutom erhålls dragreflexer vid skador i pålen och i skarvglapp. I kapitel 7 ges en sammanfattning av metoden.

Vid stötvågsmätning registreras resultanten av initialvågen som passerar genom pålen efter ett hejarslag och reflexvågen från påle och jord. Utifrån dessa signaler kan man bestämma:

- Pålens geotekniska bärförmåga (kapitel 7).
- Pålens funktion i jorden.
- Eventuella skador på pålen.
- Slagutrustningens effektivitet.
- Maximala tryck- och dragspänningar i pålen.

Stötvågsmätning utförs i samband med provpålning eller produktionskontroll. Vid produktionskontroll kan detta innefatta verifiering av geoteknisk bärförmåga eller integritetskontroll.

Stötvågsmätning vid provpålning utförs på ett antal pålar slagna till olika djup eller stoppslagna till olika sjunkningar. Provpålningen omfattar normalt cirka 5 % av totala antalet pålar. Stötvågsmätning med efterföljande analys och utvärdering ger besked om pålarnas funktion och bärförmåga. Därefter kan pållängd och/eller stoppslagningsvillkor för produktionspålningen bestämmas. Provpålning kan utföras antingen i projekteringsskedet eller i samband med att produktionspålningen påbörjas.

Stötvågsmätning för produktionskontroll görs för att verifiera erforderlig geoteknisk bärförmåga hos produktionspålarna slagna enligt ett stoppslagningsvillkor eller längdvillkor framtaget genom provpålning. Mätning görs vanligtvis på minst 10 % av totala antalet pålar.

Stötvågsmätning för integritetskontroll innebär kontroll av pålen med avseende på skador t.ex. sprickor, oacceptabelt glapp i skarvar eller areaförändringar av betongtvärsnittet. För betongpålar har denna typ av integritetskontroll i huvudsak ersatt lodtolkning i inspektionsrör. Vid provpålning och produktionskontroll ingår integritetskontroll som en del av analysen.

Metoden med stötvågsmätning kan också användas för att kontinuerligt följa en påle genom hela installationssekvensen. Då erhålls uppgifter om de spänningsnivåer i tryck och drag som uppstår under installationen, vilka i sin tur kan användas för att optimera installationssekvensen och erhålla uppgifter om i vilken utsträckning pålens utmattningskapacitet utnyttjas i installationsskedet. Mätningarna kan också användas för att korrelera/vidimera eventuella WEAP-körningar.

9.4.3.2 Provningssystem

Provningssystemet utgörs av trådtöjningsgivare (töjningsgivare i texten nedan) och accelerometrar. Dubbla givare används för att neutralisera böjning i pålen. Givare ska monteras minst 2 påldiametrar från påltopp. Utöver detta bör det finnas minst en halvmeter pållängd från givare till marken i det fall pålen sjunker vid provning. Detta är viktigt vid förberedelser för mätning. Om tillräcklig längd inte finns

för mätning måste lokal schakt utföras vid pålarna, alternativt måste pålarna skarvas på för att få tillräcklig längd. Båda dessa åtgärder är tidskrävande.

Stötvågsmätning med mätknekt bör undvikas. Det blir ofta sneda belastningar på pålen med översträckning och/eller överkompression av trådtöjningsgivare samt böjreflexer som stör mätkurvan. Dessutom kan knekten studsa av pålen och förstöra givaruppsättningen när hejaren faller ner igen efter studsen. Knekten innebär dessutom en risk för skador för personalen. Om knekt ändå används bör nämnda faktorer beaktas och det bör säkerställas att knekten vilar med god anliggning mot pålen och att olika impedanser mellan mätknekten och pålen tas med i analysen av signalerna.

Vid provning av en betongfylld stålpåle ska tillses att betong har fyllts ända upp till toppen av pålen. Stötvågskraften bör dessutom fördelas ut över hela påltoppen med ett trä eller plastmellanlägg. Vid montering av givare bör dessa monteras minst 5 diametrar från påltoppen för att säkerställa god samverkan över hela tvärsnittet. Det är dessutom fördelaktigt att använda en tung fallhejare och dyna så att stötvågskurvan får en väl rundad, dämpad form.

Töjningsgivare (Figur 9.12) och accelerometrar (Figur 9.13) skruvas fast i påldelen som är belägen över markytan. En accelerometer är tillräckligt för att erhålla data för att få underlag för att göra en korrekt analys, men ytterligare en accelerometer kan vara bra för att bekräfta de två signalernas kvalitet. Dock är det nödvändigt med 2 st töjningsgivare och att de monteras diametralt motsatt på pålen, se Figur 9.15 och Figur 9.16, för att mäta eventuell excentricitet i slagningssystemet (snedslag) och på så sätt erhålla ett medelvärde av spänningen över tvärsnittet. För spiralsvetsade stålrör är det lämpligt, för att erhålla ett bra medelvärde av töjningsdata, att använda minst 3 st töjningsgivare spridda jämt fördelat över omkretsen och på samma nivå som accelerometern/accelerometrarna. Det är viktigt att givarna är spänningsfria innan provningen inleds, då montaget av givarna kan ge krafter som påverkar mätningen.

Figur 9.14 visar en påle och en frihängande hejare vid stötvågsmätning. Figur 9.15 visar en schematisk bild på hur accelerometrar och töjningsgivare ansluts till en stålrörspåle eller på ett runt tvärsnitt. Figur 9.16 visar föreslagen montering på en påle med kvadratiskt tvärsnitt. Det bör säkerställas att töjningsgivarna monteras diagonalt enligt figuren för att automatiskt justera för böjning i pålen.



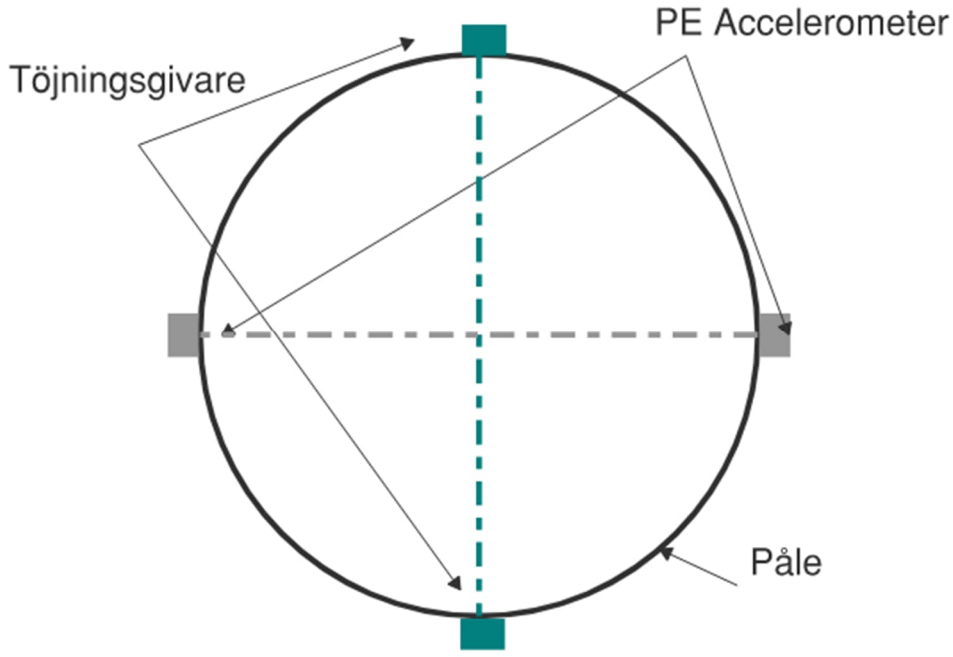
Figur 9.12 Töjningsgivare. Foto: PDI Inc.



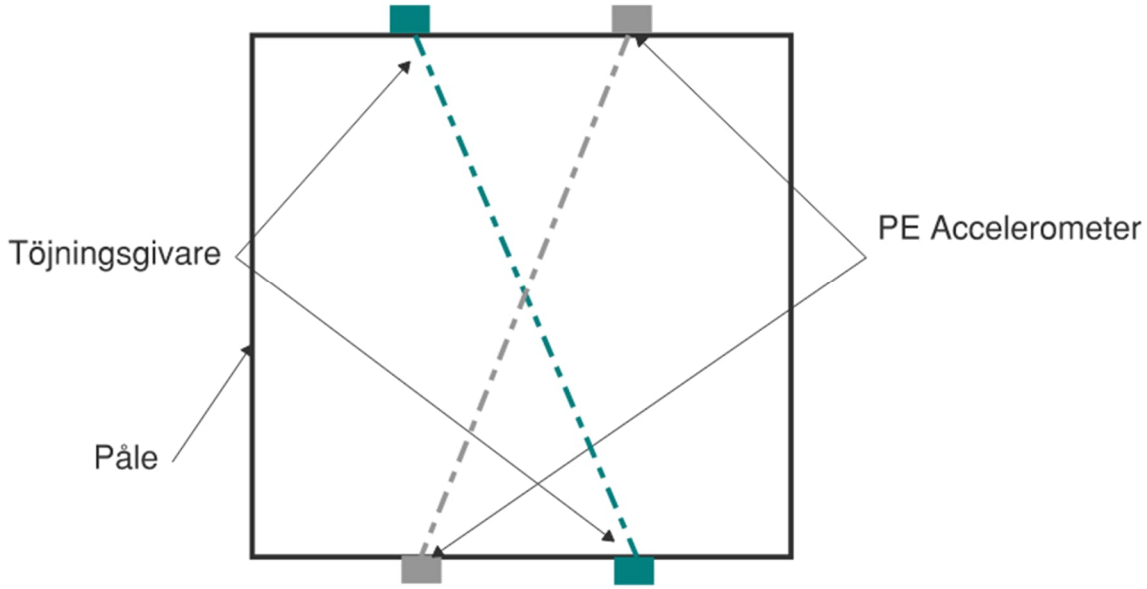
Figur 9.13 Piezoelektrisk accelerometer. Foto: PDI Inc.



Figur 9.14 Påle och mäthejare vid stötvågsmätning.



Figur 9.15 Schematisk bild i plan som visar hur töjningsgivare och accelerometrar ansluts till stålrörspåle eller annan påle med runt tvärsnitt. Trådtöjningsgivare och accelerometrar ska sättas på motsatt sida för att eventuell böjning i pålen automatiskt kan justeras vid mätning. De streckade linjerna visar motstående givare.



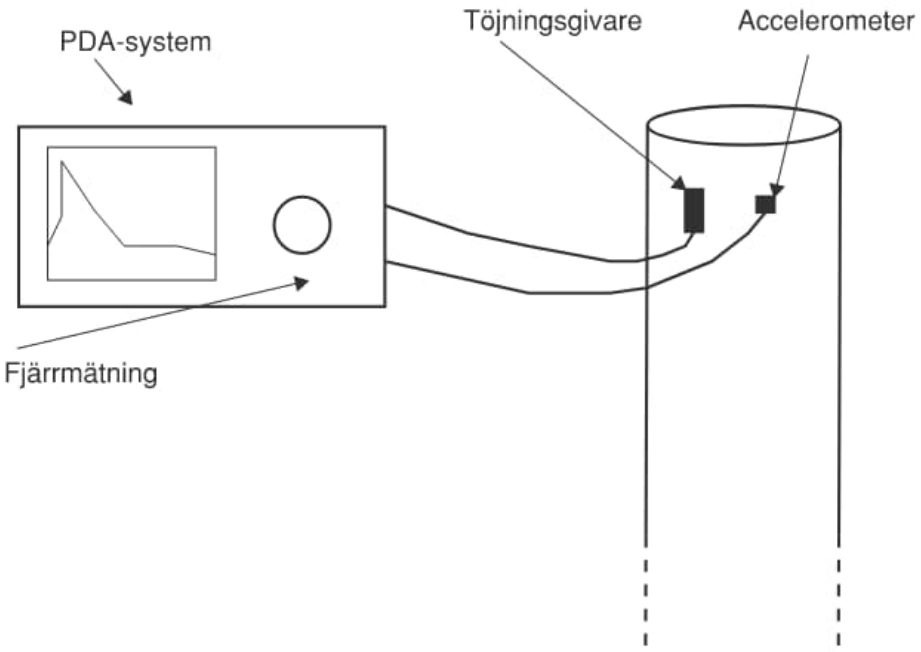
Figur 9.16 Schematisk bild i plan som visar hur töjningsgivare och accelerometrar ansluts till betongpåle eller annan påle med kvadratiskt tvärsnitt. Trådtöjningsgivare och accelerometrar ska sättas på motsatt sida för att eventuell böjning i pålen automatiskt kan justeras vid mätning. De streckade linjerna visar motstående givare. Givarna ska monteras på samma nivå. Oftast monteras motstående givare 1/3 av sidlängden in från hörnen.

Givarna ansluts till en pålslagningsanalysator (PDA eller liknande utrustning), visat i Figur 9.17. Denna förstärker signalerna från givarna och omvandlar dem till kraft och partikelhastighet. Vid ett slag från hejaren på pålen registreras kraft och partikelhastighet som funktion av tiden. Såväl initialvågor som reflekterade stötvågor påverkar kraften och partikelhastigheten i pålen. Pålslagningsanalysatorn gör en utvärdering av pålens bärförmåga enligt CASE-metoden, "CASE-analys".

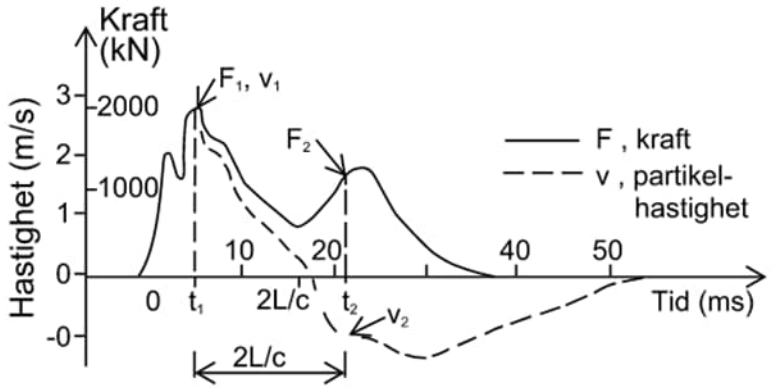
Kraft- och partikelhastighetsförloppen tillsammans med uppåtgående och nedåtgående våg, visas i realtid i analysatorn efter varje utfört slag. Däri visas också olika kvantiteter såsom av hejaren till påle överförd energi, maximala tryck- och dragspänningar, för slaget mobiliserad geoteknisk bärförmåga m.fl. Oftast genomförs flera slag på pålen och operatören bestämmer när mätresultatet är tillfyllest för verifieringen av pålens bärförmåga. Figur 9.18 visar ett exempel på mätning där kraft- och hastighetskurvorna visas i ett diagram.

Signalerna kan även föras över till en dator för utvidgad analys genom signalmatchning med datorprogrammet CAPWAP eller likvärdigt program. Programmet utför en mer noggrann analys av pålens funktionssätt. Detta ger en mer tillförlitlig bestämning av pålens bärförmåga och separerar bärförmågans fördelning på pålens mantel och spets, samt får fram dämpningsfaktorn J_c att använda vid CASE-analys.

Utrustningen finns även i persondatorversion, där analysatorn är integrerad i en bärbar persondator.



Figur 9.17 Indata för stötvågsmätning, principfigur.



Figur 9.18 Stötvågsmätning, principfigur på kraft- och hastighetskurvor vid mätning.

9.4.3.3 Bestämning av bärförmåga

Utifrån stötvågsmätningsresultat kan en påles geotekniska bärförmåga bestämmas antingen med CASE-analys eller med signalmatchning med CAPWAP eller likvärdigt datorprogram. CASE-analys är en förenklad analys av stötvågsförloppen, medan signalmatchning innebär en kvalificerad datoranalys av förhållandet mellan påle och jord. För att den verkliga bärförmågan (pålens brottlast) ska kunna bestämmas måste hela motståndet längs manteln och vid spetsen ha mobiliserats. Pålen måste få tillräckligt stor förskjutning relativt jorden av hejarslaget så att brott i jorden uppnås. Detta kontrolleras genom uppmätning av pålens sjunkning vid mätslaget. Den kvarstående sjunkningen bör normalt överstiga 3 – 5 mm. Detta medför i många fall att relativt höga fallhöjder måste användas vid mätningstillfället. Större sjunkningar än cirka 15 mm bör undvikas för att erhålla tillförlitliga data. Se även kapitel 7, geoteknisk dimensionering.

För en mantelburen påle i friktionsjord erhålls normalt en tillväxt av pålens bärförmåga med tiden efter slagningen. Det är därför vanligt att stötvågsmätning utförs vid flera tillfällen. Ju längre tid som förflyter efter installationen desto större andel av bärfömågetillväxten kommer med vid bärförmågebestämningen. Stötvågsmätning och utvärdering av bärförmågan direkt efter drivning kan innebära att bärförmågan undervärderas. För att bedöma storleken på bärförmågetillväxten utförs i vissa fall stötvågsmätning på pålar både cirka 1 dygn och upp till 1 – 4 veckor efter slagning. Det är viktigt att utvärderingen av pålarnas bärförmåga görs på det första mätslaget, eftersom mantelmotståndet successivt minskar vid slagning. Görs utvärderingen efter ett flertal slag får man inte med hela mantelbärförmågan. Det är också av yttersta vikt att en sådan påle har fått stå ostörd under hela tiden fram till nästa provning. Ingen pålning får då ha skett intill pålen, normalt inom en radie av en pållängd.

9.4.3.4 Case-metoden

CASE--metoden är en dynamisk mät- och utvärderingsmetod som utvecklats vid Case Western Reserve University (Cleveland, Ohio, USA), där även den första prototypen av pålanalysatorn (The Pile Driving Analyzer, PDA) togs fram i början av 1970-talet. Det finns numera även andra liknande utrustningar på marknaden. För ett mer omfattande beskrivning, se kapitel 7.

Spetsburna pålar bör vid stoppslagning ej tillåtas sjunka för mycket per slag. För betongpålar bör sjunkningsvärdena vid stoppslagning ej överstiga 30 à 40 mm per talja om 10 slag. Ju större sjunkningsvärdet är desto större betydelse har ett felaktigt valt J_c-värde.

CASE-analysen är beräkningsmässigt enkel och man kan göra utvärderingen direkt vid stötvågsmätningen i fält om J_c är bestämt. Pålanalysatorn gör beräkningen av CASE-bärförmågan för valt värde på J_c-faktorn.

Val av J_c på annat sätt än genom kalibrering mot resultat från signalmatchning bör göras med stor försiktighet och endast för spetsburna pålar mot berg eller bottenmorän där pålspetsens rörelse är liten och således även det dynamiska motståndet. En generell regel är att dämpningsfaktorn ökar omvänt mot jordens kornstorlek. Mindre kornstorlek ger högre J_c. För pålar som står mot berg eller hård morän där pålspetsen inte rör sig nämnvärt är resultatet okänsligt för val av J_c. För pålar med hög andel mantelfriktion och stor rörelse vid spets kan valet av J_c däremot vara helt avgörande. Erfarenhetsmässigt kan sägas att om resultatet är känsligt för val av J_c kommer oftast en signalmatchningsanalys enligt 9.4.3.5, resultera i en relativt hög J_c.-faktor. Se vidare i kapitel 7.

Typiska värden på J_c enligt SS-EN ISO 22477-4:2018 (SIS, 2018b) visas i Tabell 9.1.

Tabell 9.1 Typiska värden på J_c-faktorn enligt SS-EN ISO 22477-4:2018 (SIS, 2018b).

Jordtyp	J_c
Sand	0,4-0,5
Siltig sand	0,5-0,7
Silt	0,6-0,8
Siltig lera	0,7-0,8
Lera	>=0,9

CASE-metoden kan endast användas om pålen som testas har samma materialparametrar över hela pålens längd (tvärsnittarea, elasticitetsmodul och densitet). Vid pålar med olika material eller tvärsnittsareor över olika delar av pålen, krävs signalmatchning med CAPWAP eller liknande för att modellera pålen och jorden.

9.4.3.5 Signalmatchning enligt CAPWAP

För att erhålla J_c-faktorn för pålar stoppslagna i jord behöver signalmatchning utföras med CAPWAP eller likvärdigt datorprogram. CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) är ett datorprogram för mer kvalificerad bestämning av en pålens bärförmåga och dess fördelning längs mantel och på spets. Signalmatchning enligt CAPWAP baseras på vågekvationens pål- och jordmodell, kombinerat med CASE-metodens stötvägsmätning. Innan analysen påbörjas ska slagnings- respektive jordförhållanden vara kända. Slagräkningsprotokoll bör vara upprättade. Se vidare kapitel 7.

Jämförelser mellan resultat från dynamisk provbelastning, med efterföljande CAPWAP-analys, och statisk provbelastning, har gjorts för olika påltyper och i olika jordar med god överensstämmelse.

9.4.3.6 Provning, utförande och mängd

Om dynamisk provbelastning (stötvågsmätning) utförs som underlag för dimensionering ska normalt minst tre pålar mätas. Om avståndet mellan pålar inom ett kontrollobjekt är mindre än 25 m godtas att tre provpålar mäts inom en yta motsvarande 25 × 25 m^2 samt att minst 5 % av den totala populationen provbelastas. Antalet pålar som får medräknas vid dimensionering ska utgöra ett representativt underlag med avseende på installationssätt, verkningssätt och markförhållanden vid den aktuella platsen. Pålarna bör vara jämnt utspridda över området eller lokaliserade till områden där sämst geotekniska förhållanden ur pålningssynvinkel kan förväntas råda. I TSFS 2018:57 (Transportstyrelsen, 2018) och EKS 12 (Boverket, 2022) används begreppet ”enhetliga geotekniska förhållanden”. Med hänsyn till att jordens egenskaper kan variera kraftigt rekommenderas att inte ha ett för stort avstånd mellan pålar inom ett kontrollobjekt. TD Pålar, rev 3 (IEG, 2016) anger att ytan för ett initialt kontrollobjekt inte överskrider 25 × 25 m^2, vilket motsvarar ungefär en provpåle per 200 m^2, men i vissa fall kan så tätt som 10 – 15 m mellan provpålar behövas för att upptäcka de varierande geotekniska förhållandena på platsen. När gruppeffekt bedöms få en avgörande betydelse kan pålar till och med behöva slås i grupp för att utvärdera bärförmåga och verkningssätt. Fall där jorden är stenig/blockig och där stor spridning erhålls i stoppnivåer och stoppsjunkningsvärden eller där det föreligger en förhöjd skaderisk för pålen, kan inte betraktas som enhetliga förhållanden. En större mätomfattning bör väljas för dessa fall.

Det är inte enkelt att ge rekommendationer om lämpligt antal pålar som ska provas eftersom detta är starkt avhängigt av de geotekniska förutsättningarna på den aktuella platsen. Utvärdering av provbelastningar och dimensionering samt val av antalet representativa pålar ska alltid göras av geotekniskt kvalificerad och erfaren personal. Om stor variation bedöms råda på platsen kan det vara nödvändigt att utöka provningen så att det finns tillräckligt många representativa pålar för att utvärdera den dimensionerande geotekniska bärförmågan. Produktionskontroll kan sedan vara lämplig att utföra för att verifiera resultatet vid provpålning och för att förtäta antalet provpunkter, se avsnitt 9.5.2. I vissa fall kan produktionspålningen i sig ge upphov till förändrade förutsättningar, t.ex. packning av jord, förhöjda portryck, massundanträngning och hävning, vilket kan föranleda ökad produktionskontroll.

Det innebär i sin tur att mängden provningar som kan sägas tillhöra ett visst geotekniskt kontrollområde kan variera under produktionsfasen och att de erhållna korrelationskoefficienterna och den totala säkerhetsfaktorn därmed också kan variera. I vissa aspekter kan därför provningen anses vara av typen ”aktiv design”.

Ibland används i projekt olika metoder för att bestämma bärförmågan. Vanligast är att stötvågsmätning utförs med CASE-metoden och att signalmatchning (CAPWAP-analys) sedan utförs på tillräckligt många representativa pålar, med god korrelation mot utvärderingen enligt CASE-metoden, så att den lägre modellfaktorn för CAPWAP kan användas för urvalet.

När dynamisk provning utförs av spetsburna stålpålar med litet mantelmotstånd som stoppslås på bra berg där bärförmågan inte mobiliseras (dvs. en sjunkning <cirka 1 mm per slag) är den uppmätta bärförmågan i princip proportionell mot pålens tvärsnittsarea (impedans). I sådana fall kan pålar med olika tvärsnittsareor tänkas ingå i samma underlag vid utvärdering av dimensionerande bärförmåga. Vid beräkning av dimensionerande bärförmåga för respektive påldimension görs en proportionering med avseende på kvoten mellan tvärsnittsareorna mellan de ingående påltyperna. Bedömning att det föreligger tillräckligt bra korrelation mellan pålar av olika tvärsnittsarea ska dock endast göras av kvalificerad personal i samband med utvärdering av resultaten. Resultaten bör verifieras för några produktionspålar.

För en spetsburen stålrörspåle nedborrad i berg utgör bergmassans bärförmåga, med avseende på den koncentrerade belastning pålspetsen utövar på underlaget, den geotekniska bärförmågan. De geotekniska undersökningarna bör ge besked om i vilken utsträckning lutande berg/svaghetszoner kan förväntas. För verifieringen av den geotekniska bärförmågan, dvs. pålens spetsmotstånd, gäller för denna påltyp vissa speciella förutsättningar. Bärförmågan för stålröret ensamt, och i vissa fall även för en betongfylld borrad stålrörspåle, kan undersökas med konventionell stötvågsmätning, CASE. Kontakttrycket mellan stål och berg blir högt under mätningen. Stålmaterialets hållfasthet kan därvid utgöra en begränsande faktor om berget är av hård, kristallin typ.

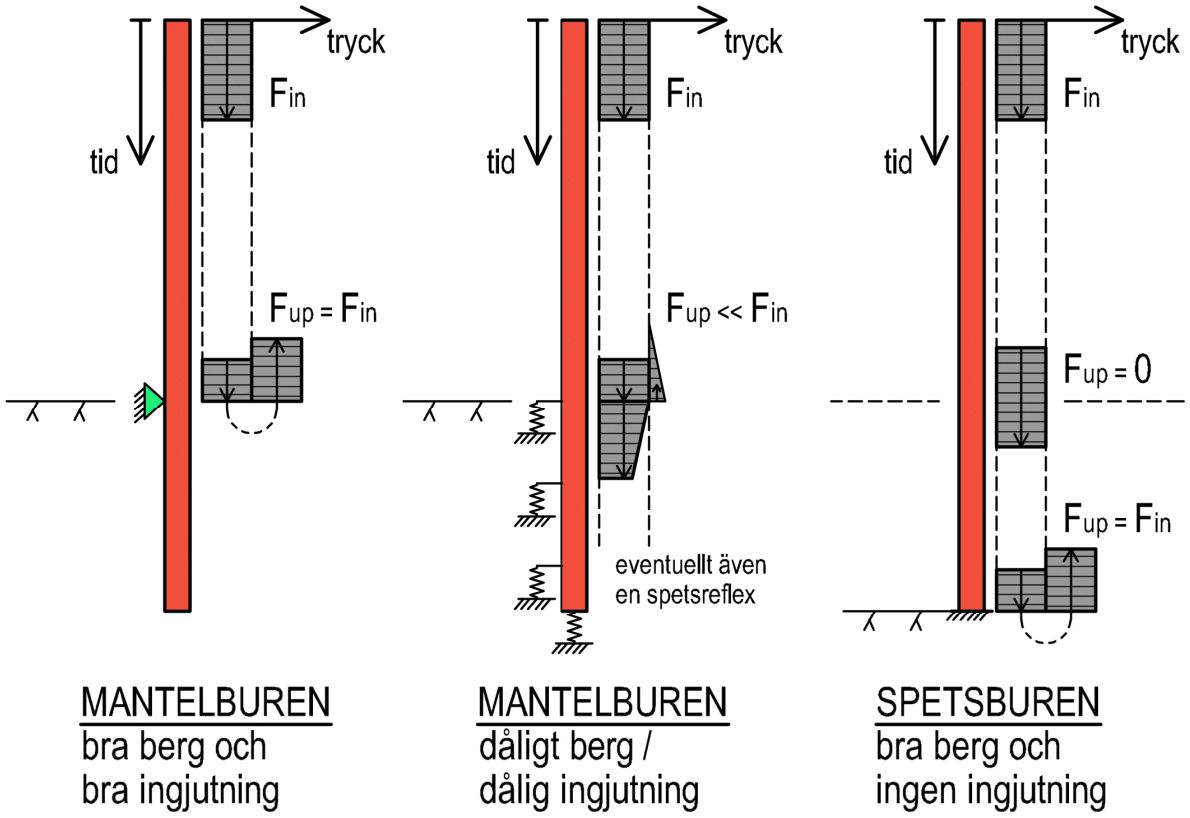
Stoppslagning av röret ska alltid utföras efter avslutad borrning, dels för att säkerställa att rörspetsen penetrerar löst material som kan finnas mellan påle och berg efter avslutad borrning (borrkax), dels för att kontrollera att berget under röret kan anses ha tillräcklig geoteknisk bärförmåga. Vid kontroll av en sådan påles geotekniska bärförmåga bör verifieringen säkerställa att pålspetsen har full kontakt mot berg. Verifieringen av detta kan göras med stoppslagning med hydraulhammare, lufthejare eller med frifallshejare. För hydraulhammare är rekommenderat krav på hejare att denna bör ha en hejarvikt minst lika med 2 ggr pålens vikt per meter. För lufthammare är rekommenderat krav på hejare att denna bör ha en hejarvikt minst lika med 3 ggr pålens vikt per meter.

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

9.4.3.7 Wave-up metoden

För stålkärnepålar inborrade i berg har den så kallade ”wave-up metoden” tagits fram för att bestämma mantelbärförmågan för den injekterade delen av stålkärnepålen. I princip är detta en traditionell stötvågsmätning där reflektionen från läget för ingjutningen bedöms. Denna metod togs fram av Lindgren, Axelsson och Giding för Citybanan (2012). Principen är att stålkärnepålen nedsänks inom ett plaströr och endast den rillade delen gjuts fast i berget. Pålen instrumenteras som vanligt med accelerometer och töjningsgivare.

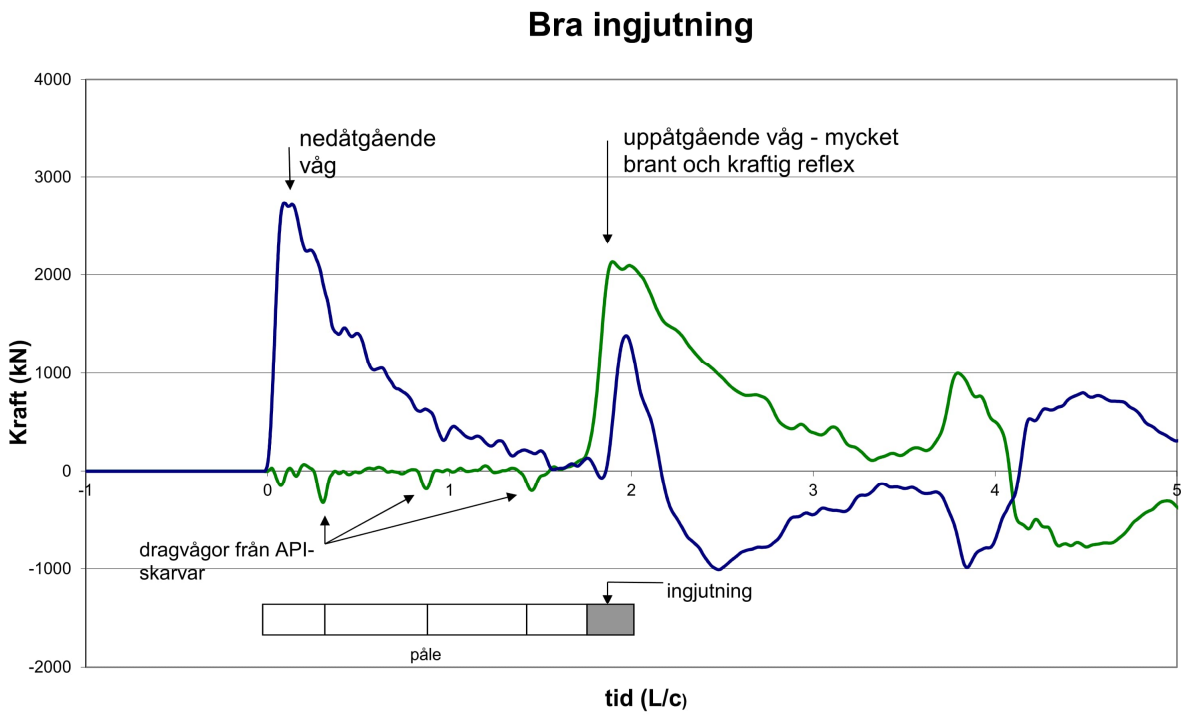
Figur 9.19 visar hur den ingjutna delen av pålen ger en reflex som går upp igen (wave-up) som traditionellt utvärderas vid stötvågsmätning.



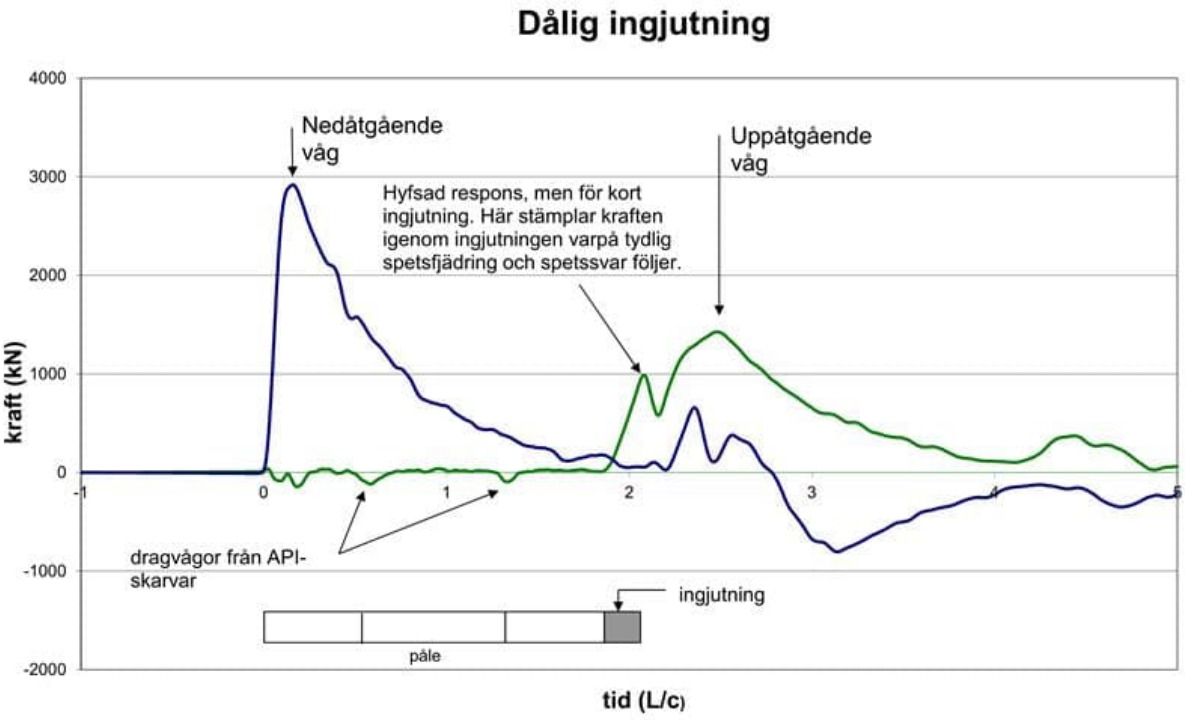
Figur 9.19 Stålkärnepåle inborrad i berg som testas med wave-up metoden. Bra ingjutning, dålig ingjutning/dåligt berg, utan ingjutning (Lindgren, Axelsson och Giding, 2012).

Figur 9.20 visar en mätning med wave-up metoden med bra ingjutning. Figuren visar den nedåtgående vågen och den uppåtgående vågen. Skarvarna i pålen ger mindre reflexer, men när vågen når den ingjutna delen av pålen kommer en tydlig reflex. Figur 9.21 visar däremot en dålig ingjutning, när kärnan stansar igenom ingjutningen och reflexen blir betydligt mjukare.

Vid slagning av den ingjutna stålkärnepålen spricker en övre längd (bedömt till cirka 1 dm) upp vid full mobilisering. För normala längder på ingjutning har detta mindre påverkan på stålkärnepålens bärförmåga, då större delen av den ingjutna längden återstår.



Figur 9.20 Mätning med wave-up metoden på en påle med bra ingjutning (Lindgren, Axelsson och Giding, 2012).



Figur 9.21 Mätning med wave-up metoden på en påle med dålig ingjutning (Lindgren, Axelsson och Giding, 2012).

9.4.3.8 Utvärdering av mätdata

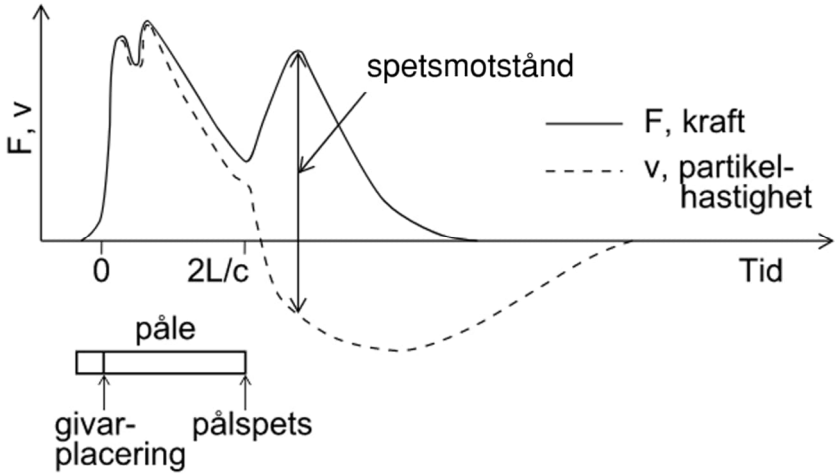
När stötvågen fortplantar sig nedåt längs pålen kommer delar av den nedåtgående vågen att reflekteras på grund av mantelmotstånd och spetsmotstånd. Reflektioner erhålls även i sprickor, skarvglapp och vid areaförändringar. En grov bedömning av pålens funktionssätt kan göras genom tolkning av

kraft- och partikelhastighetskurvornas utseende. Likaså kan man upptäcka och lokalisera skador i pålen genom tolkning av mätkurvorna.

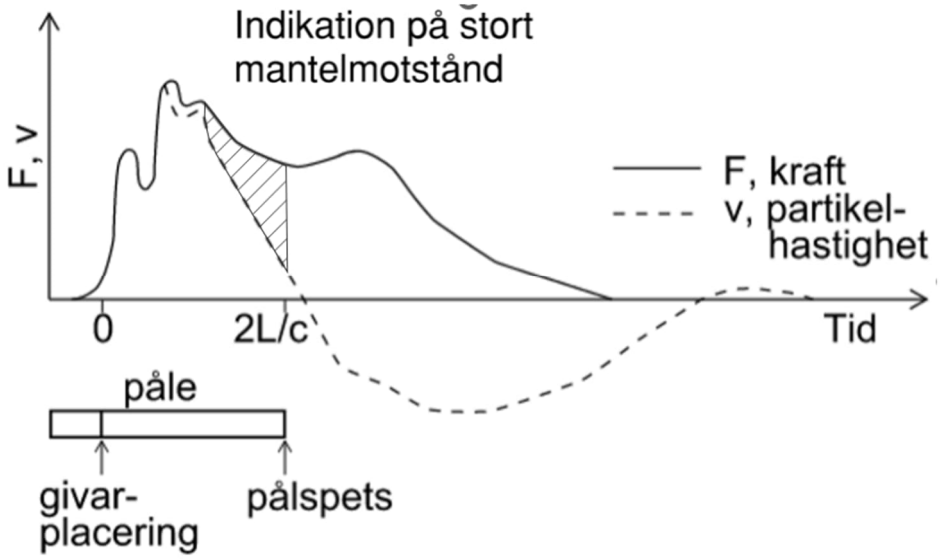
9.4.3.8.1 Spets- och mantelmotstånd

Vid dynamisk provbelastning genom stötvågsmätning kan pålens funktionssätt kontrolleras genom stötvågsmätning. Speciellt vid avvikande förhållanden kan stötvågsmätning användas för kontroll av pålen. Om kraft- och partikelhastighetskurvorna är uppritade i ett gemensamt koordinatsystem och partikelhastigheten är multiplicerad med pålens impedans Z överensstämmer dessa båda kurvor helt med varandra fram till tiden 2L/c, om mantelmotståndet är noll.

Mantelmotstånd ger uppåtriktade tryckreflexvågor som adderas till den nedåtgående vågen, dvs. kraften ökar. Differensen mellan kraft- och partikelhastighetskurvan innan tiden 2L/c ger en uppskattning av pålens mantelmotstånd. I Figur 9.22 är mantelmotståndet litet. Figur 9.23 visar ett fall med stort mantelmotstånd. Spetsmotståndet indikeras av att kraften ökar samtidigt som partikelhastigheten minskar efter tiden 2L/c.

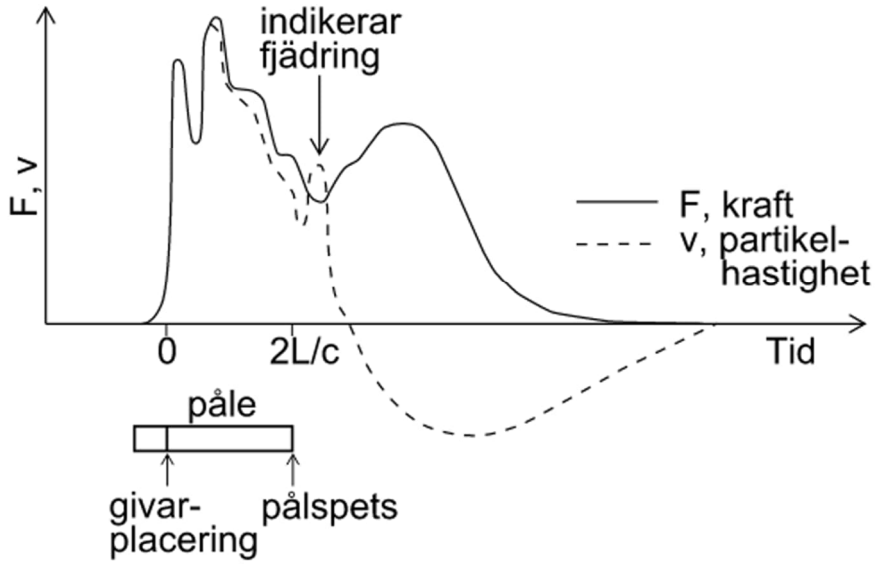


Figur 9.22 Stötvågsmätning vid litet mantelmotstånd längs pålen (Olsson och Holm, 1993).



Figur 9.23 Stötvågsmätning vid stort mantelmotstånd längs pålen (Olsson och Holm, 1993).

Vid fjädring eller glapp vid pålspetsen fördröjs spetsens tryckreflex och föregås av en dragreflexvåg. När dragreflexvågen når mätpunkten (efter tiden 2L/c) ökar den nedåtriktade partikelhastigheten, samtidigt som kraften minskar. Detta är en indikation på att jorden under spetsen fjädrar undan när stötvågen når spetsen. När spetsmotståndet därefter mobiliseras syns detta på mätkurvorna genom att kraften ökar och partikelhastigheten minskar enligt Figur 9.24.



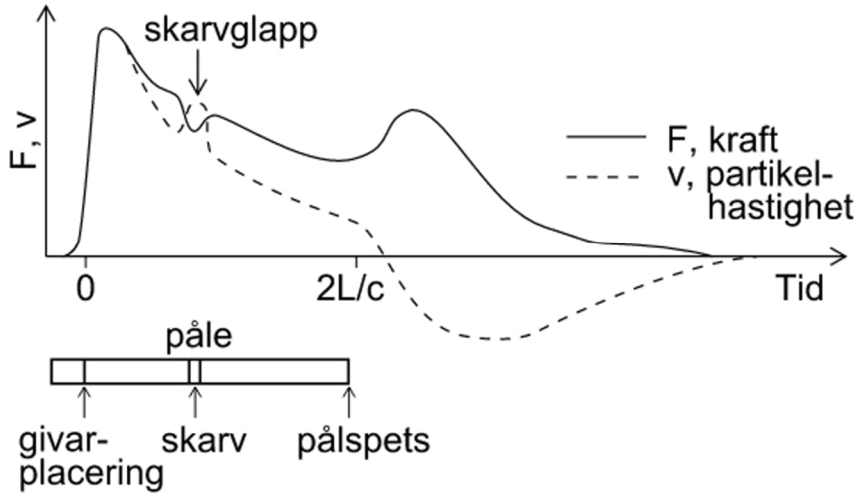
Figur 9.24 Stötvågsmätning med fjädring vid pålspetsen (Olsson och Holm, 1993).

9.4.3.8.2 Integritetskontroll

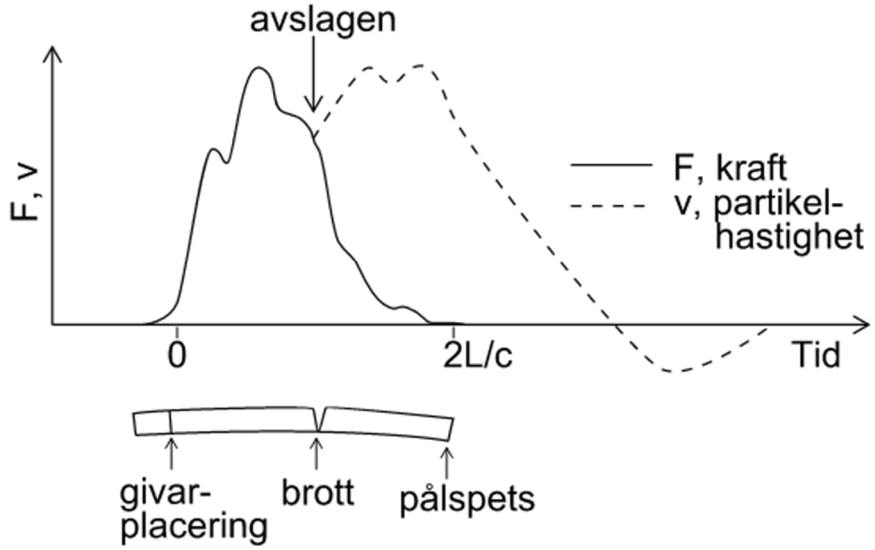
Med en påles integritet menas dess funktionsduglighet. Integritetskontroll utförs genom stötvågsmätning vid ett hejarslag på pålen och innebär kontroll med avseende på skador i pålmaterial och skarvar. När stötvågor utbreder sig längs pålen påverkas de av förändringar i pålen. Reflexvågor uppkommer vid sprickor, skarvglapp eller då pålen är skadad och därmed har minskad area i tvärsnittet. Den reflekterade vågen påverkar såväl kraft- som partikelhastighetskurvan. Kraften minskar och partikelhastigheten ökar, se Figur 9.25. Storleken på påverkan och dess utsträckning i tiden beror på areaförändringens storlek. Tiden för den reflekterade vågen att nå påltoppen beror på avståndet mellan skada och påltopp. Man kan utifrån kraft- och partikelhastighetskurvornas utseende bedöma en skadas storlek och läge.

Då pålen är avslagen fungerar det skadade tvärsnittet som en ny, fri pålände, se Figur 9.26. Partikelhastigheten ökar och kraften minskar innan tiden 2L/c och går i princip ned till noll, dvs. inget svar erhålls från pålens verkliga spets.

Integritetskontroll kan utföras antingen med tung hejare (high strain) eller med lätt hammare (low strain). I det första fallet görs integritetskontrollen i samband med normal stötvågsmätning för bärförmågebestämning.

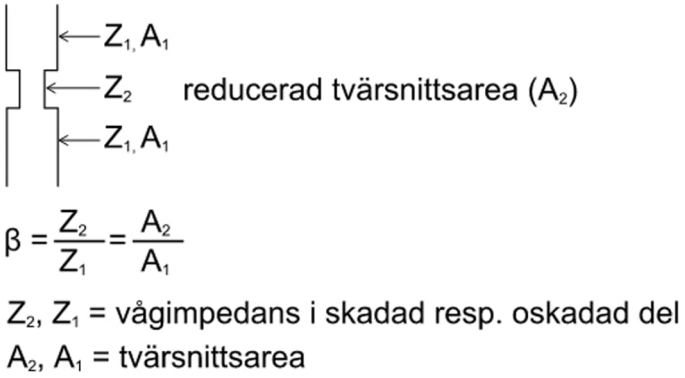


Figur 9.25 Spricka i skarven (Olsson och Holm, 1993).



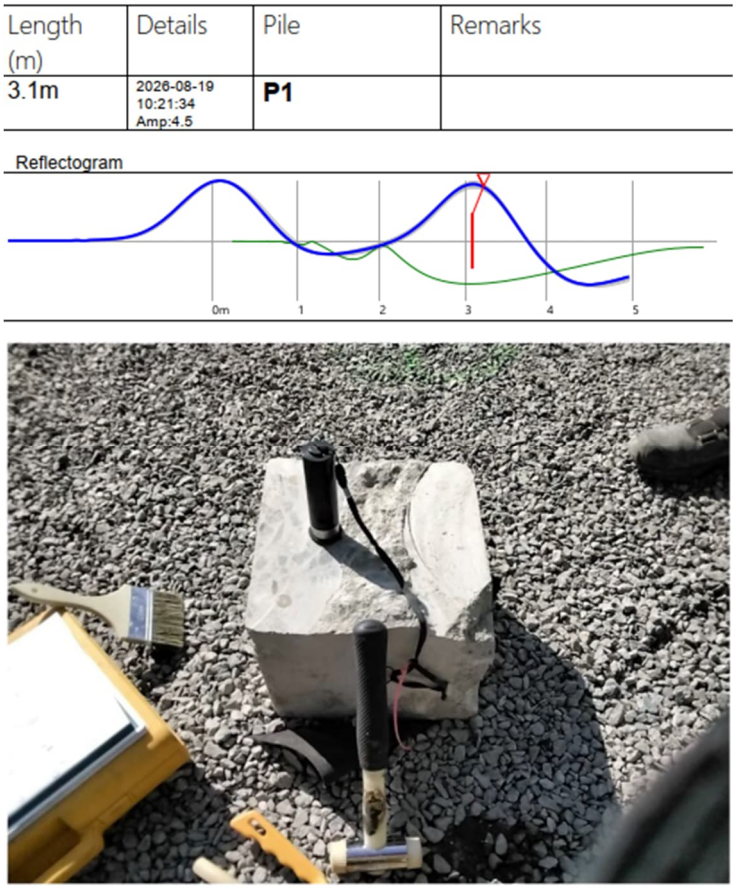
Figur 9.26 Avslagen påle (Olsson och Holm, 1993).

Pålskador kan vid integritetskontroll utförd med tung hejare indelas efter skadegrad. Skadegraden anges med en β-faktor, som ger ett ungefärligt mått på skadans storlek, se Figur 9.27. Normalt krävs att β är större än 0,8 för att pålen ska vara godkänd för full last.



Figur 9.27 Ändrad impedans vid sprickor (Olsson och Holm, 1993).

Vid integritetskontroll med lätt hammare, s.k. PIT, alstras stötvågen av ett slag från exempelvis en handslägga, se Figur 9.28. Stötvågen mäts upp enbart med en accelerometer som hålls mot pålhuvudets ovansida. Metoden är snabb och enkel att utföra. Den indikerar förekomst och läge på sprickor och skador. Det är dock svårare att bestämma storleken på sprickan eller skadan. Mätmetoden lämpar sig främst för grävpålar och oskarvade, slagna betongpålar eftersom stötvågen från en lätt hammare inte kan passera pålskarvar.



Figur 9.28 Exempel på utförande och redovisning av integritetskontroll med handslägga.

9.4.4 Hävdvunna åtgärder

Hävdvunna åtgärder är en metod för verifiering av geoteknisk bärförmåga enligt SS-EN 1997-1:2005 (SIS, 2005). Det innebär att erfarenhetsmässigt låga och säkra värden på bärförmåga används för bestämning av geoteknisk bärförmåga. För pålar har erfarenhetsmässiga värden för stoppslagning tagits fram och redovisats i en mängd normer. Se även kapitel 7, geoteknisk dimensionering.

9.4.4.1 Betongpålar

Erfarenhetsmässiga värden för stoppslagning redovisas i TSFS 2018:57 (Transportstyrelsen, 2018) för pålar, där följande regler gäller för vissa spetsbärande förtillverkade betongpålar:

> *Vid stoppslagning mot berg ska inmejslingen utföras med 300 slag med en fallhöjd på 20 cm och avslutas med tre serier om tio slag med 80 procent av fallhöjden.*
>
> *En påle ska sjunka mindre än 3 mm per slagserie och då godtas att R_d ökas med 10 procent.*
>
> *Om en påle förlängs med en knekt under stoppslagningen bör 0,1 m högre fallhöjd väljas.*
>
> *Den dimensionerande geotekniska bärförmågan för dragkraft i friktionsjord ska sättas till 0 kN om pållängden är 3 m eller kortare, och till 50 kN om pållängden är minst 12 m. För mellanliggande längder godtas rätlinjig interpolering.*

Föreskriven dimensionerande geoteknisk bärförmåga för betongpålar enligt TSFS 2018:57 (Transportstyrelsen, 2018) redovisas i Tabell 9.2 . Notera att verifiering med hög fallhöjd och tung hejare kan skada pålelementet och det rekommenderas att användas försiktigt. Det rekommenderas inte fallhöjder på över 0,45 m för spetsburna pålar på berg, då det riskerar att förstöra pålelementet. Av samma anledning rekommenderas inte heller fallhöjder på över 0,4 m för pålar stoppslagna i jord, respektive 0,3 m för pålar stoppslagna mot berg, för den påltyp som tidigare benämndes SP1 (med tvärsnittsarea 0,055 m^2). Notera att SP1 var armerad med 4 st ø 16mm, SP2 med 8st ø 12 mm samt SP3 8st ø 16 mm. Idag finns pålar med kantmått motsvarande SP1 och SP2/SP3 som är armerade på annat sätt. Det måste tillses att pålen i dessa fall klarar av slagningsarbetet. Se kapitel 6 gällande lasteffekter vid slagning.

Tabell 9.2 Dimensionerande geoteknisk bärförmåga enligt TSFS 2018:57 för stoppslagning av betongpålar med frifallshejare till sjunkning s <=10 mm/10 slag (Transportstyrelsen, 2018).

		Dimensionerande bärförmåga [kN]	
Hejare	**Fallhöjd, m**	**Tvärsnittsarea* [m^2]**	
		0,055	**0,073/0,076**
3 ton	0,3	480	550
	0,4	575	660
	0,5	655	740
4 ton	0,3	540	640
	0,4	645	755
	0,5	720	850
5 ton	0,3	590	680
	0,4	690	825

*Tvärsnittsarea 0,055 m^2 motsvarar kantmått 235 mm. Tvärsnittsarea 0,073 m^2 motsvarar kantmått 270 mm och 0,076 m^2 motsvarar kantmått 275 mm.

Liknande regler finns också publicerade i Pålkommissionens rapport 106 (Pålkommissionen, 2014), baserat på Pålkommissionens Rapport 94 (Pålkommissionen, 1996), vilka är fortsatt gällande om säkerhetsklassen väljs till SK1, se Tabell 9.3 och Tabell 9.4.

Tabell 9.3 Stoppslagning samt dimensionerande geoteknisk bärförmåga R_d i kN för sjunkning 10 mm/10 slag samt 3 mm/10 slag för SP1 pålar. Regler enligt Pålkommissionens rapport 106 (Pålkommissionen, 2014) baserat på Pålkommissionen Rapport 94 (Pålkommissionen, 1996). Understrukna tabellvärden innebär att fallhöjden ska sänkas med 5 cm.

SP1 mm/10 slag	Fallhöjd m	3 ton	4 ton		5 ton	
			L>8 m	L< 8 m	L>8 m	L< 8 m
10 (jord)	0,2	350	410	450	480	550
	0,3	480	540	605	590	605
	0,4	570	640		635	
	0,5	605				
3 (berg)	0,2	385	450	500	530	605
	0,3	525	605	605	640	
	0,4	625				

Tabell 9.4 Stoppslagning samt dimensionerande geoteknisk bärförmåga R_d, i kN för sjunkning 10 mm/10 slag samt 3 mm/10 slag för SP2/SP3 pålar. Regler enligt Pålkommissionens rapport 106 (Pålkommissionen, 2014) baserat på Pålkommissionen Rapport 94 (Pålkommissionen, 1996). Understrukna värden innebär att fallhöjden ska sänkas med 5 cm.

SP2/ SP3 mm/10 slag	Fallhöjd m	3 ton	4 ton	5 ton
10 (jord)	0,2	410	475	500
	0,3	525	620	670
	0,4	630	730	800
	0,5	725	825	850*
3 (berg)	0,2	450	525	550
	0,3	580	680	740
	0,4	690	800	830*
	0,5	800	855*	

*Sänkt fallhöjd för pållängd L<8m.

Om verifiering med hävdvunnen åtgärd utförs genom stoppslagning med annat än en frifallande hejare, där fallhöjden kan garanteras, måste hejaren vara utrustad med energimätare. Omräknade fallhöjder till energi för olika tunga hejare återfinns i Tabell 9.5.

Tabell 9.5 Översättning, slagenergi från fallhöjd och hejarvikt.

Fallhöjd (m)	3 ton	4 ton	5 ton
0,2	5 kNm	6 kNm	8 kNm
0,3	7 kNm	9 kNm	12 kNm
0,4	9 kNm	13 kNm	16 kNm
0,5	12 kNm	16 kNm	20 kNm

9.4.4.2 Stålrörspålar

Hävdvunna värden för stoppslagning av stålrörspålar redovisas i Tabell 9.6.

Tabell 9.6 Dimensionerande geoteknisk bärförmåga i kN vid stoppslagning av slanka stålrörspålar med frifallshejare till sjunkning s = 5 mm/10 slag (Pålkommissionen, 2014).

Påle	F_{stuk} kN (f_{yk}=440 MPa)	R_d kN (0,33 × F_{stuk})	Hejare kN	Fallhöjd i meter vid pållängd			
				5 m	10 m	15 m	30 m
76,1/6,3	608	201	5	0,40	0,45	0,55	0,80
			10	0,20	0,30	0,35	0,45
88,9/6,3	719	237	5	0,50	0,65	0,80	1,10
			10	0,30	0,40	0,45	0,60
114,3/6,3	941	311	10	0,35	0,50	0,60	0,80
			20	0,20	0,30	0,35	0,50
114,3/8,0	1176	388	10	0,45	0,60	0,70	0,95
			20	0,25	0,35	0,40	0,55
139,7/8,0	1456	480	20	0,30	0,45	0,55	0,70
			30	0,20	0,30	0,40	0,55
139,7/10,0	1793	592	20	0,35	0,50	0,60	0,85
			30	0,25	0,40	0,45	0,60
168,3/10,0	2188	722	30	0,35	0,50	0,60	0,80
			40	0,25	0,40	0,50	0,65
168,3/12,5	2692	888	30	0,40	0,55	0,65	0,95
			40	0,30	0,45	0,55	0,70
219,1/10,0	2890	954	30	0,50	0,45	0,85	1,20
			40	0,40	0,55	0,65	0,90
219,1/12,5	3570	1178	30	0,60	0,80	0,95	1,30
			40	0,45	0,65	0,75	1,00

Krav på hejare vid stoppslagning av stålpålar

Stålpålar kan stoppslås antingen med fallhejare eller med snabbslående dubbelverkande hydraul- eller lufthejare, s.k. ”lätta hydraulhejare” eller ”hydraulhammare”. Lufthejare används mycket sparsamt. Det vanligaste är stoppslagning med hydraulhammare i kombination med efterslagning med fallhejare och stötvågsmätning. För exempel på egenskaper/parametrar för olika hydraulhammare, se Tabell 9.7.

- Hejaren ska vara gejderstyrd och slå centriskt på pålarna.
- Hejarens data (slagkolv och slagenergi) ska vara väl dokumenterad och utprovad för de dimensioner på pålar som ska stoppslås. Det ska kontrolleras både att hejaren inte slår för hårt eller för löst. För vissa av de tyngre hydraulhejarna måste slagenergin reduceras för att de ska passa för stoppslagning av pålar. Samtidigt är det inte ovanligt att pålar installeras med för lätta hejare.
- Om stoppslagning för ett objekt enbart görs med ”lätta” hejare ska stoppslagningsreglerna vara verifierade med datorsimulering (WEAP), som visar att hejaren uppfyller ställda krav. Alternativt kan kontrollslagning med en fallhejare utföras.
- Krav på hejarvikter (slagkolvar)
    - Fallhejare: slagkolvvikt > 5 ggr pålvikt/ löpmeter
    - Lufthejare: slagkolvvikt > 3 ggr pålvikt/ löpmeter
    - Hydraulhejare: slagkolvvikt > 2 ggr pålvikt/ löpmeter

Tabell 9.7 Data på olika hydraulhammare enligt specifikation från olika tillverkare (Pålkommissionen 2014).

Hammare	Kolvvikt [kg]	Max slagenergi enligt tillverkare [J]	Max fall-höjd [m][1)]	Spettvikt [kg][2)]	N_{min} [slag/min]	N_{max} [slag/min]
Furukawa:						
HB 3G	9,45	392	4,23	13	550	1450
HB 5G	16,7	686	4,19	23	400	1050
HB 8G	28,6	1079	3,85	40	400	850
HB 10G	47,9	1765	3,76	67	450	1050
HB 15G	68,3	2746	4,10	96	400	900
HB 20G	101,0	4119	4,16	141	400	800
F 5	12,2	710	5,93	17	700	900
F 6	18,2	884	4,95	25	650	1600
F 9	31,0	1305	4,29	43	400	1400
F 12	46,0	2320	5,14	64	450	900
F 19	64,0	3579	5,70	90	400	750
F 22	95,0	4572	4,91	133	360	700
F 35	135,0	6883	5,20	189	320	600
F 45	174,0	8829	5,17	244	300	500
Krupp:						
HM 110	11,8	450	3,89	17	850	1000
HM 200	24,0	800	3,40	34	480	650
HM 700	60,5	2400	4,04	85	400	500
HM 800	93,0	3200	3,51	130	300	600
HM 900	95,0	3850	4,13	133	450	900
HM 2000	135,0	8500	6,42	189	325	585
Atlas Copco:						
TEX 200/250	12,1	565	4,76	17	300	900
TEX 600	22,0	1100	5,10	31	360	720
Tryckluftshejare:						
MKT 5	91	1380	1,55	39		300
MKT 6	181	3460	1,95	91		275
MKT 7	363	5740	1,61	140		225
BSP 500N; MK2	91	1650	1,85	113		330
BSP 600N; MK2	227	4150	1,86	227		250
BSP 700N; MK2	385	6500	1,72	281		225

[1)] Slagenergi omräknad till fallhöjd (W = m*g*h)
[2)] Vikt på spett antagen till 1,4*vikt slagkolv

Fallhöjder vid stoppslagning av stålpålar med frifallshejare varierar normalt mellan cirka 0,3 och 1,0 m. Fallhöjden beror förutom av värdet på geoteknisk bärförmåga helt av relationen mellan hejarens vikt och pålens längd. Korta pålar kan stoppslås med låga fallhöjder medan långa pålar kräver hög fallhöjd.

Räknas slagenergi om till fallhöjder för luft- och hydraulhejare stoppslås stålrörspålar normalt med fallhöjder motsvarande cirka 1,5 – 2,0 m med lufthejare och med fallhöjder motsvarande cirka 4 – 6 m med hydraulhejare. Stålrörspålar med diameter från 76 mm till 220 mm slås med fördel med lätta hydraulhejare med slagkolvikt 2 – 3 ggr pålens vikt per löpmeter. Därefter stötvågsmäts pålar med fallhejare i den omfattning som krävs.

Fördelen med slagning med lätta - snabbslående hydraulhejare är att slagningen går snabbt samt att pålar ofta blir rakare än om de drivs ned och stoppslås med fallhejare.

Nackdelen med lätta hydraulhejare är att pålar kan få stopp i steniga lager. Det är viktigt att tillräckligt tunga slagkolvar används samt att pålar stoppslås till små sjunkningsvärden (normalt s < 5 mm/minut). Vid eventuell osäkerhet i pålstopp ska slagning alltid göras med fallhejare.

För borrade pålar i berg gäller som för slagna pålar till berg att pålarnas geotekniska bärförmåga ska verifieras med stoppslagning. Krav på hejarvikter är samma som för pålar som drivs ned och stoppslås mot berg. Samtliga pålar ska stoppslås för accept.

9.4.5 Provpålning

Provpålning innebär att ett antal pålar (oftast ingående i den färdiga konstruktionen) färdigställs och kontrolleras för att bekräfta att utförandemetodiken är lämplig. Detta innefattar både slagningen eller borrningen, och även verifiering av den geotekniska bärförmågan. Provpålning som del av planering och projektering av pålar redovisas i kapitel 2 och 3. I kapitel 7 redovisas hur resultat från provpålning används för bestämning av geoteknisk bärförmåga.

Som framgår av kapitel 7 har, för okomplicerade projekt med spetsburna pålar och kända pålningsförhållanden, en praxis utvecklats som innebär att provpålning och eventuell produktionskontroll utförs fortlöpande under produktionsskedet. Införandet av kontrollområden, där ett antal pålar testas i varje kontrollområde, har påskyndat denna utveckling. Detta framgå även i författningssamlingarna EKS 12 (Boverket, 2022) och TSFS 2018:57 (Transportstyrelsen, 2018), dvs. nationella föreskrifter och allmänna råd för tillämpning av eurokoderna, inklusive SS-EN 1997:2005 (SIS, 2005). Provpålningen blir för denna typ av projekt ofta något förenklad, men bör i princip utföras enligt beskrivning nedan.

- Provpålningen bör innefatta minst 5 % av totala antalet pålar, men kan ökas för att tillgodoräkna sig en högre geoteknisk bärförmåga. Vid speciella omständigheter, till exempel då den geotekniska undersökningen visar på mycket likartade geotekniska förhållanden, kan man överväga att minska antalet provpålar. Antalet provpålar på en arbetsplats bör dock inte vara färre än 3. Provpålarna fördelas över arbetsplatsen så att ett för hela arbetsplatsen representativt resultat erhålls.

- Provpålningen utförs med den hejare och slagdynekombination som avses att användas för produktionspålningen på den aktuella arbetsplatsen. Om kombinationen ändras utförs en ny provpålning, alternativt en jämförande slagning. Då effektiv pållängd (längdvillkor) föreskrivs i stället för ett stoppsjunkningsvillkor behöver i allmänhet ingen ny provpålning utföras vid ett eventuellt byte av slagningsutrustning.

På provpålarna utförs följande mätningar och analyser:

- Slag/sjunkningsmätning under hela drivningsförloppet.
- Stötvågsmätning vid efterslagning med tillhörande sjunkningsmätning, vanligen tidigast 12 timmar efter avslutad neddrivning. Provpålarnas bärförmåga bestäms enligt CASE-metoden, alternativt med signalmatchning med CAPWAP eller likvärdigt program.

Vid pålar som är till övervägande del mantelburna (friktionspålar) kan signalmatchning med CAPWAP eller likvärdigt program utföras på några representativa pålar för bestämning av den geotekniska bärförmågans fördelning på mantel och för pålar i tryck även på spets.

Detta kan även användas för kalibrering av J_c-faktorn som används vid CASE-utvärdering av övriga provpålar. När pålens sjunkning och fjädring i jorden är liten får J_c-värdet mindre betydelse och kan för spetsburna pålar mot berg eller bottenmorän bestämmas genom försiktigt val baserat på dokumenterad erfarenhet.

Vid pålning i lösa jordlager eller vid övergång från fast jord som överlagrar lösa jordlager finns risk att skadliga dragspänningar uppkommer i pålen om för hög fallhöjd används. Stötvågsmätning kan utföras vid drivning för att kontrollera spänningsnivåerna i pålen, exempelvis då pålspetsen passerar från fasta till lösa jordlager. Slagningsföreskrifter för drivningen kan baseras på resultatet från stötvågsmätningarna.

Provpålarnas geotekniska bärförmåga bör utvärderas av sakkunnig personal. Sakkunnig anses den vara som har god geoteknisk bakgrund och som har genomgått utbildning inom området stötvägsmätning samt regelbundet utfört och utvärderat stötvägsmätningar.

Dimensionerande bärförmåga R_d för pålar beräknas med utgångspunkt från pålarnas karakteristiska bärförmåga R_k, beskrivet i kapitel 7.

Installationsvillkor för produktionspålningen väljs med utgångspunkt från analysen av provningsresultaten och den geotekniska undersökningen. Villkoren bör omfatta stoppsjunkningskrav (största kvarstående sjunkning, hejarvikt, fallhöjd och antal slag vid stoppslagning) och/eller pållängd samt i vissa fall även slagningsföreskrifter för drivningen. Installationsvillkorets värde för största kvarstående sjunkning bör enligt praxis väljas inom intervallet 10 – 30 mm per 10 slag.

Om problem uppstår under produktionspålningen, t.ex. stor bortslagning, stora avvikelser från provpålning eller geoteknisk undersökning bör kompletterande stötvågsmätning utföras för att klargöra installationsvillkorens giltighet.

Nedan redovisas råd på vad respektive del av en provpålning bör innefatta.

Del	Innehåll
Förberedande arbeten	Före provpålning, stoppslagning och stötvågsmätning bör geotekniska förhållanden och slagningsförutsättningar utvärderas enligt följande: • Jordtyper på arbetsplatsen och jordens variationer. • Förväntad tillväxt i bärförmåga mellan drivning och efterslagning. • Tidpunkt när pålen bör provbelastas. • Pålens konstruktiva bärförmåga för kontroll av att pålarna inte överbelastas vid drivning, stoppslagning eller efterslagning. • Beräkning av preliminär längd i jord för mantelburna pålar. • Preliminär stoppslagningsregel som uppfyller ställda krav på geoteknisk bärförmåga för spetsburna pålar. Preliminära stoppslagningsregler bör jämföras med mätresultat vid provpålning. Erforderlig hejarvikt och fallhöjd bedöms. För stoppslagning av stålpålar rekommenderas att hejarvikten för lätta hejare är minst 2 gånger pålens vikt per meter. Detta gäller även för borrade stålrörspålar. Vid dynamisk provning av spetsburna stålpålar bör en hejarvikt på minst 1,5 % av den dimensionerande pållasten och en fallhöjd på 6 - 7 % av pållängden vara tillgänglig, för att kunna verifiera bärförmågan. För korta pålar som slås mot berg kan hejarvikt och fallhöjd vara lägre och för längre pålar (>30m) krävs mer. Datorprogrammet WEAP kan användas för att närmare bedöma erforderlig vikt och fallhöjd. Det kan påpekas att verifiering av bärförmåga för stålpålar med last i Nivå 3 enligt kapitel 7 ställer extra höga krav på att det finns förutsättningar för att hejaren träffar pålen med väl centrerade slag för att inte riskera överbelastning av stålet. Detta innebär exempelvis att stor noggrannhet krävs vid kapning och att det finns möjlighet att justera hejarens lutning och anliggning mot pålen. Hejaren bör kunna styras med hjälp av en gejder. Om stötvågsmätning utförs med givarna placerade på en s.k. mätknekt är detta ännu mer angeläget eftersom det uppstår förluster vid kraftöverföring mellan hejaren och pålen. Arrangemanget försvårar dessutom centreringen av slagen på pålen. Om pålarna är mycket högt belastade kan det vara svårt att verifiera erforderlig bärförmåga om mätknekt används. För stålrörspålar med högt lastutnyttjande avseende gränstillstånd GEO kan ett alternativ vara att öka pålens styvhet genom att pålarna fylls med betong och utföra stötvågsmätning efter att betongen härdat. Det är viktigt att pålarna fylls med betong ända upp till överkanten. Vid stötvågsmätning av betongfyllda stålrörspålar är det risk för att samverkan mellan stål och betong minskar i övre delen av pålen, vilket bör beaktas om betongen har en lastbärande funktion för gränstillstånd STR. Provpålarna bör märkas upp varje meter (om inte antal slag per meter sjunkning registreras automatiskt av pålkranen).

Del	Innehåll
Utförande av provpålning	Provpålarna slagräknas under hela drivningen. Antalet slag mot pålsjunkning (slag/m eller slag/0,2 m) samt fallhöjd dokumenteras. Stötvågsmätning utförs från den nivå där jordens hållfasthet är av intresse för upprättande av stoppslagningsregler. Om spänningar i pålen under drivningen är av intresse utförs stötvågsmätning vid relevanta nivåer eller hellre som en kontinuerlig mätning under hela drivningsförloppet. Vid "stoppslagning" mäts bärförmågan vid olika sjunkningsvärden. Den geotekniska bärförmågan bedöms med ledning av resultat av beräknat och verifierat stoppslagningskrav. En påle slagen i mäktiga lager av fast jord visar vanligen en betydande tillväxt i bärförmåga med tiden. Större delen av denna tillväxt beror på att mantelmotståndet ökar efter att ha blivit stört vid pålens neddrivning, se kapitel 7 för ytterligare information.
Efterslagning	Stötvågsmätning vid efterslagning av pålarna kan göras, dels för kontroll av att falska stopp inte föreligger, dels för bedömning av tillväxt i geoteknisk bärförmåga. Pålarna bör efterslås tidigast 12 timmar efter neddrivning. För pålar som slås i siltiga jordar kan det krävas längre tid mellan installation och provning. Om tillväxten i bärförmåga ska kunna tillgodoräknas, krävs att tidpunkten för efterslagningen anpassas till jordtypen. Påle slagen i grovkorniga jordar (grus/sand) efterslås lämpligen 1–10 dagar efter neddrivningen. Påle slagen i finkorniga jordar (silt/lera) efterslås lämpligen 1 - 4 veckor efter neddrivningen. För att erhålla en säkrare tillväxtprognos på den geotekniska bärförmågan bör mätningar utföras vid mer än två tillfällen.
Utvärdering av bärförmåga	Bärförmågan bör bestämmas genom utvärdering av stötvågsförlopp, där både kraft och partikelhastighet registreras, se kapitel 7 och avsnitt 9.4.3. Vid utvärderingen beaktas de geotekniska förhållandena. Utvärdering görs av erfaren personal som är välutbildad med avseende på stötvågsteori och stötvågsmätningar och har ett gott geotekniskt kunnande. Pålars bärförmåga kan för huvudsakligen spetsburna pålar utvärderas med enbart CASE-metoden med lämpligt vald jorddämpning (J_c-faktor). Alternativt kan signalmatchning utföras av stötvågen enligt datorprogram CAPWAP eller likvärdigt. Signalmatchning bör användas för kontroll av mätresultat och kontroll av CASE-metodens J_c-faktor om: • Pålarna uppvisar stor andel mantelmotstånd. • Pålarna ska belastas i drag. • Stora sjunkningar förekommer, där sjunkning s > D/50 mm per slag vid slagning med frifallshejare eller s > 20 mm/minut vid slagning med tryckluftshejare. • Pålarna har varierande tvärsnitt och impedans. • Pålarnas funktion i jord eller mätresultatet avviker från förväntade förhållanden.

Del	Innehåll
Utvärdering av bärförmåga (forts)	Rekommenderad mängd CAPWAP-analyser är vanligtvis 20–40 % av de mätta pålarna, dock minst 2 st. Om korrelationen är godtagbar kan man tillgodoräkna sig de övriga CASE-utvärderade pålarna som om även de är signalmatchade. Därmed kan en lägre totalsäkerhet användas (lägre modellfaktor). Se kapitel 7. CAPWAP-analys är oftast inte nödvändig för spetsbärande pålar som slås genom lös lera ned till fast morän. För pålar genom lösa jordlager med stopp mot berg är både J_c-faktor och CAPWAP-analys ointressant. För mantelburna pålar i ler- och siltjord, eller där stor variation råder i bärförmåga, pållängd, pålningsförhållanden etc., kan däremot fler CAPWAP-analyser än 20–40 % vara motiverat.
Utvärdering av stoppslagningskriterium/nedslagningsdjup	För huvudsakligen spetsburna pålar upprättas objektspecifikt stoppslagningskriterium, med beaktande av: • Stoppslagning vid drivning. • Tillväxt i bärförmåga. • Eventuella påhängslaster från negativ mantelfriktion. • Att pålen inte skadas av slagningen. • Variationer avseende geotekniska förhållanden, pållängder samt hejarens effektivitet. Sjunkningsvärden vid stoppslagning bör normalt väljas inom intervallet: s = 5 – 30 mm/10 slag vid slagning med fallhejare. s = 5 – 30 mm/minut vid slagning med luftshejare eller hydraulhammare. För mantelburna pålar kan stoppslagningsregel kombineras med eller ersättas av ett nedslagningsdjup. För bestämning av vilken pållängd i jord som uppfyller ställda krav på geoteknisk bärförmåga redovisas mantelmotstånd per längdenhet (ofta 1 eller 2 m) och totalt mantelmotstånd mot pålspetsdjup. Fördelningen av mantelbärförmåga längs pålen jämförs med resultat från geoteknisk undersökning för kontroll av att analyserat slag representerar jordförhållandena. Analys utförs på representativa pålar för att säkerställa att jordens eventuella variation beaktas. Val av pållängd för objektet blir en sammanvägning av resultat från: • Geoteknisk bedömning. • Egenskaper vid drivning. • Egenskaper vid efterslagning.

Del	Innehåll
Produktionskontroll av pålar	För verifiering av att pålar, installerade enligt anvisningarna från provpålningen, uppfyller ställda krav kan stötvågsmätningar utföras i form av produktionskontroll, se 9.5.2. Produktionskontroll omfattar följande: • Att pålarna fungerar i jord motsvarande provpålarna. • Att bärförmågan uppfyller ställda krav. • Att pålarna inte är skadade (integritetskontroll). Om pålarna inte uppfyller ställda krav, görs kompletterande utredning av pålningen. Produktionskontrollen bör utföras av personal som är speciellt utbildad i stötvågsmätteknik och som kontinuerligt arbetar med stötvågsmätningar.
Utvärdering av produktionskontroll	En påles bärförmåga utvärderas normalt enligt CASE-metoden med J_c-värde enligt provpålning. Integritetskontrollen av pålar, enligt stötvågsmätning med kraft- och hastighetskurvor, bör visa att pålarna är funktionsdugliga.
Integritetskontroll	Med en påles integritet avses dess funktionsduglighet. Integritetskontroll genom stötvågsmätning utförs vid ett hejarslag på pålen och innebär kontroll med avseende på skador i pålmaterial eller skarvar. Integritetskontroll kan utföras antingen med tung hejare (high strain) för såväl stål- som betongpålar eller med lätt hejare (low strain) för betongpålar. Integritetskontroll med tung hejare görs i samband med en normal stötvågsmätning för bestämning av bärförmåga. Vid integritetskontroll med lätt hejare alstras stötvågen i pålen via ett slag till exempel med en handslägga. Metoden är både snabb och enkel och indikerar förekomst och läge på sprickor och andra skador. Metoden ger dock normalt en avsevärt sämre bestämning av skadegrad än vid användning av tung hejare. Integritetskontroll med lätt hejare godtas endast för oskarvad påle eftersom stötvågen normalt inte klarar att passera en skarv. Överslagsmässigt kan metoden användas för en pållängd av cirka 30 gånger pålens tvärsnittsmått (kantmått eller diameter). Pålar kan vid en integritetskontroll indelas efter skadegrad (β-faktor) enligt Pålkommissionens rapport 89 (Pålkommissionen, 1992). Ett riktmärke är att β-faktorn bör vara större än 0,8 för att pålarna ska kunna godtas för full last, men eftersom slakarmerade betongpålar innehåller såväl skarvar som sprickor bör detta bedömas från fall till fall för denna påltyp. Om en gradvis reducerad styvhet konstateras för en betongpåle som testas strax efter slagningen är uppföljande mätningar intressanta eftersom betongsprickor kan ”läkas ihop” med tiden.

Del	Innehåll
Provpålning med statisk provbelastning	Statisk provbelastning utförs ibland i Sverige. I avsnitt 9.4.2 ges information om utförande och tolkning av resultat. Statisk provbelastning kan utföras för såväl tryck som drag. Vid tryckbelastning, som utförs relativt sällan i Sverige, används ofta mothållspålar som slagits runt pålen som ska provbelastas. Vid provbelastningen placeras ett balksystem mellan mothållspålarna vilka då dragbelastas medan provpålen tryckbelastas med hjälp av domkraft. Ett annat alternativ är att arrangera mothållsvikter på ett balksystem ovanpå pålen och tryckbelasta med domkraft. För grävpålar finns möjlighet att utvärdera pålens spets- och mantelbärförmåga genom att installera en eller flera så kallade Osterberg-celler på lämplig nivå i pålen. Eventuell armeringskorg förses därvid med en överlappande skarv i samma tvärsnitt. Pålen kan sedan fortsatt användas som produktionspåle. Dragprovning utförs för att påvisa storleken på mantelbärförmågan hos exempelvis ingjutna stålkärnepålar och för borrade injekterade pålar, exempelvis Titanpålar eller MAI-stag. Det är tillåtet att påvisa trycklast på samma sätt. För injekterade pålar bör man vara mycket uppmärksam på knäckningsproblematiken, då pålarna kan vara mycket slanka. Om man enbart utsätter pålarna för en dragkraft kan man, trots en påvisad geoteknisk bärförmåga, missa att pålarna egentligen skulle ha knäckt i det tryckta lastfall som pålarna egentligen utsätts för. Utföraren bör också vara uppmärksam på att själva provningsförfarandet brukar vara det dimensionerande lastfallet. Det är lätt att utgå ifrån pålens sträcklast och dimensionera dragbärförmågan efter den, men vid provningen räcker sällan en säkerhetsfaktor på 1,0. Ofta vill man inte heller belasta staget/pålen ända upp till sträckgränsen, utan ha en liten marginal, vilket ytterligare bidrar till problematiken.

9.4.5.1 Riktlinjer för dokumentation av provpålning

Omfattningen av provpålning och eventuell produktionskontroll kan variera beroende på hur komplext ett pålningsprojekt är. Det innebär att även omfattningen av redovisningen kan variera, men bör i huvudsak utföras enligt beskrivning nedan. För övrig dokumentation av pålningsarbeten såsom pålprotokoll hänvisas till AMA Anläggning 23 (Svensk Byggtjänst, 2023).

9.4.5.1.1 Provpålning med statisk provbelastning

Krav på dokumentation anges i SS-EN ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018a) och SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023). Detta kan kompletteras med generella anvisningar på provbelastningen:

- Detaljerad beskrivning av jordlagerföljden.
- Bedömning av injekteringen (vid injekteringspålar), dvs. om det finns stora mängder injektering i jorden som påverkar lastfördelningen i pålen, speciellt intill markytan vilket ger liten deformation vid provbelastningen.

9.4.5.1.2 Provpålning med dynamisk provbelastning (stötvågsmätning)

Krav enligt utförandestandard redovisas i SS-EN ISO 22477-4:2018 (SIS, 2018b). Nedan ges förslag på kompletterande dokumentation.

Resultat från provpålning och efterslagning redovisas i en provpålningsrapport på sådant sätt att variationer i slagningsbetingelser kan observeras. Rapporten bör utformas så att personer med ringa kunskap om stötvågsmätning kan förstå rapportens innehåll och de slutsatser som ligger till grund för upprättandet av regler för pålslagningen.

Till provpålningsrapporten kan en kontrollplan kopplas som bland annat anger mängden pålar som bör omfattas av produktionskontroll, gränsvärden för bärförmåga, pållängd och stoppslagssjunkning, samt åtgärder när kraven inte uppfylls.

En provpålningsrapport bör redovisa:

- Beställare.
- En beskrivning över objektet.
- Vem som utfört statisk eller dynamisk provbelastning och analys.
- Information om geotekniska förhållanden alternativt hänvisning till geoteknisk utredning.
- Hur pålarna förväntas fungera i jord.
- Hejare och páltyper samt laster på pålar.
- Antal slag/0,2 m sjunkning, totalt antal slag, fallhöjd samt uppmätt bärförmåga mot spetsens nivå i diagram eller tabell.
- Representativa stötvågskurvor med analys av alla stötvågstestade pålar.
- Omfattning av stötvågsmätningen, hur denna lagts upp, hur stötvågsresultatet överensstämmer med geotekniska förhållanden, samt slutsatser gällande regler för stoppslagning.
- Beräkning av geoteknisk bärförmåga.
- Eventuellt behov av produktionskontroll.

Redovisning av provpålningen bör omfatta följande punkter:

- Slagningsanvisningar avseende stoppslagningsvillkor eller effektiva pållängder. I vissa fall anges även slagningsanvisningar för neddrivningen av produktionspålarna.
- Slag/sjunkningsdata anges i slag per 20 cm sjunkning som funktion av pålspetsens djup under referensnivå (i regel markytan).
- Resultat av stötvågsmätningen från efterslagning redovisas i form av kraft- och partikelhastighetskurvor och utvärderad bärförmåga för samtliga provpålar.
- Resultat från signalmatchning eller annan dokumentation som bekräftar tillämpbarheten för använda värden på J_c-faktorn. Last-deformationskurvor redovisas som underlag för dimensionering i bruksgränstillstånd.

9.4.5.1.3 Provpålning med statisk provbelastning av dragförankringar

Krav på dokumentation anges i SS-EN ISO 22477-5:2018 (SIS, 2018c).

9.5 PRODUKTIONSKONTROLL AV GEOTEKNISK BÄRFÖRMÅGA

9.5.1 Allmänt

Nedan redovisas förslag på produktionskontroll av geoteknisk bärförmåga.

Del	Kontroll
Föreskriven verifierings- och kontrollmetod	Då den geotekniska bärförmågan verifieras genom stötvågsmätningar bör förutsättningarna för verifieringsmetoden kontrolleras, samt att de följer SS-EN 1997-1:2005 (SIS, 2005) och Boverkets konstruktionsregler, EKS 12 (Boverket, 2022).
Omfattning för kontroll	Föreskrivet antal pålar kontrolleras. Detta kan specificeras av beställare eller väljas av entreprenör beroende på bygghandlingarna. Samtliga pålar ska stoppslås till korrekt angivet kriterie.
Dokumentation	Rapport från produktionskontroll av geoteknisk bärförmåga bör innehålla uppgifter om: • Använd metod. • Omfattning. • Vem som utfört mätningarna och när de utförts. • Vilka pålar som kontrollerats. • Typiska kraft- och hastighetskurvor vid dynamisk provbelastning, se avsnitt 9.4. • Verifierad geoteknisk bärförmåga för samtliga pålar. • Resultat av integritetskontroll om tillgänglig. • Reviderade stoppslagnings- eller längdvillkor. • Kompletterande drivning av pålar, kompletterande pålar.

9.5.2 Produktionskontroll med provbelastning

Nedan ges förslag på situationer där produktionskontroll med provbelastning rekommenderas. Listan är inte fullständig och det kan finnas många fler orsaker att utföra produktionskontroll. Det är lämpligt att efter utförd provpålning besluta vilken omfattning och typ av produktionskontroll som bör göras. Observationer under produktionen kan sedan leda till ändring av detta beslut, speciellt i jordlagerföljder med stor heterogenitet.

Del	Kontroll
Små förändringar av påldimension	Förnyad provpålning är inte alltid nödvändig vid mindre förändringar i pålens tvärsnittsarea eller påldiameter. Däremot bör man verifiera stoppslagningskriteriet och att det råder god korrelation avseende bärförmåga mellan påldimensionerna. För stålpålar på berg med liten permanent sjunkning och där bärförmågan inte mobiliseras under provbelastningen kan skillnad i kvot mellan största och minsta tvärsnittsarea upp till det dubbla accepteras. Vid större förändringar rekommenderas förnyad provpålning.
Vid falska pålstopp	Detta innebär att stoppsjunkningen ökar vid efterslagning en viss tid efter stoppslagningen. Efterslagning bör genomföras minst 12 timmar efter stoppslagningen. Kontroll av falska pålstopp bör även göras genom kontroll av sjunkningen under samma betingelser som under stoppslagningen. Fjädringsmätning kan också ge indikation om falska stopp.
Lokalt släntberg med liten överliggande tjocklek av stabiliserande friktionsjord	Utökning av provbelastning med produktionskontroll genomförs för att säkerställa att pålspetsen erhållit tillräckligt fäste.
Blockig jord	Blockig jord, där risk finns för bortslagning eller där stoppslagningen är osäker. Block i en fast bottenmorän är oftast inget stort problem eftersom omgivande jord är stabiliserande.
Kraftigt varierande geotekniska förutsättningar	Föreligger kraftigt varierande geotekniska förutsättningar med dålig geologisk överblick av området finns risk att provpålarna inte ger en fullständig bild av förutsättningarna för pålningsarbetena. En indikation på detta kan vara att provpålarna uppvisar en stor spridning i geoteknisk bärförmåga eller att det är stor skillnad i hur pålarna uppför sig under installationen, t.ex. en stor skillnad i antalet slag.
Hävning och förlorad spetsbärförmåga	Hävning och förlorad spetsbärförmåga orsakad av slagning av intilliggande pålar. Detta kan även kontrolleras genom inmätning av pålarna.
Pålgruppseffekter	Pålgruppseffekter innebär påverkan på intilliggande pålar vid slagning av pålar i grupp. Huvudsakligen beroende på packningseffekter eller förändring av effektivspänningen i jorden under kort (portryckshöjning) respektive lång tid.

Del	Kontroll
Hög geoteknisk bärförmåga	Vid utnyttjande av en hög geoteknisk bärförmåga, där lokal erfarenhet saknas eller är liten. Exempel på högt utnyttjande av jordens hållfasthet är mer än 20 MPa eller 25 MPa spetsmotstånd i en siltig respektive grovkornig morän eller mer än 100 kPa mantelmotstånd i en friktionsjord.
Vid byte av installationsutrustning	Det ska verifieras att den nya utrustningen har likvärdig effektivitet och ger motsvarande stoppkriterium.
In-situ tillverkade pålar	Denna typ av pålar, t.ex. grävpålar, kan uppvisa en större spridning i konstruktiv och geoteknisk kvalitet än förtillverkade pålar.
Kontroll av spänningar under neddrivning och stoppslagning	Ett högre utnyttjande av pålens bärförmåga kan användas om spänningarna kontrolleras.
Hög utnyttjandegrad med avseende på pålarnas konstruktiva bärförmåga eller en osäkerhet i pålens funktion	Detta kan härstamma ifrån t.ex. glapp i skarvar, skador hos betongpålar eller krokighet hos stålpålar.

Kopplat till ovanstående situationer rekommenderas omfattning och specifikation på åtgärder enligt Tabell 9.8.

Den högre andelen som föreslås i Tabell 9.8 bör användas för små objekt med totalt sett ett relativt fåtal pålar. För att få tillräcklig information om pålningsförhållandena bör en produktionskontroll inte understiga fyra pålar, hur litet objektet än är. Mängden kontrollerade produktionspålar kan väljas på basis av ett eller flera av följande alternativ:

- En procentuell andel av slagna pålar.
- Ett minsta avstånd mellan provade pålar. Lämpligt om syftet är att verifiera de geotekniska förhållandena inom området.
- Ett bestämt antal pålar, t.ex. en påle i varje pålgrupp.
- Vissa specifika pålar, t.ex. de högst belastade pålarna eller den först slagna pålen i en pålgrupp.

Om flera situationer är tillämpliga i ett projekt väljs den andel som ger flest antal testade pålar, procentandelar enligt Tabell 9.8 behöver alltså inte adderas ihop.

Tabell 9.8 Förslag på omfattning hos produktionskontroll genom stötvågsmätning (Pålkommissionen, 2014).

Kontrollsituation	Andel, %	Minsta avstånd	Antal pålar	Specificerade pålar
Små förändringar av påldimension			≥ 3 st	
Vid falska pålstopp	10-25	10-20m		
Lokalt sluttande berg	10-25			
Blockig jord	10-25			
Kraftigt varierande geotekniska förutsättningar		<5-15m		
Hävning och förlorad spetsbärförmåga	5-10		Minst en per pålgrupp	T.ex. den första slagna pålen i gruppen
Pålgruppseffekter, d.v.s. påverkan på närliggande pålar vid slagning av pålar i grupp	5-10			
Vid nyttjande av en hög geoteknisk bärförmåga	5-10			
Vid byte av installationsutrustning			≥ 3 st	
In-situ tillverkade pålar	10-25			
Kontroll av spänningar under neddrivning och stoppslagning	5-10			
Hög utnyttjandegrad med avseende på pålarnas konstruktiva bärförmåga	10-20			Pålar i Nivå 3

9.6 ÖVRIGA KONTROLLMETODER

9.6.1 Allmänt

I många situationer kan provbelastning kompletteras med andra kontrollmetoder. Några av dessa visas i tabell nedan. En eller flera av dessa kontrollmetoder kan användas tillsammans med stötvågsmätning för att få en hög och kostnadseffektiv kontroll och för att optimera pålningsarbetet.

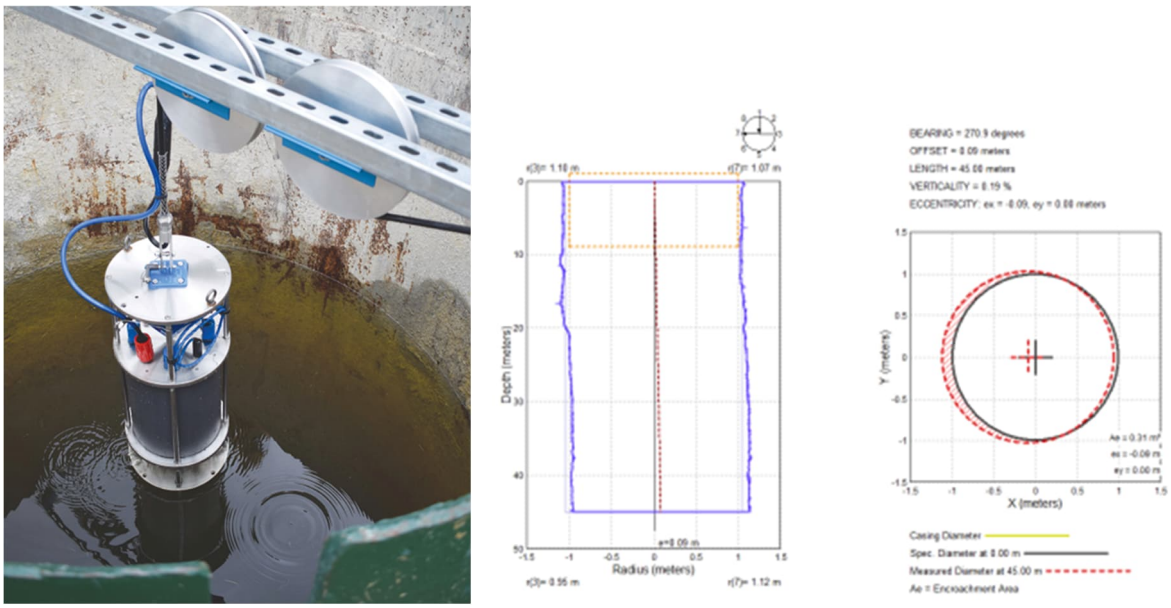
Del	**Kontroll**
Sjunkning vid slagning	Slagräkning är speciellt användbar vid både provpålning och som produktionskontroll av friktionspålar. Plötsliga förändringar i antalet slag per meter eller i det totala antalet slag kan t.ex. indikera bortslagning, packningseffekter eller förändringar i de geotekniska förutsättningarna. På grund av mantelfriktionen är det ofta svårt att särskilja en bortslagning av en påle med de naturliga variationerna i drivningsmotstånd som förekommer i en friktionsjord. En slagräkning utförs normalt per 0,2 m sjunkning och hejarens fallhöjd/energi noteras. I lösare lager kan man istället räkna antalet slag per meter. Det är viktigt att notera avvikelser och avbrott i arbetet. Det rekommenderas att slagräkning utförs som en produktionskontroll för samtliga friktionspålar. Detta kan utgöra ett mycket värdefullt underlag för att korrekt kunna dela in arbetsområdet i kontrollområden, för att verifiera att produktionspålarna beter sig på samma sätt som provpålarna och för att dokumentera eventuella problemområden.
Slag- sjunknings-mätning/Stopp-slagning	Sjunkningsmätning är en metod som i första hand används för att verifiera bärförmågan hos spetsburna pålar i samband med stoppslagning. Vanligtvis mäts den permanenta sjunkningen för 10 slag (talja) för en viss fallvikt och fallhöjd. Metoden kan i vissa fall även vara användbar för friktionspålar om man korrelerar stoppsjunkningen vid den aktuella arbetsplatsen till en viss bärförmåga bestämd genom stötvågsmätning. Man kan sedan även utnyttja WEAP-analys för att undersöka bärförmågan för andra sjunkningsvärden eller för att ta fram nya stoppsjunkningsvärden för andra kombinationer av hejarvikt och fallhöjd.
Anslagshastighet	Kontinuerlig registrering av hejarens anslagshastighet (slagenergi).
Integritetskontroll	(PIT) Integritetskontroll (eng. low strain testing). Detektering och bestämning av läge för eventuella skador för oskarvade betongpålar, se 9.4.3.8.2.
Fjädringsmätning	Utförs för att upptäcka vekare pålar, kraftigt krökta pålar eller förhöjda portryck. Innebär att pålens totala sammantryckning under slagning registreras, dvs. pålens elastiska sammantryckning och den permanenta sjunkningen efter slagning.
Precisionsinmätning	Precisionsinmätning av pålar och punkter på markytan för att kontrollera sättning, hävning eller horisontalförskjutning. Detta avser både mätning i höjd och mätning i plan.

Del	Kontroll
Borrade pålar	Automatisk registrering av olika installationsparametrar för borrade pålar.
Portrycksmätare i marken	Portrycksgivare i marken används för kontroll av förhöjda portryck som kan indikera för låg bärförmåga hos pålar eller stabilitetsproblem i omgivningen.
Inklinometermätning i jord	Mätning av massförskjutning som kan indikera hävning och stabilitetsproblem i omgivningen. Mätningen kan också användas för att kvantifiera befintliga pålars påtvingade krökning på grund av exempelvis massförskjutning och därmed påverkad konstruktiv bärförmåga.
Rakhetsmätning av påle	Rakhetskontroll genom tolkning eller inklinometermätning kan utföras i stålrörspålar enligt 9.3.4. Observera att en sådan kontroll endast verifierar eller ligger till grund för bestämning av den strukturella/konstruktiva bärförmågan (STR) hos pålen, se vidare kapitel 5 och 6. Sådana kontroller kan också utföras i betongpålar, men bygger då på att ett rör gjutits in på förhand. På samma sätt som i jord (se ovan) kan mätning med inklinometer inuti en påle också kvantifiera befintliga pålars påtvingade krökning. Om pålens styvhet anpassas till de befintliga pålarnas, kan beteendet efterliknas bättre än för mätningar i enbart omkringliggande jord.

9.6.2 Kontrollmetoder för grävpålar

9.6.2.1 SHAPE-mätning, Shaft Area Profile Evaluator

Metoden finns för vätskefyllda (ultraljud) och torra (LIDAR) hål, samt med kabel för realtidsmätning. Mätning kan göras i 360°och presentation i 2D och 3D. Med metoden kan man utvärdera hur hålet ser ut innan gjutning och kontrollera eventuella avvikelser. Se Figur 9.29.



Figur 9.29 S.k. SHAPE-mätning i vatten med typiska resultatredovisningar.

9.6.2.2 Cross-hole sonic logging, sonometrisk mätning, CSL.

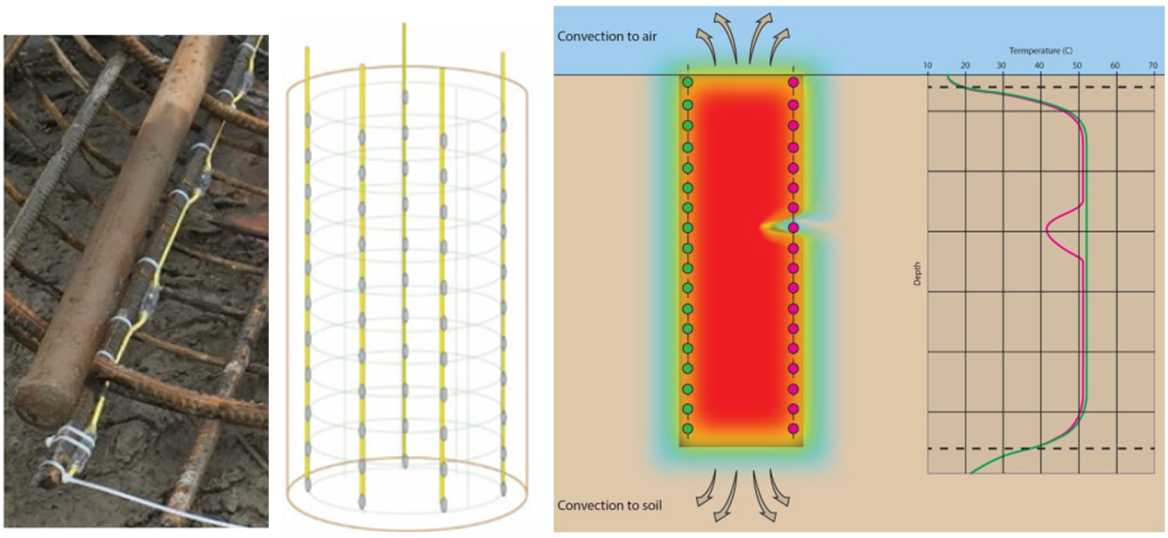
Metoden används i en färdiggjuten påle för att utvärdera kvaliteten på den härdade betongen. Denna metod kan inte utvärdera något utanför armeringskorgen, eftersom rören är inknutna i korgen. Principerna för metoden visas i Figur 9.30



Figur 9.30 Cross-hole Sonic Logging.

9.6.2.3 Thermal Integrity Profiling, TIP.

Med metoden mäts värmeutveckling för den gjutna betongen under härdningsförloppet via i armeringskorgen installerade kablar, se Figur 9.31. Hela pålens tvärsnitt kan utvärderas, dvs. också betongen utanför kablarna i korgen. I nedanstående Figur 9.31 och Figur 9.32 redovisas ett exempel på en gjuten påle. En diskrepans framgår i resultatredovisningen och en uppföljande kärnprovtagning bekräftar problemet enligt foto i Figur 9.32.



Figur 9.31 TIP, med kabel i armeringskorgen, typiskt arrangemang av mätare och en resultatredovisning.



Figur 9.32 Uppföljning med kärnborrning av resultatredovisning enligt Figur 9.31.

9.6.2.4 Besiktning av borrhålsbotten med SQUID

Med metoden belastas borrhålets botten i flera punkter av oberoende plattor för mätning av bärighet, se Figur 9.33. Med hjälp av metoden kan svårigheter med videofilmning av botten undvikas. Metoden kan användas både i vattenfyllt och torrt borrhål.



Figur 9.33 SQUID med tre separata plattor för belastningsförsök.

9.7 KONTROLLPROGRAM FÖR OMGIVNINGSPÅVERKAN

9.7.1 Allmänt

Vid pålningsarbeten kan omgivningspåverkan ske, vilket redovisas i detalj i kapitel 10. Beskrivning av hur detta bör hanteras i planering och projektering redovisas i kapitel 2, underlag för projektering och kapitel 3, projektering. Omgivningspåverkan kan innefatta:

- Vibrationer i mark och byggnader.
- Grundvattenpåverkan och portrycksförändringar i mark.
- Deformationer i mark.
- Spridning av föroreningar.
- Buller.

Kontrollmätningar genomförs för att dokumentera att arbetena uppfyller givna krav samt för dokumentation mot beställare och för beställare mot tredje man.

Detta redovisas oftast i ett kontrollprogram, där följande bör ingå:

- Vad som bör kontrollmätas.
- Krav på omgivningspåverkan.
- Krav på mätning.
- Omfattning av mätning (antal mätpunkter och hur ofta dessa bör mätas).
- Åtgärder vid överträdande av gränsvärden.

9.7.2 Krav på kontrollmätningar

Kontrollmätningar kan ingå i entreprenadarbeten som en kontroll mot beställare eller tredje man, men kan i vissa fall ingå som ett villkor för entreprenadarbetena. Kraven kan komma från tillsynsmyndigheter och domstolar eller som hantering av ansvar mot tredje man enligt miljödom.

Tillsynsmyndigheter och domstolar innefattar:

- Mark- och miljödomstolen.
- Länsstyrelsen.

Hantering mot tredje man kan innefatta:

- Byggnader i omgivningen.
- Trafikverket eller myndighet som har infrastruktur i närheten.
- Ledningar.
- Vattenskyddsområden.
- Vibrationskänsliga konstruktioner.

9.7.3 Framtagning av kontrollprogram

De krav som bör ingå i ett kontrollprogram tas fram av byggherre, alternativt av entreprenör i totalentreprenad. Kontrollprogrammet redovisas i förfrågningsunderlag, antingen som ett samlat kontrollprogram eller med krav på mätning och restriktioner för respektive arbetsmoment. Detta kan ske antingen som ett krav på arbetsutförandet eller som mätbart krav på omgivningspåverkan. Kontrollåtgärderna i förfrågningsunderlaget bör vara kalkylerbara. Se även kapitel 4, upphandling.

9.7.3.1 Krav för kontrollprogram

Kraven för kontrollprogram omfattar:

- Krav på mätmetod.
- Placering av mätpunkter.
- Omfattning av mätning (mätfrekvens).
- Gränsvärden.
- Åtgärder vid uppnått gränsvärde.

Kraven diskuteras nedan, och beror till stor del på om det rör sig om en utförandeentreprenad eller totalentreprenad.

9.7.3.2 Hantering av kontrollprogram i förfrågningsunderlag

I förfrågningsunderlag bör kontrollprogram eller kraven på kontrollprogram ingå. Hur kontrollprogrammet utformas är beroende på entreprenadformen:

- I utförandeentreprenader är det beställarens ansvar att de projekterade handlingarna går att utföra och anslutande kontrollprogram måste därför ha gränsvärden som inte överskrids med arbetsmetodik som motsvarar något slags praxis. Beställaren bör även redovisa åtgärder i förfrågningsunderlag om gränsvärden överskrids. Eventuella åtgärder och tidsfördröjning blir ändringar jämfört med handling, som entreprenör bör få ersättning för.
- I totalentreprenader kan beställaren antingen låta ett färdigt kontrollprogram ingå i förfrågningsunderlaget eller specificera krav på omgivningspåverkan och låta entreprenör ta fram ett kontrollprogram, som även bör innefatta åtgärder om gränsvärden överskrids. Entreprenören har därför ansvaret över åtgärder och kostnaden för dessa, även om ansvarsfrågan i många fall kan bli mer invecklad än så.

9.7.3.3 Omfattning av kontrollprogram

Ett kontrollprogram bör innefatta påverkan på tredje man samt påverkan på byggherrens konstruktioner i den mån det är nödvändigt. För ledningsägare och spårförvaltare finns i många fall bestämda påverkansområden där eventuell påverkan ska mätas. För andra konstruktioner, t.ex. byggnader bör en erfarenhetsbedömning göras av byggherren och byggherrens konsult av vad som bör mätas.

9.7.3.4 Framtagande av gränsvärden för kontrollprogram

Gränsvärden används för att bestämma när arbeten ska stoppas och när åtgärder erfordras. Det är viktigt att gränsvärden är anpassade för den aktuella konstruktionen, och bestäms av den part som har ansvar för entreprenadarbetena, i de flesta fall byggherren.

9.7.3.4.1 Gränsvärden för deformationsmätning

Gränsvärden för deformationsmätningar bör sättas i relation till tillåtna värden för en konstruktion. Detta erfordrar en ganska omfattande utredning av vilka deformationer som kan tillåtas, vilket sällan sker i normala projekt. Därför ansätts ofta gränsvärden som bedöms vara försiktigt valda, varefter en inspektion av konstruktionen genomförs efter inträffad deformation och antingen ändras gränsvärdena eller också vidtas andra åtgärder.

9.7.3.4.2 Gränsvärden för vibrationsmätning

För vibrationsmätning redovisas standardiserade värden i SS 25211 (SIS, 1999). Dessa anpassas till den aktuella jordlagerföljden, men är fortfarande att betrakta som förenklade.

9.7.3.4.3 Övriga gränsvärden

Gränsvärden för grundvatten eller föroreningspåverkan bör tas fram av konsult inom respektive område och redovisas i förfrågningsunderlag.

Riktvärden för buller redovisas i NFS 2004:15, Naturvårdsverkets allmänna råd om buller från byggplatser (Naturvårdsverket, 2004). Det kan också finnas projektspecifika krav på mätning av buller och riktvärden.

9.7.3.5 Uppföljning av kontrollprogram och åtgärder

9.7.3.5.1 Dokumentation av kontrollmätningar

Kontrollmätningar som specificeras i kontrollprogram dokumenteras och följs upp enligt beskrivning i kontrollprogram. I bygghandling bör det anges hur mätningar ska dokumenteras och kommuniceras till byggherre.

Krav för dokumentation av mätning läggs in i föreskrifter samt i underlag till relationshandling.

9.7.3.5.2 Åtgärder

Åtgärder vid överskridande av gränsvärden ska framgå av bygghandling. Möjliga åtgärder kan innefatta:

- Proppdragning/augerborrning för minskad massundanträngning.
- Byte av pålmetod.
- Anpassade arbetstider.
- Anpassad pålordning.

Åtgärder för att minska omgivningspåverkan diskuteras i detalj i kapitel 10. Möjliga metoder för minskning av omgivningspåverkan redovisas också i kapitel 3.

9.7.4 Mätning inom kontrollprogram

9.7.4.1 Mätning av deformationer

9.7.4.1.1 Allmänt

Mätning av deformationer, sättning, hävning och horisontalförskjutningar kan genomföras med precisionsavvägning på avvägningsdubbar eller med mätning på prismor med totalstation. Avvägningsdubbar har en mätnoggrannhet på cirka 0,5 mm medan prismor har en mätnoggrannhet på cirka 1-2 mm.

Standard för mätning ges i SIS-TS 21143:2016 (SIS, 2016b).

Inklinometermätning med mätning av massförskjutning kan indikera hävning och stabilitetsproblem i omgivningen. Mätmetoden kan också användas för att visa hur befintliga pålar kröks och därmed ligga till grund för kontroll av försämrad konstruktiv bärförmåga, se kapitel 6.

Standard för inklinometermätning, se SS-EN ISO 18674-3:2017 (SIS, 2017).

En automatisk registrering av olika installationsparametrar för borrade pålar kan ge information om olika omgivningspåverkanden.

9.7.4.1.2 Montering och inmätning av deformationsmätpunkter

I standard ges krav för inmätning av deformationspunkter (prismor och avvägningsdubbar). Mätning bör påbörjas innan pålningsarbetena inleds.

Sker det pågående sättningar i området bör bakgrundsmätning genomföras av byggherren för att bedöma hur stor inverkan pålningsarbetena har på de pågående sättningarna.

Figur 9.34 visar hur ett prisma har monterats på en befintlig pelare på en bro.



Figur 9.34 Prisma monterat på befintlig pelare. Foto: Anders Beijer.

9.7.4.2 Mätning av vibrationer

9.7.4.2.1 Allmänt

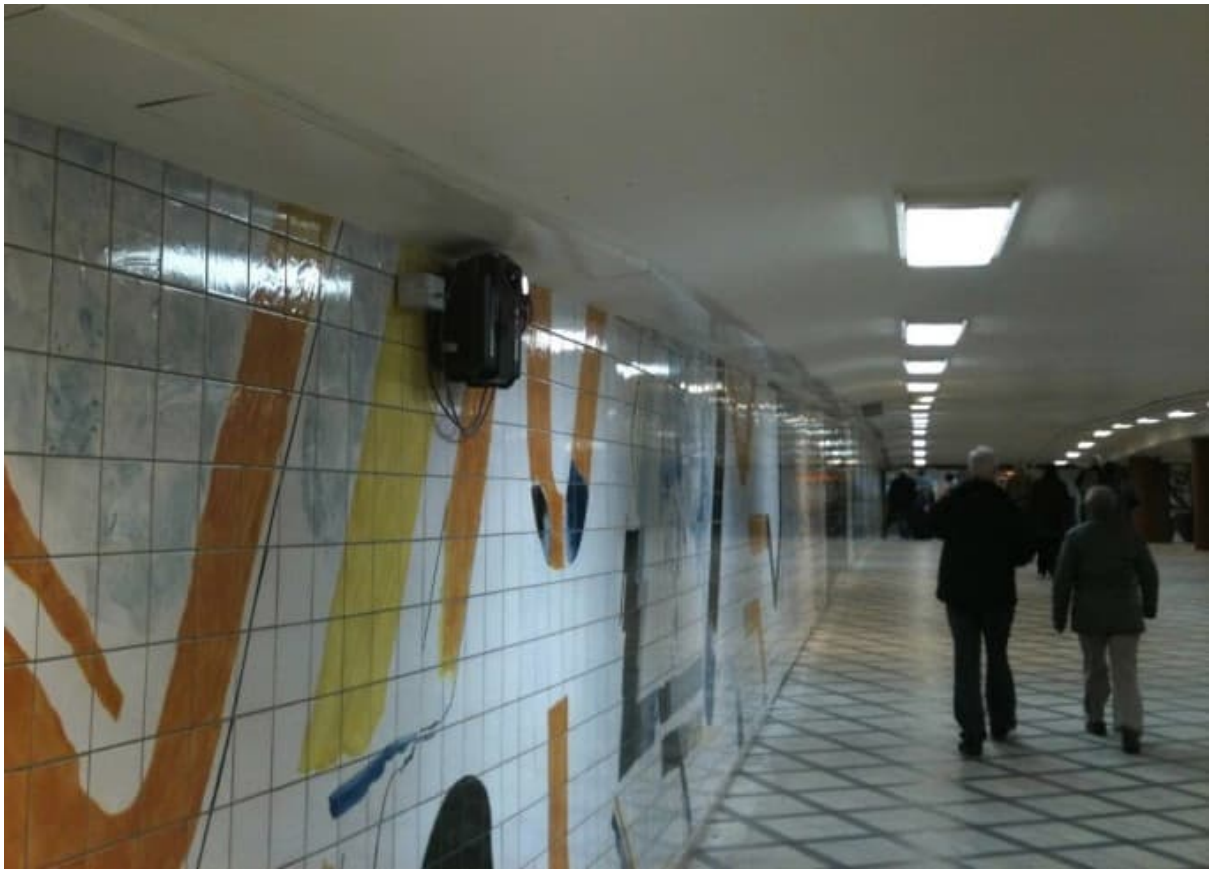
Mätning av vibrationer genomförs med vibrationsmätare. I SS 25211 (SIS, 1999) redovisas riktvärden för vibrationer samt mätmetod för vibrationsmätning. Vid mätning används antingen:

- Vibrationsmätning i vertikalled.
- 3D-vibrationsmätning.

Den senare mätmetoden innebär att alla tre vibrationskomponenterna mäts (x, y och z), vilket kan vara en fördel när vibrationer kommer ifrån flera samtidigt pågående entreprenadarbeten. Vid mätning på broar eller andra konstruktioner kan grundnivåerna av vibrationer i vissa riktningar vara förhållandevis stora, vilket gör att gränsvärden kan nås innan grundläggningsarbetena inleds.

Det är oftast byggherre, som genom konsult, ombesörjer att vibrationsmätning sker.

Figur 9.35 visar en vibrationsmätare monterad på en vägg i samband med markarbeten.



Figur 9.35 Vibrationsmätare monterad på vägg. Foto: Ansvarsbesiktningar.

9.7.4.2.2 Montering av vibrationsmätare

Vibrationsmätare fästs på en fast konstruktion, som ett brostöd, en ledning eller en byggnad, se Figur 9.35. Det går även att fästa vibrationsmätare i mark men det är betydligt mer komplicerat. Notera att historiska byggnader kan kräva tillstånd för montering av mätare.

Det är viktigt att mätarna är fast monterade på konstruktion som ska mätas, annars kan rörelser mellan mätare och konstruktionen påverka mätresultatet.

9.7.4.2.3 Bakgrundsmätning

Det finns ofta pågående vibrationer från trafik eller våg- eller vindlast på många konstruktioner. Ska vibrationsmätning utföras där bakgrundsmätning ingår, ska mätning ske åtminstone en dag i förväg för att kontrollera om det är entreprenadarbeten eller bakgrundsvibrationer som ger upphov till mätvärdena.

9.7.4.3 Mätning av buller

Buller mäts med mikrofoner, se Figur 9.36.

Riktlinjer för mätning av buller, specifikt för mätinstrument, användning av A-filter samt bestämning av ekvivalent ljudnivå (L_{Aeq}) och tidsvägt maximal ljudnivå (L_{AFmax}) ges i den svenska standarden SS-EN ISO 9612:2009 (SIS, 2009). De internationella standarderna ISO 1996-1:2016 (ISO, 2016) och ISO 1996-2:2017 (ISO, 2017) används också som vägledning för mätningar, och för definiering av olika parametrar för att beskriva ljudmiljö.



Figur 9.36 Mätning av buller med mikrofon. Foto: Ansvarsbesiktningar.

9.7.4.4 Mätning av grundvattenpåverkan

Förhöjda portryck kan indikera för låg bärförmåga hos pålar eller stabilitetsproblem i omgivningen. Grundvattenmätningar kan genomföras i ett öppet system (grundvattenrör i friktionsjord) eller i ett slutet system (portrycksspets i lera). Figur 9.37 visar en portrycksspets för mätning av portrycket i ett slutet system. Dessa måste placeras i marken och kontrollmätas innan pålningen inleds för att konstatera att grundvattennivån är stabil och inte påverkas av installation av portrycksspetsen.



Figur 9.37 Portrycksspets för mätning av porvattentryck i slutet system. Foto: Geotech.

9.7.4.5 Mätning av föroreningar

Används pålningsmetoder som påverkar vattenflödet i ett förorenat område kan föroreningsmätning behöva genomföras. Denna beror på den förorening som sprids. Både provtagning av förorenat vatten och mark kan bli nödvändigt.

9.7.5 Dokumentation av kontrollmätningar

Kontrollprogram ska redovisa hur kontrollmätningar bör dokumenteras. Det finns idag en stor mängd olika program för dokumentation och ofta används en webb-portal där mätningar kan sparas och redovisas.

9.8 BEFINTLIGA PÅLAR (VAKANT)

Avsnittet kompletteras i kommande utgåvor av Pålhandboken.

9.9 REFERENSER

Borel, S., Bustamante, M., Gianiselli, L., 2004. An appraisal of the Chin method based on 50 instrumented pile tests, Ground Engineering 2004.

Boverket, 2013. *BFS 2013:10, EKS 9, Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder).* Boverket, 2015. *BFS 2015:6, EKS 10, Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder).*

Boverket, 2022. *Boverkets konstruktionsregler, EKS 12* (BFS 2022:4).

Bredenberg, H., 1980. *Stötvågsdämpning i pålar. Delrapport 1, beräkningsexempel och modellförsök*. Byggforskningsrådet, Rapport R26:1980.

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.

Fischer, H.C. och Hellman, L., 1963. Pålslagningen och stötvågsteorin. Väg- och Vattenbyggaren, vol 9, nr 1, sid 9-14.

Goble, G.G. och Rausche, F., 1976*. Wave equation analysis of pile driving, WEAP program. Vol. 1- 4*, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Implementation Package IP 76-14.1-4. Washington, DC.

IEG, 2016. *IEG Rapport 8:2008, Rev 3, Tillämpningsdokument EN 1997-1 Kapitel 7, Pålgrundläggning.*

ISO, 2016. *ISO 1996-1:2016 Acoustics -- Description. measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures.*

ISO, 2017. *ISO 1996-2:2017 Acoustics -- Description. measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of sound pressure levels.*

Jonefjäll, A. och Sabattini, M., 2022. *Transversalbelastning av pålar i postglacial lera, Fullskaleförsök*, 2022-12-15, SBUF ID:13977.

Lindgren, J., Axelsson, G. och Giding, J., 2012. Bestämning av bärförmåga för mantelburna stålkärnepålar med Wave-up metoden. Samhällsbyggaren.

Naturvårdsverket, 2004. *NFS 2004:15, Naturvårdsverkets allmänna råd om buller från byggplatser*.

Olsson, C, och Holm, G., 1993. *Pålgrundläggning*, Statens geotekniska institut.

Pålkommissionen, 1980. *Rapport nr 59 - Anvisningar för provpålning med efterföljande provbelastning*.

Pålkommissionen, 1992. *Rapport nr 89 - Integritetskontroll av pålar med stötvågsmätning*. Författare: Ingemar Hermansson, Jan Romell och Carl-John Grävare.

Pålkommissionen, 1996. *Rapport 94 - Standardpålar av betong - lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga*.

Pålkommissionen, 2014. *Rapport 106 - Verifiering av geoteknisk bärförmåga för pålar enligt Eurokod, Praktiska råd och rekommendationer vid projektering och kontroll*. Författare: Peter Alheid, Gary Axelsson, Bo Berggren, Bo Berglars, Ingemar Hermansson och Fredrik Sarvell.

SIS, 1999. SS 25211 - *Vibration och stöt - Riktvärden och mätmetod för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning*.

SIS, 2005. *SS-EN 1997-1:2005+A1:2013 - Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del 1: Allmänna regler*.

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

SIS. 2009. *SS-EN ISO 9612:2009 Akustik - Bestämning av bullerexponering i arbetsmiljön - Teknisk metod.*

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*.

SIS, 2012b. *SS-EN ISO 22282-2:2012, Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 2: Bestämning av hydraulisk konduktivitet i öppna borrhål*.

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, 2015d. *SS-EN ISO 9001:2015+A1:2024, Ledningssystem för kvalitet – Krav*.

SIS, 2016a. *SS-EN ISO 22477-10:2016 - Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 10: Provning av pålar: snabb provbelastning (ISO 22477-10:2016).*

SIS, 2016b. *SIS-TS 21143:2016, Byggmätning - Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur*.

SIS, 2017. *SS-EN ISO 18674-3:2017 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 3: Mätning av förskjutningar tvärs en linje: Inklinometrar (ISO 18674-3:2017).*

SIS, 2018a. *SS-EN ISO 22477-1:2018, Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 1: Statisk provbelastning av pålar med axiell trycklast*.

SIS, 2018b. *SS-EN ISO 22477-4:2018, Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 4: Dynamisk provbelastning av pålar*.

SIS, 2018c. *SS-EN ISO 22477-5:2018, Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 5: Provning av förankringar*.

SIS, 2021a. *SS-EN ISO 3834-3:2021. Kvalitetskrav för smältsvetsning av metalliska material - Del 3: Normala kvalitetskrav (ISO 3834-3:2021).*

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

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

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

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

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

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

SIS, 2023. *SS-EN ISO 22477-2:2023, Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 2: Provning av pålar: Statisk provdragbelastning*.

SIS, 2024. *SS-EN 1090-2:2018+A1:2024, Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner - Del 2: Stålkonstruktioner*.

Svensk Byggtjänst, 2014. *AMA Anläggning 13 och RA Anläggning 13*.

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

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

Vijayvergiya, V.N. och Focht, J.A., 1972. A new way to predict the capacity of piles in clay. Proc. 4th Annual Offshore Tech. Conf., Houston, Vol. 2, sid 865-874.

Yannie, J., 2016. *On the long-term behaviour of tension loaded piles in natural soft soils, A field study and numerical modelling.* Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in geotechnical engineering, Civil and Environmental Engineering, Division of Geo-Engineering, Chalmers University of technology.