

Betongpåleboken

Anvisningar för projektering, design och kontroll



Inledning och bakgrund

Hercules är den ledande aktören för installation och tillverkning av betongpålar i Sverige, med över 60 års erfarenhet av grundläggning i nordiska förhållanden.

Slagna betongpålar står idag för cirka 50% av totalt antal installerade pålmetrar i Sverige, enligt branschens pålstatistik [29]. Att andelen är så stor har till stor del sin förklaring i att en väl utnyttjad betongpåle också är den mest kostnadseffektiva pålen.

Denna bok har främst två syften; att öka kunskapen om betongpålar och att ge stöd och vägledning vid projektering och design.

Hercules geokonstruktörer är några av Sveriges främsta experter inom grundläggning. Om du har frågor gällande innehållet i boken eller avseende dimensionering och projektering av betongpållning får du gärna höra av dig.

Hercules – Rätt från grunden

Innehåll

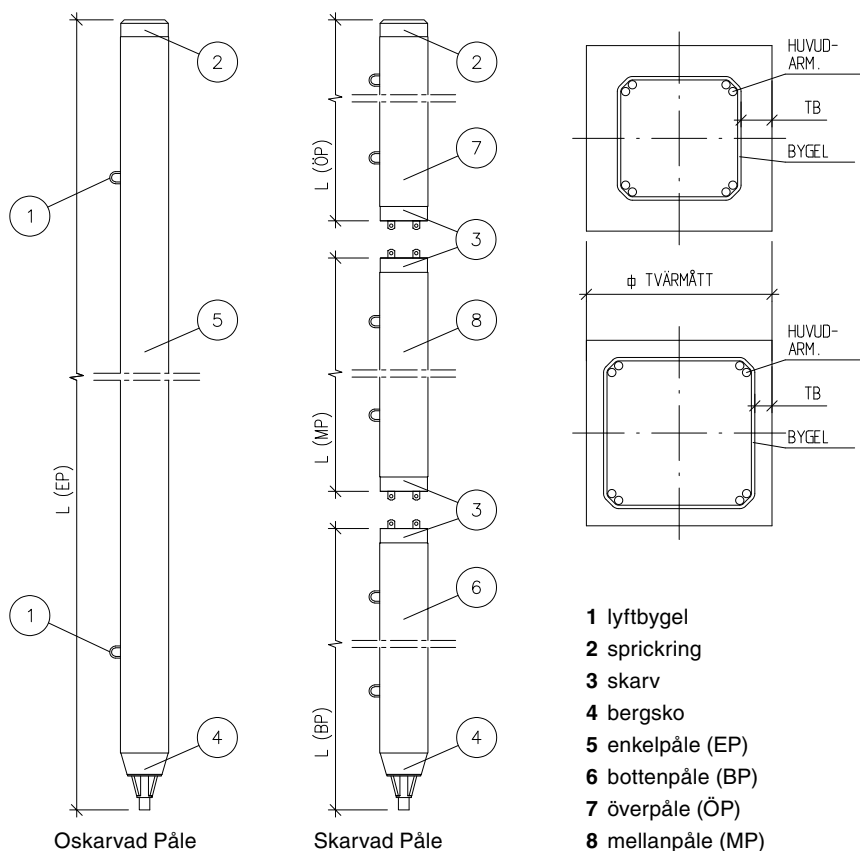
1. Betongpåleprodukter	6
2. Material	9
2.1 Betong	9
2.1.1 Exponeringsklasser	9
2.2 Armering	10
2.3 Beslag	10
3. Projektering av betongpålar	12
3.1 Val av påltyp	12
3.1.1 Pällängder	12
3.1.2 Lutande bergyta	13
3.1.3 Bortslagning av pålar	14
3.2 Toleranser	14
3.3 Avstånd mellan pålar	14
3.4 Omgivningspåverkan	15
3.5 Horisontallaster	15
3.6 Lutande pålar utsatta för påhängslast	16
3.7 Draglasteffekter	16
4. Installation	17
4.1 Standarder för installation	17
4.2 Utrustning för installation (Hejare)	17
4.3 Utmattning	17
4.4 Speciella åtgärder vid installation av betongpålar	18
4.4.1 Prylning	18
4.4.2 Knektning	19
4.4.3 Augerborrning	20

5. Dimensionering av betongpåle	21
5.1 Lasteffekter	21
5.1.1 Lasteffekter i STR	21
5.1.2 Lasteffekter i GEO	23
5.2 Strukturell/konstruktiv bärförmåga (STR)	23
5.2.1 Beräkning av dimensionerande skjuvhållfasthet	24
5.2.2 Brottgränstillstånd (ULS)	26
5.2.3 Bruksgränstillstånd (SLS)	26
5.3 Geoteknisk bärförmåga (GEO)	26
5.3.1 Verifiering av geoteknisk bärförmåga med beräkning	27
5.3.2 Verifiering av geoteknisk bärförmåga med hävdvunnen åtgärd	27
5.3.3 Verifiering av geoteknisk bärförmåga med provning/provpålning	29
6. Arbetsmiljö	32
6.1 Arbetsplattform	32
6.2 Säkerhet kring pålkran	33
6.3 Augerborrhål	33
7. Miljö och klimat	34
7.1 EPD	34
7.2 Klimatpåverkan	35
7.3 Energipålar	36
7.4 El-pålkranar	36
8. Tabeller avseende strukturell bärförmåga (STR)	37
9. Styrande dokument/referenser	43

1. Betongpåleprodukter

Betongpålar består av ett armerat betongelement med ingående delar som lyftbygel, sprickring, skarv och bergsko enligt Figur 1. Betongpålar kan produceras som oskarvad påle (enkelpåle), eller skarvad påle med botten-, mellan- och överpåle. Armeringen består av huvudarmering och bygelarmering, som täcks av minst 25 mm betong (täckande betongskikt, TB). För Hercules vanligaste produkter se Tabell 1.

Figur 1. Schematiska principbilder av pålar och tvärsnitt.



Tabell 1. De vanligast förekommande produkterna i Hercules sortiment.

Benämning	Sidomått [mm]	Antal huvud- armeringsjärn [st]	Diameter armering [mm]	Täckande betongskikt [mm]
HP 235-0416	235	4	16	25
HP 270-0416	270	4	16	25
HP 270-0816	270	8	16	25, 45
HP 350-0816	350	8	16	25

Pålarna benämns exempelvis enligt följande; HP270-0416, Herculespåle med sidomått 270 mm och 4 st huvudarmeringsjärn av diameter 16 mm. Tidigare typgodkännande av SP1, SP2 respektive SP3 finns inte längre.

Samtliga Hercules betongpålar är CE-märkta i enlighet med den harmoniserade standarden SS-EN 12794 [17], med tillverknings och utförandeklass I. Enligt byggproduktförordningen, CPR, är det obligatoriskt att CE-märka produkter som omfattas av en harmoniserad standard. Tillverkningskontrollen sköts av Nordcert, med ackrediteringsnummer 1505, i enlighet med BBCs bestämmelser.

Byggprodukter som saknar harmoniserad standard kan CE-märkas på frivillig väg via en europeisk teknisk bedömning, en så kallad ETA. För produkter med utfärdade ETA gäller kraven om CE-märkning precis som de som omfattas av en harmoniserad standard. Leimet levererar pålbeslag, pålskarvar och bergskor till Hercules betongpålar och är CE-märkta enligt en ETA. För mer information, se Boverket [36].



Bild 1. Hercules certifikat för produktions- och tillverkningskontroll för de två produktionsenheterna i Ucklum och Västerås.

2. Material

2.1 Betong

Betongen i Hercules pålar kan varieras beroende på tillämpning och krav. Pålarna tillverkas normalt i hållfasthetsklass C50/60. Maximal stenstorlek i betongen är 25 mm och all ballast som används är frostbeständig. Cementen som används vid tillverkning av Hercules betongpålar är i enlighet med SS-EN 197-1 [6], med krav enligt SS-EN 206 [7], SS 137003 [9] och EKS, BFS 2011:10 [14] med gällande ändringar. För de fall då sulfatresistent cement används följs kraven i SS 134204 [8].

Betongens frostbeständighet visas genom provning enligt standarden SS 137244 [10] utifrån föreliggande exponeringsklass. Betongen är vattentät. I normalfallet är betongens ekvivalenta vattencementtal; $vct_{ekv} \leq 0,45$, men betongen kan utföras med som lägst $vct_{ekv} \leq 0,4$ beroende på vilka krav som ställs i övrigt. Livslängdsklassen för pålar är normalt L 100.

2.1.1 Exponeringsklasser

Betongen i Hercules betongpålar klarar grundkraven för samtliga förekommande exponeringsklasser. Därtill kommer eventuella ytterligare krav på täckande betongskikt och vct_{ekv} . För samtliga exponeringsklasser XA (kemiskt angrepp) och för exponeringsklasserna XS, ska krav på täckande betongskikt, och tillåten sprickvidd anges i varje enskilt fall. Frostbeständighet i exponeringsklass XF3 provas enligt metod B och för klass XF4 enligt metod A, enligt standard [10]. Det kan krävas luftporbildare i betongen för att klara kraven för XF4.

För hantering av vissa exponeringsklasser krävs sulfatresistent betong vilket kräver längre härdning/-tillverkningstid. För val av exponeringsklasser och täckande betongskikt hänvisas till Betongrapport nr 11 [35] och EKS, BFS 2011:10 [14] med gällande ändringar.

Tabell 2. Exponeringsklasser för betongpålar.

Exponeringsklass	Täckskikt tb [mm]	Min betongkvalitet	Max vct _{ekv}
XC1-4, XF1	25	C50/60	0,45
Övriga exponeringsklasser	45	C50/60, + sulfatresistent cement	0,40

Tabell 2 visar möjliga utföranden för att uppfylla erforderliga exponeringsklasser. Det kan dock förekomma fall där projekt-specifika krav ställs som avviker från ovan redovisade exempel.

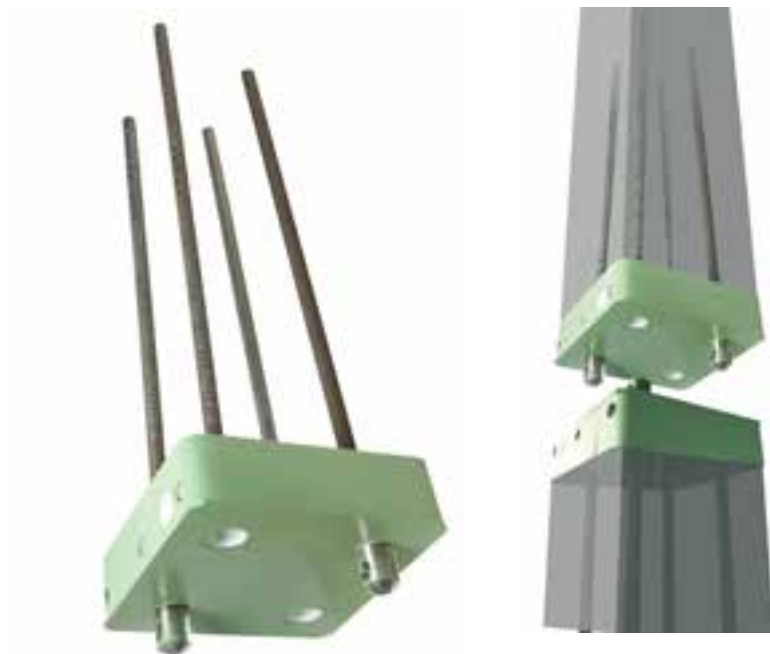
2.2 Armering

Bygelarmeringen häftsvetsas till längsarmeringen i samtliga armeringskorgar. I särskilda fall kan najade korgar utföras. Svetsningen medför en rationell produktion och en hög och jämn kvalitet säkerställs. En svetsad armeringskorg blir betydligt styvare än en najad korg och är därför lättare att hantera och ger ett bättre resultat vad gäller täckskiktstoleranser. Kvaliteten är minst K500B enligt standarder för armeringsstål [11] och [12]. Byglarna är i samtliga fall av dimensionen 5 mm.

**Bild 2.** Häftsvetsning av armeringskorg.

2.3 Beslag

Betongpålebeslag består av skarvar (Figur 2) och bergskor (Figur 3). Hercules leverantörer tillverkar samtliga beslag i enlighet med rådande bestämmelser, se kapitel 1 ovan.



Figur 2.
Pålskarv typ ABB.



Figur 3. Bergskor från Leimet OY.

3. Projektering av betongpålar

3.1 Val av påltyp

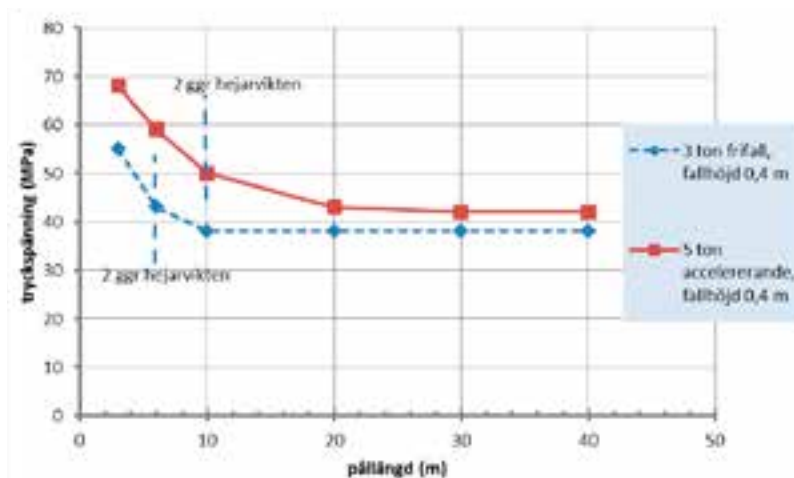
Markförhållanden på platsen som ska bebyggas är avgörande för vilken påltyp som är mest lämplig att använda. Med en geoteknisk undersökning av hög kvalitet ökar sannolikheten för att rätt påltyp används, samtidigt som risken för ändringar/kompletteringar i byggskedet minskar. För att optimera val av påltyp är det viktigt att blockförekomst, jordens hållfasthet, förväntade pålstoppnivåer etc framgår i det geotekniska underlaget.

Slagna betongpålar är en välbeprövad pålgrundläggningsmetod som kan användas både som spetsburna och mantelburna pålar. Betongpålar kan installeras i de allra flesta markförhållanden och en väl utnyttjad betongpåle är oftast den mest kostnadseffektiva pålgrundläggningsmetoden. I de fall där svårare drivningsförhållanden kan förväntas finns en rad åtgärder som kan vidtas för att förenkla drivningen, vilket ofta är mer lönsamt än att byta pålgrundläggningsmetod. Mer om dessa åtgärder kan läsas längre fram i detta kapitel.

3.1.1 Pällängder

Pålelement tillverkas i längder upp till 14 m. Vid större djup skarvas de med beslag enligt kapitel 2.3. Skarvade pålar har lägre strukturell bärförmåga.

Betongpålar installeras i normalfallet inte kortare än 3 m på grund av risk för instabilitet, samt risk för högre belastning på pålen under drivning. Efterslagning och kontrollslagning är extra viktiga när pålarna är korta och omkringliggande jord är lös, se kapitel CCB.1 i AMA Anläggning [20]. Det går att installera betongpålar som är kortare än 3 m, men då bör tilläggskontrollen utökas och även omfatta precisionsavvägning av samtliga korta pålar. Byggtrafik bör heller inte tillåtas i närheten av installerade korta pålar. Drivningen av korta pålar måste också utföras försiktigt eftersom spänningarna i pålen riskerar att bli för stora, se Figur 4. Korta slagna pålar bör förbehållas övergångszoner mellan jord och berg, i hörn av byggnader och under mindre delar av byggnader, för att inte påverka byggnadens totalstabilitet negativt. I de fall där pålarna är kortare än 2,5-3 m bör istället stålörspålar inborrade i berg användas.



Figur 4. Förhållande mellan pållängd och tryckspänningen för olika hejarvikter (enligt Pållkommissionen Rapport 106 [27]).

3.1.2 Lutande bergyta

I de fall betongpålar installeras i geologier med lös lera direkt ovan berg med en kraftigt lutande bergyta, kan speciella åtgärder behöva vidtas för att undvika bortslagning av pålar. För att öka möjligheterna för en bra övergång mellan bergdubb och lutande bergyta kan pålarna förses med en bergsko med ihålig bergdubb och ett genomgående borrhör. Detta medför att en stålstång kan installeras genom pålen och ned i ett borrarat berghål. Stålstången möjliggör därefter att pålen kan mejslas in i berget utan att halka av. Bergdubben ska mejslas in så att tillräcklig anliggning mot bergytan erhålls, både med avseende på lastexcentricitet och lastöverförande yta. Detta kallas ibland "Göteborgsmetoden". Pålen och bergskon blir dyrare än en vanlig betongpåle, men påverkar inte den strukturella eller den geotekniska bärförmågan. Krav på material och installation för dessa pålar återfinns i AMA Anläggning [20].

3.1.3 Bortslagning av pålar

Förutom vid lutande bergyta är det framförallt i två typer av naturliga geologier som risken är högre för bortslagning av pålar, nämligen blockrika geologier med hög lagringstäthet och i löst lagrade jordar med rundade block/stenar. Bortslagning av pålar innebär att en påle går sönder under drivning eller att den inte kan drivas till en nivå som ger önskad geoteknisk bärförmåga. När det finns en ökad risk för bortslagning av pålar ska konstruktören av överliggande konstruktion ta hänsyn till detta, t.ex. genom att se till att de tillåtna installationstoleranserna ökas och genom att göra det enklare att hitta alternativa pållägen. Det kan fortfarande vara lönsamt att använda sig av betongpålar trots en hög andel bortslagna pålar. Pålentreprenören ska alltid, så snart som möjligt, anmäla en bortslagen påle till beställare och konstruktör.

3.2 Toleranser

De toleranser som betongpålar i normalfallet kan förväntas utföras inom framgår av utförandestandarden för massundanträngande pålar [16]. Pålar installerade på land, utan några speciella förhållanden, som t.ex. hinder i mark, blockförekomst eller lutande bergyta kan förväntas ha en avvikelse i plan om högst 100 mm, en lutningsavvikelse på högst 4 cm/m och en riktningsavvikelse på högst 2 grader. Toleranserna kommer att påverkas negativt om pålarna till exempel installeras över vatten, med lutning större än 4:1, de geotekniska förhållandena är mycket dåliga eller om pålarna ska knektas ner till en avskärningsnivå under markytan samt vid augerborrning i pållägen.

3.3 Avstånd mellan pålar

I en pålgrupp ska inbördes avstånd mellan enskilda pålar väljas så att risken för kollision vid slagning vägs in. Vid val av pålarnas inbördes avstånd ska även risken för sättningar pga packningseffekter i löst lagrad friktionsjord, reduktion av jordens hållfasthet vid slagning i lös kohesionsjord samt risk för skador genom hävning och jordundanträngning beaktas. Framst gäller dock att ett minsta pålavstånd krävs för att pålens konstruktiva/strukturella bärförmåga avseende knäckning inte ska påverkas negativt.

Tabell 3 nedan, från Handboken Pålgrundläggning [32], beskriver rekommenderade minsta centrumavstånd mellan enskilda, parallella pålar ingående i konstruktionen. I tabellen motsvarar d pålens största tvärsnittsmått.

Tabell 3. Minsta centrumavstånd mellan parallella pålar.

Förutsatt pållängd, m	Spetsburen påle/ friktionspåle	Kohesionspåle
<10	3d	4d
10-25	4d	5d
>25	5d	6d

3.4 Omgivningspåverkan

Vid projektering och planering av pålgrundläggning måste hänsyn tas till pålarnas inverkan på omgivningen. Installation av massundanträngande pålar kan medföra hävning, sidoförskjutningar, vibrationer och oönskade portrycksökningar. Friktionsjordar kan häva sig eller sätta sig (packning), beroende på dess egenskaper.

Pålningens påverkan på omgivningen kan minimeras/hanteras med en rad åtgärder. Till exempel kan augerborrning eller lerproppsdragning användas och pålarnas installationsordning anpassas, för att i så stor utsträckning som möjligt minska volymundanträngningen av jorden.

För att reducera portrycksökningarnas storlek och varaktighet i omkringliggande lerjordar vid drivning av pålar kan dräner installeras längs med pålens utsida.

Hejaren kan till viss del bullerdämpas och bullerskärmar kan sättas upp, detta ingår normalt inte i arbetet med att installera pålarna.

Ett kontrollprogram ska upprättas i projekteringsfasen om det finns risk för omgivningspåverkan.

3.5 Horisontallaster

I Pålkommissionens rapport 101 – Transversalbelastade pålar [26], behandlas pålar utsatta för olika typer av horisontella laster. Orsaken till att pålar belastas med horisontella lasteffekter kan vara flera. Eftersom pålar normalt sett har en mycket begränsad horisontell bärförmåga bör konstruktören i projekteringskedet undvika att belasta pålar med dessa lasteffekter. Horisontella laster bör istället tas upp med lutande pålar genom dess horisontella komposant eller genom att utnyttja passivt jordtryck mot källarväggar, ändskärmar, grundbalkar, bottenplattor osv. Lutande pålar används för att hantera horisontella lasteffekter i en påle med endast axiell bärförmåga. Pålens horisontella bärförmåga avgörs då av rent geometriska villkor eftersom pålens horisontella lastkomposant aldrig kan vara större än vad dess vertikala lasteffekt medger. I normalfallet lutas inte slagna pålar i Sverige mer än 4:1.

Horisontella laster på en vertikal påle ger upphov till tilläggsmoment och tilläggsförskjutningar i horisontalled vilka leder till andra ordningens moment och en betydligt lägre vertikal bärförmåga, se även avsnitt 5.2.

3.6 Lutande pålar utsatta för påhängslast

För lutande pålar utsatta för påhängslast tillkommer över tid en påtvingad utböjning, med påföljande krökning, för vilken hänsyn måste tas i samtliga lastfall. För att ta hänsyn till detta finns i Pålkommissionens rapport 101 – Transversalbelastade pålar en föreslagen beräkningsmetodik, se [26].

3.7 Draglasteffekter

Vid draglasteffekter i pålen ska samtliga i pålen ingående delar kontrolleras, ofta är pålens skarvar dimensionerande.

Konstruktivt har vanliga slagna betongpålar begränsade möjligheter att omhänderta draglasteffekter.

Vid dragbelastning varierar den geotekniska bärförmågan kraftigt. Långa kohesionspålar har i princip samma geotekniska bärförmåga i drag som i tryck, medan korta pålar i stort sett inte har någon dragbärförmåga alls. Ska större draglaster hanteras bör därför installation av separata dragstag, i eller utanför borrade stålrör, övervägas. Det kan också vara lönsamt att göra den överliggande konstruktionen tyngre, vilket i många fall är billigare än att ta drag i pålar.

4. Installation

4.1 Standarder för installation

Krav på utförande och kontroller för slagna betongpålar återfinns i AMA Anläggning [20], avsnitt CCB.1.

Utförandestandarden SS-EN 12699:2015 [16] Massundanträngande pålar gäller för betongpålar.

4.2 Utrustning för installation (Hejare)

Hercules betongpålar installeras oftast med accelererande frifallshejare. Typiska hejarvikter i Sverige är 4–5 ton, vilket i de flesta fall är tillräckligt för installation av 235- och 270-pålar. Vissa hejare kan vid behov byggas ut till 6–8 ton. Hercules har numera även två maskiner med tyngre hejare (max 7 respektive 10 ton), vilka lämpar sig mycket väl till installation av 350-pålar. De accelererande hejarna kan inte användas för verifiering av geoteknisk bärförmåga enligt hävdvunna metoder, se Pålkommisionens Tekniska PM 1:2012 [31], men ger mycket jämna belastningar på pålarna under effektiv drivning. Pålkranar är tunga maskiner och hänsyn behöver tas till arbetsmiljön kring dessa, se vidare Kapitel 6.

4.3 Utmattning

Vid dimensioneringen av pålelementet och dess armeringsinnehåll ska hänsyn tas till antalet slag som krävs vid installationen. Slagningen, tillsammans med de geotekniska förhållandena och mängden integritetskontroll, ligger till grund för valet av reduktionsfaktor μ för betong. Riktlinjer för val av denna faktor finns i tabellerna 3.2.2a respektive 3.2.2b i Pålkommisionens Rapport 96, supplement 1 [24]. När det gäller val av reduktionsfaktorn för betongen, μ_{1cc} för antalet slag, återfinns en schablon i Tabell I, Bilaga I [24], för detta gäller slagningskombination 1. Bilagan i Rapport 96:1 finns ännu ej uppdaterad i enlighet med Eurokod (även om dess supplement 2 uppdaterar rapporten i enlighet med Eurokod). Däri anges betongen med K-klass och pålarna med de gamla

standardbeteckningarna, men det kan antas att Hercules pålar håller minst hållfasthetsklass K60. Därmed gäller för HP235-0416 att det maximalt bör slås ca 6500 slag på pålen om man vill ansätta μ_{1cc} till 0,8. Samtliga tabeller under avsnitt 7 nedan är utförda för en slutlig μ -faktor om 0,8. För påle HP270-0812 är motsvarande antal slag 8000 och för en HP270-0816 är det 14000 slag som gäller. Dock bör denna teoretiskt framräknade siffra begränsas till ca 10 000 slag med hänsyn till risk för uppsprickning och sönderslagning av pålen.

Vid risk för utmattningsbelastning av pålarnas armering tas hänsyn dels till lasteffekterna under installationen, dels till lasteffekter under pålens livslängd. I aktuella fall kan Hercules utföra dessa kontroller.

4.4 Speciella åtgärder vid installation av betongpålar

4.4.1 Prylning

För att möjliggöra installation av betongpålar genom svårdrivna, ytliga, jordlager kan prylning utföras för att tränga undan hinder som finns i jorden. Prylen kan exempelvis bestå av ett grovt stålrör försett med bergsko. Stålröret och bergskon dras sedan upp, innan avsedd betongpåle installeras i det prylade hålet.



Bild 3. Pryl av stålrör med bergsko.

4.4.2 Knektning

När pålar ska installeras från en nivå högre än det blivande pålavskärningsplanet (PAP), kan pålarnas topp slås ner till avsett djup med hjälp av en s.k. "knekt". Som knekt används ofta ett stålrör med lämpliga ändar. Stålröret placeras centriskt på pålens topp och drivs sedan ner av pålkranen, precis som en vanlig påle. När avsedd nivå är nådd stoppslås pålen och knekten lyfts bort. I de allra flesta fall utförs detta för mantelburna pålar. Det är oftast mer fördelaktigt att installera pålarna från en befintlig markyta, vilken är lättare att göra bärkraftig för en tung pålkran och problem att få ner (och upp) pålkranen i djupa schakter undviks.

Det bör beaktas att pålar installerade med knekt riskerar att avvika mer från projekterat läge på pålavskärningsplanet än vad toleranserna medger. Särskild aktsamhet bör även vidtas vid framschaktning av pålar samt med hänsyn till schaktens framdrift och schaktslänternas stabilitetsförhållanden då dessa kan förorsaka rörelser och skador i redan installerade pålar.



Bild 4. Knekt.

4.4.3 Augerborrning

Augerborrning kan minska effekterna från pådrivning med avseende på massundanträngning, vilket i sin tur kan reducera påverkan på angränsande konstruktioner. Tekniken används i stort sett endast i lösa lerlager och för vertikala pålar. I övriga jordar och för lutande pålar fungerar metoden betydligt sämre. I normalfallet utförs augerborrning till max 12 m djup. Augerborren är kostnadseffektiv och finns ofta fast monterad på pålkranarna. Metoden har begränsningar då den inte går att använda under vatten, samt är svår att använda i sensitiv och siltig lera. I vissa fall kan blockrik fyllning som överlagrar leran vara ett hinder för augerborrningen.

Augerborrning kan användas både i pålens placering och utanför den. Om pålning ska ske i hålet kommer toleransen för placeringen i plan att påverkas negativt. Borrningen kan utföras i grupper eller i "gardiner", beroende på vilken effekt man vill uppnå. Metoden innebär att de resulterande lerhögarna måste avlägsnas med grävmaskin för att inte orsaka arbetsmiljöproblem.



Bild 5. Augerborr på en pålkran.

5. Dimensionering av betongpåle

Pålar ska dimensioneras med avseende på strukturell/konstruktiv bärförmåga (STR) enligt dimensioneringssätt 3 (Design Approach 3, DA3) och geoteknisk bärförmåga (GEO) enligt dimensioneringssätt 2 (DA2). Pålens strukturella/konstruktiva och geotekniska bärförmåga (R_d) ska jämföras med och vara större än de lasteffekter (E_d) som pålen utsätts för.

5.1 Lasteffekter

Lasteffekter på pålar ska beräknas både för gränstillstånd STR och GEO. Eftersom påldimensionering enligt Eurokod ska utföras enligt DA3 för STR och DA2 för GEO beräknas också lasteffekterna något olika.

TD Pålgrundläggning [34] ger en beskrivning av detta. Dimensionerande lasteffekt kan skilja sig åt mellan gränstillstånden STR och GEO i de fall det förekommer geotekniska laster, exempelvis sidolast av jordtryck eller påhängslast. De kan också skilja sig åt om de beräknas i olika säkerhetsklasser. Pålens geotekniska lasteffekt beräknas nästan uteslutande i säkerhetsklass 2, likaså för pålens strukturella lasteffekt. I vissa tillämpningar t ex vid grundläggning av broar beräknas pålens strukturella lasteffekt i SK3. Lasteffekten på pålar kan i sällsynta fall beräknas i säkerhetsklass 1. Säkerhetsklassen styr faktorn γ_d vilken är 0,83 i SK1, 0,91 i SK2 och 1,0 i SK3.

5.1.1 Lasteffekter i STR

Den strukturella bärförmågan ska kontrolleras mot lasteffekter i brottgränstillstånd (ULS) och bruksgränstillstånd (SLS). I förekommande fall kontrolleras bärförmågan också mot olyckslasteffekter (ALS), även det ett brottgränstillstånd. De aktuella kombinationerna hämtas ur SS-EN 1990, kapitel 6 [1].

I nedanstående ekvationer gäller följande definitioner:

γ_d = Partialkoefficient för säkerhetsklass

G_k = Karakteristiskt värde för permanent last

G_{neg} = Karakteristiskt värde för påhängslast pga. negativ mantelfriktion

Q_k = Karakteristiskt värde för variabel last

ψ = Faktor för kombinationsvärde för variabel last

$E_{d,GEO} = \gamma_d \cdot 1,1 \cdot G_k + \gamma_d \cdot 1,4 \cdot Q_{(k,i)} \dots$	6.10	geotekniska lasteffekter
$E_d = \gamma_d \cdot 1,35 \cdot G_k$	6.10a	
$E_d = \gamma_d \cdot 0,89 \cdot 1,35 \cdot G_k + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{(k,i)} \dots$	6.10b	
$E_{d,ALS} = G_k + A_d + (\psi_{1,1} \text{ eller } \psi_{2,1}) \cdot Q_{(k,1)} \dots$	6.11b	olyckslast

I bruksgränstillstånd, SLS, finns tre lastkombinationer;

$E_d = G_k + Q_{k1} + \psi_{(0,i)} \cdot Q_{(k,i)} \dots$	6.14b	"Karakteristisk", irreversibla gränstillstånd
$E_d = G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k1} + \psi_{(2,i)} \cdot Q_{(k,i)} \dots$	6.15b	"Frekvent", reversibla gränstillstånd
$E_d = G_k + \psi_{(2,i)} \cdot Q_{(k,i)} \dots$	6.16b	"Kvasi-permanent", långtidseffekter

Eftersom pålar i bruksgränstillstånd dimensioneras utan att tillåta plastiska deformationer (irreversibla gränstillstånd) vare sig i jorden eller i pålens material, bör lasteffekterna enligt kombination 6.14b inte beaktas. Istället bör jämförelse med kombination 6.15b användas för pålar.

Om det förekommer påhängslasteffekter (negativ mantelfriktion), oftast på grund av pågående långtidsbundna sättningar, måste de ovanstående lasteffekterna kompletteras med lastberäkningar av enbart de permanenta lasterna i både ULS och SLS. I ULS kombineras påhängslasterna med lastkombination 6.10a och i SLS med lastkombination 6.16b.

$E_{d,GEO} = \gamma_d \cdot 1,1 \cdot G_{neg}^* + \gamma_d \cdot 1,4 \cdot Q_{(k,i)}$	6.10	Påhängslast (utan variabla laster)
$E_{d,perm,ULS} = E_{d,GEO} + \gamma_d \cdot 1,35 \cdot G_k$	6.10 + 6.10a	
$E_{d,perm,SLS} = E_{d,GEO} + G_k + \psi_{(2,i)} \cdot Q_{(k,i)} \dots$	6.10 + 6.16b	

*) Påhängslast för aktuellt snitt i pålen.

Observera att den maximala påhängslasteffekten inträffar i det s.k. neutrala planet, vilket kan befinna sig en bra bit ner i jorden. Där kan också pålens strukturella bärförmåga med hänsyn till knäckning vara större än den är i de, oftast lösare, övre jordlagen som normalt är dimensionerande. I Pålkommisionens Rapport 106, Verifiering av geoteknisk bärförmåga enligt Eurokod [27], finns information om beräkning av lasteffekter p.g.a. påhängslast i STR. För mer information om påhängslaster i kohesionsjord kan också hänvisas till Handboken Pågrundläggning [32] och till Pålkommisionens Rapport 100 [25]. Om det rör sig om

mantelburna pålar behöver även sättningarna beräknas och då är det långtidslast i SLS som används.

5.1.2 Lasteffekter i GEO

En påles geotekniska bärförmåga verifieras endast för lasteffekt i ULS. Lasteffekterna i GEO och STR kan skilja sig åt om det finns geotekniska laster (påhängslast, sidolast av jordtryck) och/eller om säkerhetsklassen skiljer sig åt. Påhängslasteffekter i GEO är endast ett sättningsproblem.

5.2 Strukturell/konstruktiv bärförmåga (STR)

Den strukturella bärförmågan beräknas enligt Pålkommisionens Rapport 96:1 [24] med tillhörande supplement (supplement 2 uppdaterar rapporten i enlighet med Eurokod, samt med tillägg från Pålkommisionens Rapport 108 gällande ekvivalent sidomotstånd [28]). Beräkningar ska inkludera pålskarvars bärförmåga, vars brottenvelopper ingår i beräkningar av pålelementet. Hänsyn ska också tas till en minsta last-excentricitet. Beräkningarna gäller för en påle helt omgiven av jord. För pålar stående fritt i vatten eller luft i sin övre del, exempelvis i en pålad kajkonstruktion, måste också andra beräkningar utföras för att kontrollera att denna del inte är dimensionerande.

Transversal-/momentbelastningar av en påle med tillhörande tilläggsutböjningar sänker dess axiella strukturella bärförmåga. Eventuella ”vinster” med att dimensionera pålar med sidomotstånd och därmed introducera sådana lasteffekter är ofta begränsade i ett projekteringskede. Ibland går det dock inte att undvika transversalbelastning, t.ex. för lutande pålar i jordar med pågående sättningar.

Vid utmattningsbelastade pålar, främst pålar i brofundament, men också i grundläggning av exempelvis vindkraftverk och höga skorstenar, krävs en separat, objektspecifik utredning. Vid behov kan Hercules utföra beräkningar för sidobelastade och utmattningsbelastade pålar.

5.2.1 Beräkning av dimensionerande skjuvhållfasthet

För att kunna utläsa korrekt strukturell bärförmåga ur tabellerna i avsnitt 7 måste den dimensionerande skjuvhållfastheten vara känd. Den dimensionerande skjuvhållfastheten tas fram enligt nedan, utgående från ett valt värde, vilket normalt återfinns i en geoteknisk Projekterings-PM. Pålens strukturella bärförmåga med hänsyn till knäckning baseras på jordens bäddmodul, vilken beror av den omgivande jordens skjuvhållfasthet. Beräkningen av jordens bäddmodul baseras på medelvärdet av lerans dimensionerande skjuvhållfasthet utmed en längd som motsvarar pålens knäcklängd. Vid användandet av tabellvärden måste dock knäcklängden uppskattas vid ett sådant förfarande. För en betongpåle med sidomått 235 mm kan knäcklängden uppskattas till ca 4–4,5 m och för en påle 270 mm till ca 4,5–5,5 m. Knäcklängden ökar med lägre värden på skjuvhållfastheten och med större armeringsinnehåll (styvhet). För gränstillståndet STR och dimensioneringsätt 3 (DA3), där ett lågt värde är ogynnsamt, ska jordparameterns dimensionerande värde enligt TD Grunder [33] sättas till;

$$c_{ud} = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \eta \cdot c_u$$

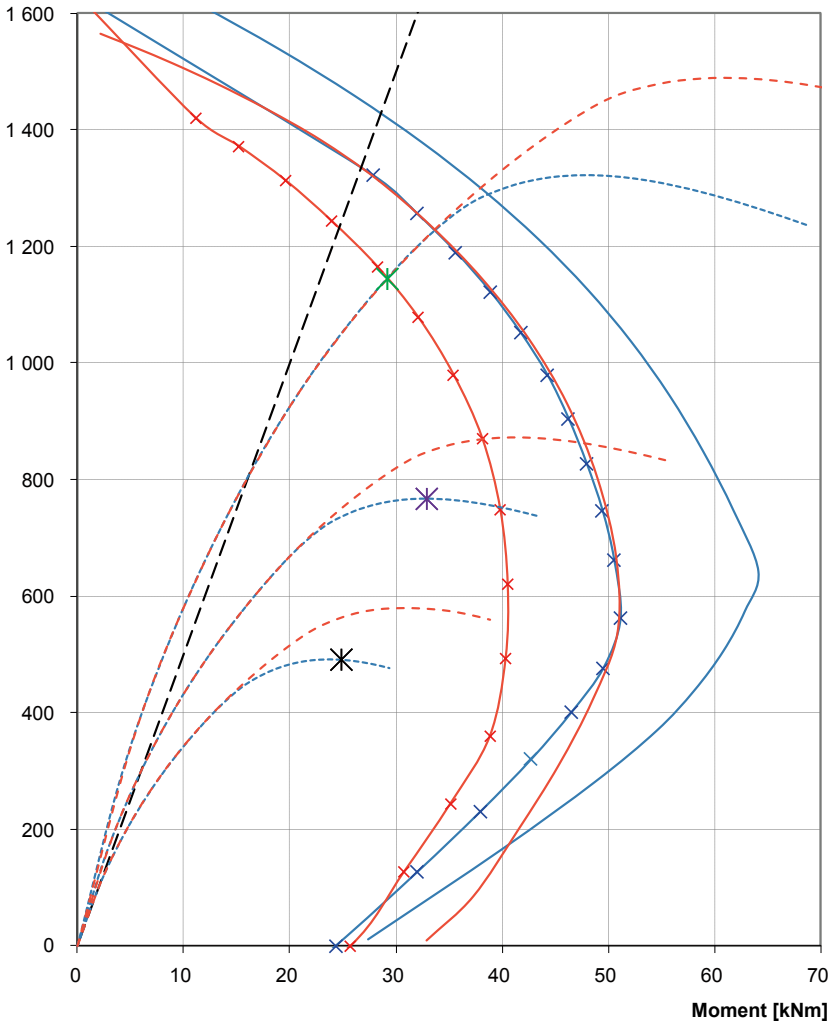
där:

c_u = Valt värde på materialegenskapen, utvärderat från sammanställning av de härledda värdena, där felaktiga mätvärden exkluderats. Hänsyn ska tas till empiri och undersökningsmetodens relevans för aktuell brottmekanism. De härledda värdena är utvärderade ur geotekniska undersökningar i fält eller laboratorium efter korrigering för systematiska fel, samt i tillämpliga fall korrigerade för t.ex. flytgräns, plasticitetsindex och överkonsolideringsgrad.

η = Omräkningsfaktor som tar hänsyn till osäkerheter relaterade till jordens egenskaper och aktuell konstruktion (både pålarna och ovanförliggande konstruktion).

γ_M = Fast partialkoefficient = 1,5, enligt nationella val gjorda av Boverket och Transportstyrelsen, se vidare [14] och [15].

Normalkraft [kN]



Figur 5. Fiktiv 235-påle med skarv.

För val av omräkningsfaktor η , se avsnitt 4.3.6 i TD Pålgrundläggning [34]. Vid värden på omräkningsfaktorn större än 1,0 eller lägre än 0,7, bör en bedömning göras om värdet är rimligt. Någon ytterligare modellfaktor, γ_{Rd} , behöver ej appliceras på skjuvhållfasthetsvärdet vid beräkning av böjknäckning/stukning enligt Pålkommissionens beräkningsmodell.

5.2.2 Brottgränstillstånd (ULS)

Pålelementet, inklusive dess skarv, kontrolleras i tryckbelastning med hänsyn till knäckning. Ett exempel på beräkningsresultat visas i Figur 5. Då pålen står omgiven av jord med mycket låg skjuvhållfasthet beror pålens maximala strukturella bärförmåga på brott i jorden och knäckkurvan når inte fram till elementets eller skarvens brottenvelopp, se kurva för $c_{ud} = 3$ kPa och $c_{ud} = 6$ kPa i Figur 5. När jorden är fastare blir knäckkurvornas korsningspunkt med de olika brottenveloperna dimensionerande. För en mer utförlig beskrivning av beräkningsmodellen hänvisas till Pålkommissionens rapporter 81 [21], 84a [22] 96.1 [24], respektive 108 [28]. I drag beräknas både pålelementets och skarvens draglastbärförmåga.

5.2.3 Bruksgränstillstånd (SLS)

I bruksgränstillstånd kontrolleras betongens maximala kanttryckpåkänning i tryck och dess sprickvidder i drag. Skarven kontrolleras på liknande sätt som i brottgränstillstånd, utifrån knäckkurvor och brottenveloper i tryck. I drag är skarvarmeringens förankring i betongen dimensionerande. I bruksgränstillstånd tillåts ingen plasticering i vare sig jord eller pålmaterial.

5.3 Geoteknisk bärförmåga (GEO)

I Rapport 106 [27] finns praktiska råd och rekommendationer vid projektering och kontroll av olika typer av pålar. Rapporten innehåller riktlinjer för hur den geotekniska bärförmågan kan uppskattas i ett projekteringskede.

Den slutliga verifieringen av den geotekniska bärförmågan kan ske på olika sätt; genom beräkning, genom hävdvunna åtgärder, eller genom provning/provpålning. Genom provning med stötvågsmätning kan störst andel av den geotekniska bärförmågan tillgodoräknas och därför är detta den vanligaste verifieringsmetoden i Sverige. Pålarnas dragbärförmåga kan inte bestämmas med hävdvunnen åtgärd, för detta krävs antingen beräkningar eller provning/provpålning. Lagg märke till att den geotekniska dragbärförmågan ofta är dimensionerande.

5.3.1 Verifiering av geoteknisk bärförmåga med beräkning

Beräkning av betongpålars geotekniska bärförmåga, i tryck och drag, är i praktiken begränsad till fallen med mantelburna kohesionspålar i lera och till viss del till pålar i friktionsjord. Det är dock sällan en betongpålens bärförmåga i friktionsjord verifieras med endast beräkning, eftersom säkerhetsfaktorerna blir relativt höga och slutprodukten därmed onödigt dyr. För sådana pålar brukar verifieringen utföras med dynamisk stöt-vågsmätning och efterföljande signalmatchning med CAPWAP-analys. För information om beräkning av geoteknisk bärförmåga för dessa påltyper hänvisas till Rapport 106 [27], avsnitten 6.2 och 6.3. Här återfinns vidare hänvisningar till relevanta rapporter och dokument. Installationssimulering med WEAP betraktas också som dimensionering genom beräkning, men tillåts endast för rent spetsbärande pålar, se Rapport 106 [27].

5.3.2 Verifiering av geoteknisk bärförmåga med hävdvunnen åtgärd

Hävdvunnen åtgärd enligt Eurokod, är för betongpålar de uppdaterade tabellerna med stoppslagskriterier, som sedan tidigare finns framtagna i Trafikverkets olika publikationer och i Pålkommisionens Rapport 94 [23]. I Rapport 106 [27] under avsnitt 5 återfinns information om detta tillvägagångssätt.

Tabell 4. I TSFS kap. 38 tabell 38.12 [15] återfinns följande tabell för Trafikverks-tillämpningar.

Hejare	Fallhöjd [m]	Dimensionerande geoteknisk bärförmåga R_d (kN) för förtillverkade betongpålar, installerade med frifallshejare	
		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

Stoppslagning ska ske med frifallshejare till sjunkning $s = 10 \text{ mm}/10 \text{ slag}$. Vid stoppslagning mot berg ska inmejsling utföras med 300 slag med fallhöjd 20 cm och avslutas med tre serier om 10 slag med 80 % av fallhöjden. Sjunkningen per serie ska vara mindre än 3 mm och då godtas att dimensionerande bärförmåga R_d ökas med 10 %. Om en påle förlängs med knekt under stoppslagningen väljs 0,1 m högre fallhöjd.

För Eurokodtillämpningar i säkerhetsklass 1 kan tabellerna i Rapport 94 [23] användas. Lägg märke till att de gamla beteckningarna på standardpålar kvarstår i rapporten, den är inte uppdaterad enligt Eurokod. För praktisk tillämpning gäller Tabell 5. Stoppslagningskriterierna i tabellen gäller för frifallshejare. För accelererande hejare hänvisas till Pålkommissionens Tekniska PM [31]. Observera att tabellen inte kan användas för dessa hejartyper.

Tabell 5. Geoteknisk bärförmåga enligt hävdvunnen metod enligt Rapport 94. SP1 för pålar med kantmått 235 mm och SP2/SP3 för pålar med kantmått 270–275 mm.

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 ¹⁾				
3 (berg)	0,2	385	450	500	530	605
	0,3	525	605	605	640	
	0,4	625				

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	

1) Understrukna tabellvärden innebär att fallhöjden ska sänkas med 5 cm.

5.3.3 Verifiering av geoteknisk bärförmåga med provning/provpålning

Det absolut vanligaste sättet att verifiera geoteknisk bärförmåga för betongpålar är genom provning/provpålning med efterföljande kontroller. Rapport 106 [27] ger information om tillvägagångssätt, omfattning och utvärdering av både statisk och dynamisk provbelastning av pålar. I vanliga fall används dynamisk provning, s.k. stötvågs mätning. För i huvudsak spetsbärande pålar utvärderas resultaten med CASE-metod, men om pålen är stoppslagen i friktionsjord eller om den är i huvudsak mantelburen i friktionsjord, ska en signalmatchning med s.k. CAPWAP-analys utföras. Dels för att erhålla korrekt jorddämpningsfaktor och därmed korrekt total bärförmåga och dels för att kunna separera mantel- och spetsbärförmåga. Beroende på omfattningen och de geotekniska förhållandena på platsen kan den maximalt påvisbara geotekniska bärförmågan variera i relativt stor omfattning. Rapport 106 [27] ger också riktlinjer för att uppskatta erforderliga mätningssatsar och förväntad påvisbar geoteknisk bärförmåga.

För det enkla förhållandet att betongpålar drivs till bergstopp kan man uppskatta att det går att karakteristiskt verifiera ca 2 400–2 600 kN på en påle med kantmått 270 mm och ca 1 800–1 850 kN på en påle med kantmått 235 mm. Om pålarna stoppslås i mycket fast bottenmorän sjunker dessa siffror till ca 1 900–2 100 kN respektive ca 1 500–1 600 kN. För bedömning av preliminär bärförmåga, se avsnitt 8 och Bilaga A i Rapport 106 [27]. Den dimensionerande geotekniska bärförmågan, R_d , kan därefter beräknas enligt nedan.

Information om detta återfinns, förutom i normen för dimensionering av geokonstruktioner [5], också i exempelvis TD Pålgrundläggning [34]. De nationellt valda modellfaktorerna framgår av anpassningsdokumenten till Eurokoderna från Boverket [14] och Transportstyrelsen [15]. De finns också sammanställda i TD Grunder [33].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_t \gamma_{Rd}} \cdot \left\{ \frac{R_{medel}}{\xi_5} ; \frac{R_{min}}{\xi_6} \right\}$$

där;

R_{medel} = Uppmätt geoteknisk bärförmåga, medelvärde.
Rekommenderade värden på spetsmotstånd kan användas som ledning för att uppskatta vad som är möjligt att verifiera för spetsburna pålar, se ovan.

R_{min} = Uppmätt geoteknisk bärförmåga, minimivärde.

γ_t = Partialkoefficient för bärförmåga enligt TSFS kapitel 38, tabell 38.8, se även tabell 6.

γ_{Rd} = Modelfaktor för stötvågsmätning enligt TSFS kapitel 38 tabell 38.8 respektive Tabell I-11 i BFS. Normalt väljs 1,0 för CASE-metoden och 0,85 om mätkurvorna analyseras med CAPWAP eller om pålarna är stoppslagna i mycket fast morän eller mot berg. Notera att produkten mellan modelfaktor och korrelationskoefficient inte får understiga 1,0.

ξ_5 = Korrelationskoefficient som tar hänsyn till antalet provade pålar och det uppmätta medelvärdet enligt TSFS kapitel 38, tabell 38.15 respektive Tabell I-11 i BFS se tabell 7.

ξ_6 = Korrelationskoefficient som tar hänsyn till antalet provade pålar och det uppmätta minimivärdet. I övrigt samma som för korrelationskoefficient för medelvärdet.

Tabell 6. Partialkoefficienter för verifiering av geoteknisk bärförmåga (γ_R) för slagna pålar

Bärförmåga		
Spets	γ_b	1,2
Mantel (tryck)	γ_s	1,2
Total/kombinerad (tryck)	γ_t	1,2
Mantel (drag)	$\gamma_{s;t}$	1,3

Korrelationskoefficienter, ξ för bestämning av karakteristisk geoteknisk bärförmåga hos pålar baserat på resultat från dynamisk provbelastning^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8} (n – antal provade pålar), utdrag ur BFS 2015:6 EKS 10 [14]. Likvärdig information återfinns även i TSFS kapitel 38, tabell 38.15 [15].

Tabell 7. Korrelationskoefficienter för dynamisk provbelastning [15].

ξ för $n =$	3 ⁷	4	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20	≥ 40	Samtliga pålar
ξ_5	1,60	1,55	1,50	1,45	1,42	1,40	1,35	1,30
ξ_6	1,50	1,45	1,35	1,30	1,25	1,25	1,25	1,25

- I tabellen givna ξ –värden gäller för dynamisk provbelastning utvärderad med CASE-metoden.
- I tabellen givna ξ –värden multipliceras med modellfaktorn 0,85 när signalmatchning av stötvågorna utförs eller då permanent sjunkning ≤ 2 mm per mätslag samt utvärderad spetsfjädring $< D/60$ för spetsburna pålar.
- Om grundläggningen består av olika påltyper behandlas var typ för sig vid val av antal propålar, n .
- Vid utvärdering av bärförmåga vid drag från signalmatchning får maximalt 70 % av mantelns bärförmåga utnyttjas. Modellfaktorn för bärförmåga vid drag ska när värderingen baseras på signalmatchning väljas lika med 1,3.
- Signalmatchning ska alltid utföras för huvudsakligen mantelburna pålar.
- Pålsagningsformler får inte kombineras med dessa korrelationskoefficienter.
- Tillämpbar endast vid enhetliga geotekniska förhållanden och med ett avstånd mellan pålar inom kontrollobjektet på maximalt 25 meter. Med kontrollobjekt avses en grupp av pålar med enhetligt installations- och verkningssätt i en enhetlig jordvolym.
- För byggnadsverk med tillräcklig styvhet och hållfasthet för att överföra laster från svaga till starka pålar kan korrelationskoefficienterna ξ_5 och ξ_6 divideras med 1,1.

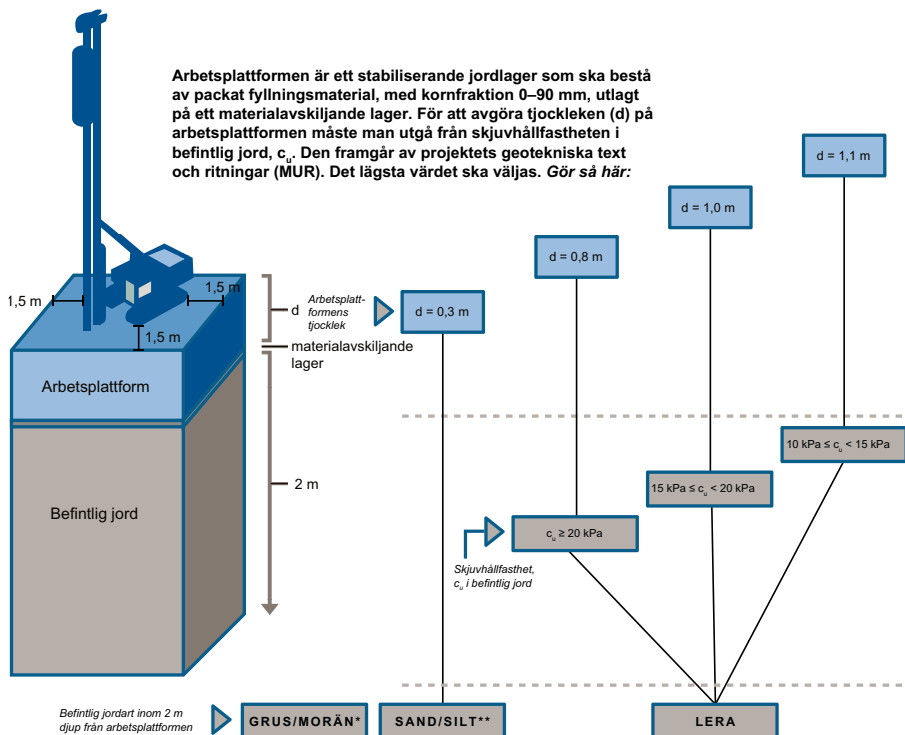
Observera att kontrollen måste utföras både för medelvärden och minimivärden. I aktuella fall utförs beräkning utgående från statistiska provbelastningar på liknande sätt, med andra koefficienter.

Lägg också märke till att produktionskontrollen för projektet mycket väl kan komma att kräva att ytterligare stötvågsmätningar utförs, förutom själva propålingen. Riktlinjer för behov och omfattning av produktionskontroll återfinns i Pålkommisionens rapport 106, avsnitt 9 [27]. Omfattningen av kontrollen beror bland annat av hur hårt pålarna utnyttjas.

6. Arbetsmiljö

6.1 Arbetsplattform

Vid projektering av betongpållning skall hänsyn tas till de mellan 55 och 80 ton tunga pålkranarnas behov av arbetsplattform vilken skall ha tillräcklig bärighet och stabilitet, samt göra det möjligt för personalen att röra sig fritt invid kranen. De översta 10 cm i arbetsplattformen ska inte utgöras av material grövre än 45 mm. För en första bedömning av arbetsplattformens tjocklek kan Figur 6 användas. Arbetsplattformen är en tillfällig konstruktion och skall alltid dimensioneras och verifieras av beställarens geotekniker. Riktlinjer för utförandet finns i handboken "Säker uppställning av tunga anläggningsmaskiner" publicerad på Byggtjänst [37].



Arbetsplattformen är ett stabiliserande jordlager som ska bestå av packat fyllningsmaterial, med kornfraktion 0–90 mm, utlagt på ett materialavskiljande lager. För att avgöra tjockleken (d) på arbetsplattformen måste man utgå från skjuvhållfastheten i befintlig jord, c_u . Den framgår av projektets geotekniska text och ritningar (MUR). Det lägsta värdet ska väljas. Gör så här:

Befintlig jordart inom 2 m djup från arbetsplattformen

* Vanligtvis krävs ingen extra uppbyggd arbetsbädd.

**avhängig av vattenförekomst

När maskinen arbetar ska ytan vara plan och horisontell. När maskinen förflyttar sig får inte lutning på markytan vara brantare än 1:6, vilket motsvarar cirka 10°.

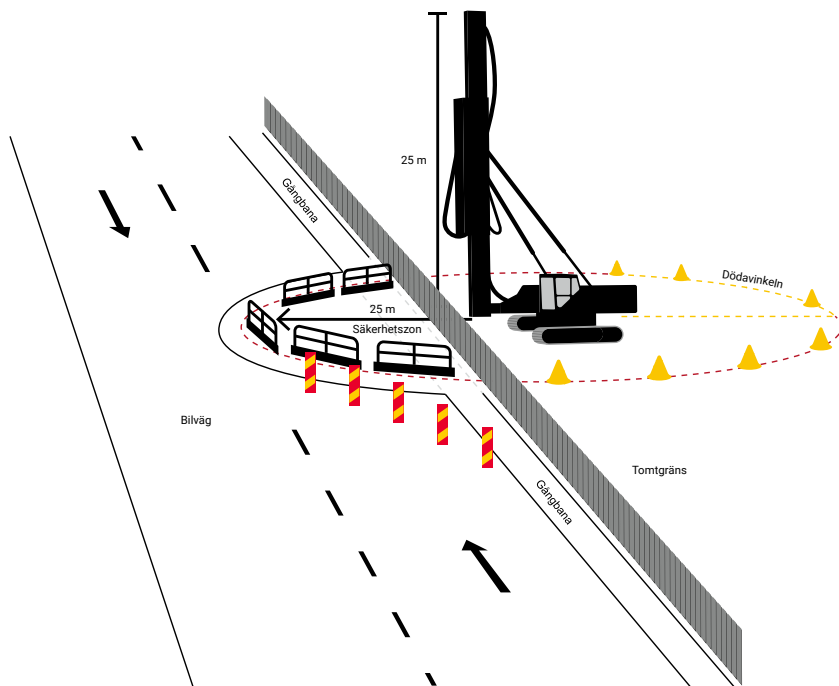
Figur 6. Erforderlig arbetsplattform utifrån jordens egenskaper.

6.2 Säkerhet kring pålkran

Tunga lyft är ett ständigt återkommande moment som måste kunna ske på ett säkert sätt.

Riskområdet runt maskinerna är bedömt till 25 m, med hänsyn till lyft, hantering och inresning av pålelement mm. Vid pålning i närhet av tredje man kan särskilda skyddsåtgärder behöva föreskrivas, till exempel gångcontainers mm.

Vid arbete över vatten tillkommer ytterligare arbetsmiljökrav.



Figur 7. Säkerhetsavstånd kring pålmaskin.

6.3 Augerborrhål

Oavsett pålgrundläggningsmetod utgör augerborrhålet en arbetsmiljörisk som måste beaktas. Öppna hål kan leda till feltramp av personal runt pålmaskinen (se kapitel 4.4.3). I normalfallet ska hålrummet fyllas med en påle men ibland förbereds flera hål innan pålar installeras och hålen kan övertäckas när jordhögen från augerborrningen avlägsnas med grävmaskin vilket gör det svårt att se hålen. För att förbättra arbetsmiljön bör hålen täckas med plywoodskivor.

7. Miljö och klimat

7.1 EPD

För Hercules betongpålar finns EPD:er (Environmental Product Declaration, miljövarudeklaration), som är ett resultat av LCA (livscykelanalys) som utförs i enlighet med de standarder som gäller för byggprodukter. EPD:erna är tredjepartsgranskade och visar en produkts miljöprestanda på ett standardiserat sätt och finns att tillgå via www.environdec.com [38]. De visar inte enbart CO2 belastning, utan också påverkan på tex försurning, ozonnedbrytning, marknära ozon, övergödning och biologisk mångfald.

HERCULES CONCRETE PILE

**Environmental Product Declaration for
Hercules Grundläggning AB
Concrete Pile HP 270-0416**



According to EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021, ISO 14025, ISO 14040 and ISO 14044
Program operator: The International EPD[®] System, www.environdec.com
Declaration owner: Hercules Grundläggning AB

Valid until 2030-01-09 Version 2025-05-13
Reg. no. EPD-IES 0001763.001 UN CPC 54511

The verifier and the program operator do not make any claim nor have any responsibility of the legality of the product, its production process or its supply chain. The EPD owner is the sole owner and has liability and responsibility for the EPD.

EPD INFORMATION	
Declared unit:	1 metre of concrete pile HP 270-0416
Service Life:	100 years
PCR:	PCR 2019-14: Construction products; Version 1.3.4, 2024-04-30, the International EPD System
C-PCR-083 (to PCR 2019-14):	Concrete and concrete elements (EN 12617-2:2021; Version 2024-04-30, the International EPD System)
Program operator:	The International EPD [®] System, operated by EPD International AB Box 210 60

EPDs within the same product category that registered in different EPD programmes, or not compliant with EN 15804, may not be comparable. For two EPDs to be comparable, they must be based on the same PCR (including the same sector number) or be based on fully aligned PCRs or versions of PCRs cover products with identical functions, technical performance and use the identical declared functional units. Have equivalent system boundaries and classification of data, apply equivalent data quality requirements, methods of data collection, and allocation methods, apply identical cut-off rules and impact assessment methods (including the same version of characterization factors). Have equivalent content declarations, and be valid at the time of comparison. For further information about comparability, see EN 15804 and ISO 14025.

Bild 6. EPD på Hercules betongpålar

7.2 Klimatpåverkan

I Figur 9 redovisas olika påltyper relativa klimatpåverkan. Där framgår att betongpålar i regel har en avsevärt lägre klimatbelastning än stålpålar i förhållande till bärförmåga. Anledningen till att skillnaderna mellan betongpålar och stålpålar inte är större beror till stor del på att stålpålar i större utsträckning är optimerade för sina lasteffekter, medan betongpålar kan användas för avsevärt lägre lasteffekter än de egentligen klarar, på grund av att de är så mycket billigare än stålpålarna. Därmed blir belastningen per uppburet kN last högre för många betongpålar. Av samma anledning förefaller 350 betongpålar bättre än de mindre betongpålarna. 350-pålarna är dyrare per kN och används därför enbart där de kan optimeras eller måste användas av andra anledningar.



Figur 9. Olika pålars relativa klimatpåverkan (enligt Pålkommisionen)

7.3 Energipålar

Hercules har under ett flertal år medverkat i olika projekt om Energipålar med Chalmers och NCC Teknik. Produkten är i stort sett en standardprodukt med ett ingjutet rör, se bild 7. Kollektorslangar installeras i efterhand för att utvinna värme från marken och gjuts sedan igen. Dessa pålar saknar en mindre del av betongtvärsnittet vid installation och vid verifiering av geoteknisk bärförmåga, varför de inte är anpassade för att maximera geoteknisk bärförmåga. Konstruktivt klarar de i stort sett samma lasteffekter som andra motsvarande pålar.



Bild 7. Energipåle innan gjutning

7.4 El-pålkranar

För att uppnå målet om en fossilfri bygg- och anläggningssektor senast 2045 måste utvecklingen och användningen av eldrivna arbetsmaskiner öka. Hercules långsiktiga mål är att utföra fossilfri grundläggning och som ett första steg mot detta mål utvidgade Hercules maskinparken med en elektrisk pålkran år 2022. Denna kran, LRH100 Unplugged, var när den kom världens första elektriska räckviddspålkran. Den eldrivna pålkranen har samma kapacitet som motsvarande dieseldrivna pålkran. Pålkranen användes med goda erfarenheter i flera grundläggningsprojekt runt om i Sverige. Idag har Hercules införskaffat ytterligare två elektriska pålkranar. Ytterligare en LRH100 Unplugged men även en LRH200 Unplugged till vilken Hercules har en 10 tons hejare. Hercules strävar efter att successivt byta ut maskinparkens dieseldrivna pålkranar mot elektriska motsvarigheter!

8. Tabeller avseende strukturell bärförmåga (STR)

Tabellerna över pålarnas strukturella bärförmåga (STR) i ULS och SLS visar endast den rent axiella bärförmågan, d.v.s. de kan inte användas för transversal-/momentbelastade pålar med tilläggsutböjningar. Inte heller finns några beräkningar av utmattningslastkapaciteter, dessa måste utföras i varje enskilt fall, med beaktande av geologi, installationsförfarande och utmattningslasteffekter från överliggande konstruktion. Dessa belastningsfall är oftast bara aktuella i Trafikverkstillämpningar, där objektspecifika ritningar och beräkningar ändå ska utföras. I förekommande fall utförs dessa beräkningar och ritningar av Hercules.

Tabellerna 9–16 bygger på ett antal fasta förutsättningar, se Tabell 8. Observera att tabeller med bärförmågan för bergskon ligger utanför tabellerna för den skarvade pålen. Både bärförmågan hos bergskon och det skarvade pålelementet måste alltså kontrolleras för att få fram det dimensionerande värdet. Detta beror på att bergskons rostman förutsätts till 2 mm på 100 år och att den därför kan få olika bärförmåga beroende på livslängd. Rätlinjig interpolation är tillåten. I normalfallet är livslängden 100 år, men Trafikverket kräver en teknisk livslängd på 120 år.

Beräkningarna av bergskornas dimensionerande bärförmåga utförs i ett flertal olika snitt. Beräkningarna av bergdubben har utförts med antagande av en lastexcentricitet på dubben uppgående till Diametern/10. Enligt Pålkommissionen Teknisk PM 1:2008 kan detta accepteras om man kan visa att en tryckspänning om minst 300 MPa introducerats över hela dubbens yta. Spänningen anses överskrida svenska bergarters tryckhållfasthet, varför dubben kan anses vara nedmejslad och centrerad i berget. I ULS dimensionerar snitt genom ståldetaljer både bergskor för 270- och 350-pålar, varför avrostningen får genomslag på bärförmågan. För 235-pålar är inte beräkningssnittet över dubben dimensionerande och inte heller något av de övriga snitten som berör ståldetaljerna. Avrostningen blir därmed ointressant.

Alla beräkningarna är utförda med skarvad påelement. En motsvarande oskarvad påle har högre strukturell bärförmåga då pålen förutsätts vara rakare. Förutom påltyper som redovisas nedan kan specialpålar som anpassas till erforderliga lasteffekter tas fram för enskilda projekt.

Tabell 8. Beräkningsförutsättningar.

Partialkoefficienter	
Betonghållfasthet, brottstadie (γ_M)	$\gamma_C = 1,5$
Armeringshållfasthet, brottstadie (γ_M)	$\gamma_s = 1,15$
E-modul betong, brottstadie (γ_M)	$\gamma_{CE} = 1,2$
Lasters varaktighet	
Andel långtidslast brott	$a_{ltu} = 100 \%$
Andel långtidslast bruk	$a_{lts} = 100 \%$
Geoteknisk parameter	
Dimensionerande skjuvhållfasthet (c_{ud})	Enligt tabell 10, 12–14 och 16
Övriga parametrar	
Exponeringsklass	Enligt tabell 2
Livslängdsklass	L100
Pålelement	
Bredd, b	Enligt tabell, 235, 270 och 350 mm
Täckande betongskikt till bygelarmering	Enligt tabell, 25 och 45 mm
Lastexcentricitet, tryck	$e_c = 20$ mm
Faktor för initialkrokighet (skarvad påle)	$f_i = 150$

Armering

Armeringstyp	B500
E-modul	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Sträckgräns huvudarmering	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Faktor för armeringens bidrag	$K_S = 1,0$
Reduktion m.h.t. slagning, tryck, drag	$\mu_{sc} = 0,8$ $\mu_{st} = 0,8$
Kamstångers vidhäftning	$\kappa_1 = 0,8$
Diameter huvudarmering	$d = 16 \text{ mm}$
Antal huvudarmeringsjärn	Enligt tabell 10, 12-14 och 16
Diameter byglar	$\varphi_b = 5 \text{ mm}$

Betong

Tryckhållfasthet	$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$
Draghållfasthet	$f_{ctk} = 2,85 \text{ MPa}$
E-modul (sekantmodul)	$E_{cm} = 37,3 \text{ GPa}$
E-modul (tangentmodul)	$E_c = 39,1 \text{ GPa}$
Brottöjning	$\epsilon_{cu3} = 0,350 \%$
Betongens krympning (RH95%), bruksstadie	$\epsilon_{cs} = 0,115 \%$
Reduktion m.h.t. slagning, tryck	$\mu_{cc} = 0,8$
Reduktion m.h.t. slagning, drag	$\mu_{ct} = 0,8$
Effektivt kryptal	$\varphi_c = 1,6$
Tillåten sprickvidd	$w_k = 0,40 \text{ mm}$ för t_b 25 mm och 0,15 mm för t_b 45 mm

På grund av att lasteffektkurvan ("knäckkurvan") i de följande tabellerna beräknats med ekvivalent sidomotstånd, i enlighet med Pålkommisionen Rapport 108 [28], istället för som tidigare med ekvivalent arbete, blir bärförmågan lägre än tidigare för pålar i jord med låg skjuvhållfasthet.

Observera att nedanstående tabeller bara redovisar strukturell bärförmåga. Geoteknisk bärförmåga måste kontrolleras enligt kapitel 5.3.

Tabell 9. Bergsko 235, C50/60, $\mu=0,8$, värden för D/10.

(ULS) [kN]	(SLS) [kN]	anmärkning
1250	880	avrostning 0 mm
1250	880	avrostning 2,4 mm på 120 år

Tabell 10. HP235-0416, skarvad, C50/60, $\mu_c=\mu_s=0,8$, $t_b=25$ mm.

C _{ud} [kPa]	(ULS) [kN]		(SLS) [kN]	
	tryck	drag	tryck	drag
3	491	259	543	214
4	598	259	660	214
6	765	259	737	214
8	911	259	783	214
10	1039	259	818	214
12	1093	259	846	214
15	1144	259	878	214
20	1201	259	918*	214

* Bergskon dimensionerar

Tabell 11. Bergsko 270, C50/60, $\mu=0,8$, värden för D/10.

(ULS) [kN]	(SLS) [kN]	anmärkning
1757	1261	avrostning 0 mm
1686	1261	avrostning 2,4 mm på 120 år

Tabell 12. HP270-0416, skarvad, C50/60, $\mu_c=\mu_s=0,8$, $t_b=25$ mm.

C_{ud} [kPa]	(ULS) [kN]		(SLS) [kN]	
	tryck	drag	tryck	drag
3	616	280	685	285
4	751	280	840	285
6	980	280	1008	285
8	1162	280	1075	285
10	1325	280	1125	285
12	1478	280	1164	285
15	1559	280	1210	285
20	1643	280	1263*	285

* Bergskon dimensionerar

Tabell 13. HP270-0816, skarvad, C50/60, $\mu_c=\mu_s=0,8$, $t_b=25$ mm.

C_{ud} [kPa]	(ULS) [kN]		(SLS) [kN]	
	tryck	drag	tryck	drag
3	746	411	825	301
4	889	411	930	301
6	1134	411	1023	301
8	1345	411	1085	301
10	1469	411	1127	301
12	1526	411	1165	301
15	1591	411	1207	301
20	1662	411	1258	301

Tabell 14. HP270-0816, skarvad, C50/60, $\mu_c=\mu_s=0,8$, $t_b=45$ mm.

C_{ud} [kPa]	(ULS) [kN]		(SLS) [kN]	
	tryck	drag	tryck	drag
3	646	411	715	116
4	787	411	876	116
6	1010	411	983	116
8	1199	411	1056	116
10	1369	411	1105	116
12	1458	411	1144	116
15	1533	411	1190	116
20	1616	411	1247	116

Tabell 15. Bergsko 350, C50/60, $\mu=0,8$, värden för D/10.

lastkapacitet (ULS) [kN]	lastkapacitet (SLS) [kN]	anmärkning
2598	2246	avrostning 0 mm
2227	2246	avrostning 2,4 mm på 120 år

Tabell 16. HP350-0816, skarvad, C50/60, $\mu_c=\mu_s=0,8$, $t_b=25$ mm.

C_{ud} [kPa]	(ULS) [kN]		(SLS) [kN]	
	tryck	drag	tryck	drag
3	1140	559	1256	405
4	1378	559	1539	405
6	1753	559	1782	405
8	2081	559	1894	405
10	2381*	559	1976	405
12	2562*	559	2041	405
15	2673*	559	2117	405
20	2801*	559	2210	405

* Bergskon dimensionerar

9. Styrande dokument/referenser

För påldimensionering är nedanstående angivna dokument styrande, normativa och kan ge vägledning vid dimensionering enligt Eurokod. De dokument som inte är normativa utgörs av krav, tekniska beskrivningar och rapporter, vilka utgör branschpraxis i Sverige vid dimensionering och utförande av pålning.

Benämning	Innehåll
Normer och standarder	
[1] SS-EN 1990	Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk.
[2] SS-EN 1991-1-1	Laster på bärverk – Del 1-1: Allmänna laster
[3] SS-EN 1992	Dimensionering av betongkonstruktioner
[4] SS-EN 1993	Dimensionering av stålkonstruktioner
[5] SS-EN 1997-1:2005	Dimensionering av geokonstruktioner
[6] SS-EN 197-1	Cement –Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement
[7] SS-EN 206	Betong – Del 1:Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse
[8] SS 134204	Cement –Sammansättning och fordringar för sulfatresistenta cement (SR-cement)
[9] SS 137003	Betong – Användning av EN 206 i Sverige
[10] SS 137244	Betongprovning –Hårdnad betong –Avflagnig vid frysning
[11] SS-EN 10080	Armeringsstål –Svetsbart armeringsstål –Allmänt

- [12] SS-EN 212540 Produktspecifikation för SS-EN 10080:2005 – Armeringsstål – Svetsbart armeringsstål – Tekniska leveransbestämmelser för stång, coils, svetsat nät och armeringsbalk
- [13] SS-EN 1090-2:2008 Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner – Del 2: Stålkonstruktioner

Nationella anpassningar

- [14] BFS 2011:10 EKS med gällande ändringar till BFS 2022:4, EKS 12 Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder.
- [15] TSFS 2018:57 Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder

Utförandestandarder

- [16] SS-EN 12699:2015 Utförande av geokonstruktioner – Massundanträngande pålar.

Tillverkningsstandarder

- [17] SS-EN 12794:2005 Förtillverkade betongprodukter – Betongpålar
- [18] SS-EN 13369:2013 Förtillverkade betongprodukter – Gemensamma regler

Krav och Tekniska beskrivningar

- [19] TRVINFRA 00230 Trafikverkets tekniska krav avseende dimensionering och utformning av geokonstruktioner
- [20] AMA Anläggning Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten.

Pålkommissionsrapporter

- [21] Rapport 81, med supplement Systempålar. Stödpålar av höghållfasta, korrosionsskyddade stålrör, slagna med lätta höghastighetshejare. Anvisningar för beräkning av dimensionerande bärförmåga.

[22] Rapport 84a med supplement	Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord
[23] Rapport 94	Standardpålar av betong – lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga
[24] Rapport 96:1 med supplement 1 och 2	Dimensioneringsprinciper för pålar – lastkapacitet
[25] Rapport 100 med supplement	Kohesionspålar
[26] Rapport 101 med supplement	Transversalbelastade pålar
[27] Rapport 106	Verifiering av geoteknisk bärförmåga för pålar enligt Eurokod
[28] Rapport 108	Samverkanspålar av stål och betong

Övrigt

[29] Information 2025:1	Pålkommisionen Pålstatistik för Sverige 2024
[30] Info 2007:1 Pålgrundläggning	Pålkommisionen Grundinformation för projektörer
[31] Tekniskt PM 1:2012	Pålkommisionen Accelererande hejare
[32] Handboken Pålgrundläggning	Dimensionering och utförande av grundläggning på pålar
[33] IEG Rapport 2:2008 rev 3 Tillämpningsdokument Grunderna i Eurokod 7	IEG Tillämpningsdokument
[34] IEG rapport 8:2008, rev 3 Tillämpningsdokument, EN 1997-1 Kapitel 7 Pålgrundläggning	IEG Tillämpningsdokument
[35] Betongrapport nr 11	Svenska Betongföreningen, Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206
[36] Boverket, "Att sälja byggprodukter"	https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/byggprodukter/att-salja-byggprodukter/
[37] Säker uppställning av tunga anläggningsmaskiner	Byggtjänst eller https://www.sgi.se/globalassets/effektivare-markbyggande/epdf_saker-uppstallning-av-tunga-anlaggningsmaskiner.pdf
[38] The International EPD System	www.environdec.com