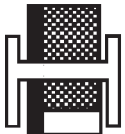




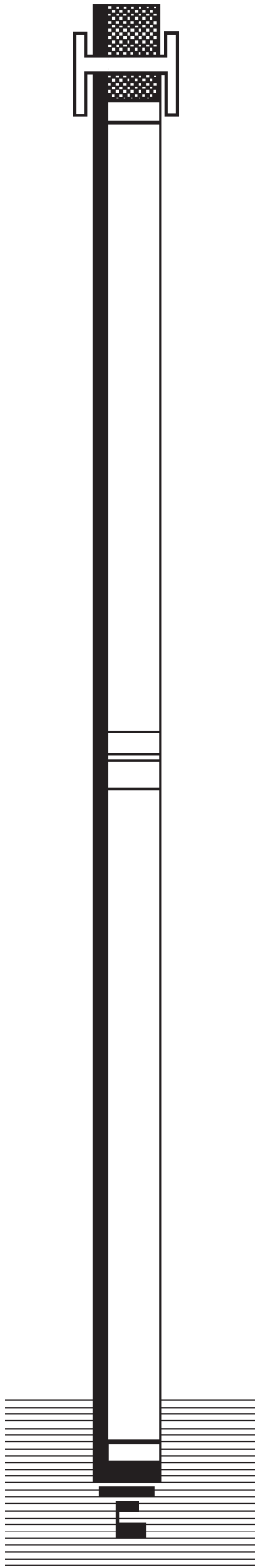
PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research



Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar

ÅKE BENGSSON
BO BERGLARS
SVEN HULTSJÖ
JAN ROMELL



Linköping 2000

rapport 98

PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

rapport 98

Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar

ÅKE BENGTSSON
BO BERGLARS
SVEN HULTSJÖ
JAN ROMELL

Tilltryck 200ex, april 2011

| | |
|-----------------------|---|
| Rapport | Pålkommisionen 581 93 Linköping |
| Beställning | Statens geotekniska institut Biblioteket Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 14 e-post: info@swedgeo.se internet: www.byggforum.com/pk |
| ISSN | 0347-1047 |
| ISRN | IVA/PAL/R--00/98--SE |
| Redigering och layout | Statens geotekniska institut |
| Upplaga | 600 ex |
| Tryck | Roland Offset AB, Linköping, maj 2000 |

Förord

Stålpålar har många fördelar framför pålar av andra material, och användningen av slanka stålpålar har ökat kraftigt de senaste decennierna. Det finns många slags slanka stålpålar och de installeras och stoppslås med en mängd olika utrustningar enligt skilda principer. Dimensionering av lastkapaciteten är komplicerad och måste bl a omfatta pålens beständighet i mark och grundvatten under 100 år efter installationen. Olika tillverkare och entreprenörer valde att utveckla egna, produktspecifika typdimensioneringar och regler för verifiering av bärförmågan, i många fall med typgodkännanden från SITAC och dess föregångare.

I slutet av 1990-talet fanns därför på marknaden en flora av till synes likartade stålpålar, som dimensionerades på olika sätt, med olika brottsäkerhetsnivå och med hänsyn till olika lastfall. Pålkommisionen beslöt därför att med utgångspunkt från faktamaterial och principiella synsätt i det pågående projektet ”Gemensamma dimensioneringsprinciper” (för alla slags pålar) ge ut denna rapport, där kraven i Boverkets Konstruktionsregler, BKR, omsätts i dimensioneringsanvisningar, som kan tillämpas för alla slags slagna, slanka stålpålar.

Rapporten vänder sig å ena sidan till alla som dimensionerar stålpålar och å andra sidan till alla som dimensionerar byggnadsverk på stålpålar eller på något sätt granskar påldimensioneringen och -installationen för beställares, byggherrars och ytterst brukares räkning. För att få genomslag hos de senare kategorierna har rapporten fått en sammanfattning, vilken tillsammans med två checklistor kan användas av icke-specialister för att kontrollera hur dimensioneringen skett i ett enskilt projekt.

Rapporten har tagits fram av en arbetsgrupp bestående av Åke Bengtsson, Bo Berglars, Sven Hultsjö (projektledare) och Jan Romell. Mycket värdefulla bidrag har även lämnats av Claes Alén, Göran Camitz och Tor-Gunnar Vinka.

Remissbehandlingen av rapporten har varit bred, väckt stort intresse och inneburit många värdefulla påpekanden, som inarbetats i den nu föreliggande texten.

Till projektet utsåg Pålkommisionen en styrgrupp bestående av Björn Dehlbom, Sami Eronen, Lars Erixon och Carl-John Grävare.

Rapportens bakgrund och gruppens arbetssätt beskrivs utförligt i ett eget kapitel.

Stockholm i april 2000
Författarna

Innehåll

| | |
|--|----|
| 1 Sammanfattning | 7 |
| 1.1 Sammanfattningen vänder sig till icke-expertter | 7 |
| 1.2 Rapportens bakgrund | 7 |
| 1.3 Rapportens innehåll | 8 |
| 1.4 Summary | 9 |
| 2. Bakgrund och arbetssätt | 11 |
| 2.1 Bakgrund | 11 |
| 2.2 Arbetssätt | 12 |
| 3. Material | 14 |
| 3.1 Allmänt. | 14 |
| 3.2 Stålmateriäl | 14 |
| 3.3 Betong | 14 |
| 3.4 Jord | 15 |
| 4 Laster och lasteffekter | 17 |
| 4.1 Laster från överbyggnad | 17 |
| 4.2 Geotekniska laster | 17 |
| 4.3 Initialkrokigheter och excentriciteter | 17 |
| 4.4 Installationslaster | 20 |
| 5 Lastkapacitet | 24 |
| 5.1 Allmänt | 24 |
| 5.2 Installerad påle. | 25 |
| 5.3 Installation | 31 |
| 5.4 Pålsko och pålpets | 31 |
| 5.5 Pålskarv | 32 |
| 6. Geoteknisk bärförmåga | 34 |
| 6.1 Definition av geoteknisk bärförmåga. | 34 |
| 6.2 Verifiering av geoteknisk bärförmåga | 34 |
| 6.3 Utförandeklasser 2A, 2B och 2C. | 35 |
| 6.4 Lasteffekt i påle vid stoppslagning. | 38 |
| 6.5 Datorsimulering av stoppslagning enligt kontrollklass 2A | 39 |
| 7. Beständighet | 41 |
| 7.1 Normer och normativa handlingar | 41 |
| 7.2 Dimensioneringskrav | 41 |
| 7.3 Dimensioneringsprinciper | 42 |
| 7.4 Rostmån, allmänt | 43 |
| 7.5 Rostmån, enkla förhållanden | 44 |
| 7.6 Rostmån, komplexa eller korrosiva förhållanden | 46 |
| 7.7 Rostmån, pålar i vatten | 47 |
| 7.8 Kringgjutning med betong eller cementbruk | 48 |
| 7.9 Korrosionsskyddande beläggningar | 49 |
| 7.10 Katodiskt skydd | 52 |

| | |
|--|----|
| 8. Utförande och kontroll | 53 |
| 8.1 Dimensionering och bygghandlingar | 53 |
| 8.2 Projektering och upphandling | 53 |
| 8.3 Några praktiska frågor av betydelse | 54 |
| 9. Jämförelse med praxis | 56 |
| 9.1 Dimensionering | 56 |
| 9.2 Utförande | 57 |
| 9.3 Beständighet | 57 |
| 9.4 Jämförelse med dagens praxis för vanliga påtyper | 58 |

Bilagor

| | | |
|----------|--|----|
| Bilaga 1 | Checklista för dimensionering av lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga | 59 |
| Bilaga 2 | Checklista för dimensionering av beständighet | 61 |
| Bilaga 3 | Jämförelse med dagens praxis | 63 |
| Bilaga 4 | Beräkningsexempel | 69 |

1 Sammanfattning

1.1 Sammanfattningen vänder sig till icke-expertyer

Denna sammanfattning vänder sig i första hand till sådana aktörer i byggprocessen, som har intresse av att den komplicerade kedjan; projektering – installation – verifiering av stålplåars funktion i vardagliga projekt, utförs på ett rimligt och normenligt sätt utan att själva besitta erforderlig specialistkunskap. Exempel är kvalitetsansvariga enligt PBL, byggnadsinspektörer, projekterings- och bygglidare samt projektörer av de byggnadsverk, som kommer att bäras av stålplåarna. I bilagor finns enkla checklistor som hjälp för dessa aktörer att kontrollera om dimensioneringen av stålplåar i ett givet projekt skett enligt denna rapport. Checklistorna kan med fördel göras till en del av projektets kvalitetsplan och kontrollplan enligt PBL.

Rapportens dimensioneringsanvisningar ansluter till Boverkets Konstruktionsregler, BKR, med underliggande anvisningar. Detta innebär att vissa byggherrar har ytterligare, andra och/eller mer detaljerade krav på dimensionering och utförande, t ex enligt BRO 94.

1.2 Rapportens bakgrund

Pålkommisionen bedriver ett flerårigt projekt syftande till normativa, gemensamma och enhetliga regler för dimensionering och utförande av all slags pålning. Under tiden har kommissionen givit ut en delrapport om beräkning av lastkapacitet (nr 96:1) och en specialrapport (nr 94) med dimensioneringsanvisningar och krav på verifiering av geoteknisk bärförmåga för (fallhejarslagna) standardpålar av betong, den dominerande påltypen i Sverige.

Den närmast vanligaste påltypen är slagna, slanka stålplåar, varmed i denna rapport avses sådana med mindre tvärmått än ca 250 mm och lägre dimensionerande bärförmåga än ca 1.000 kN.

Stålplåar har många fördelar – t ex påverkas materialegenskaperna föga vid installationen och de kan installeras med liten omgivningspåverkan. Till skillnad från betongpålar finns det många olika slags stålplåar och de slås med flera helt olika typer av hejare av många fabriker. En annan skillnad mot betongpålar är att det är svårt att mäta den geotekniska bärförmågan med de flesta hejare, som används för drivning och stoppslagning av slanka stålplåar.

Beräkning av stålplåars dimensionerande bärförmåga är avancerad och kan (bör) bara utföras av specialister. Vardaglig dimensionering i projekt sker vanligen av icke-specialister med hjälp av varumärkeskopplade, typifierade och ofta typgodkända beräkningar och anvisningar, vilka sammanfattas i enkla tabeller och nomogram för

dimensionerande bärförmåga. Så gott som samtliga innehåller begränsningar för tillämpligheten samt krav på tillhörande kontroller och verifieringar på pålningsplatsen. De har ibland missuppfattats eller feltolkats på så sätt att högre dimensionerande bärförmåga än avsedd eller lämplig tillämpats i projekt. Anvisningarna skiljer sig åt sinsemellan, vilket leder till olika dimensionerande bärförmågor för snarlika pålar.

Det ligger i sakens natur att förutsättningarna för dimensionering av beständigheten i 100 år är kopplade till pålningsobjektet och inte till pålen. Typdimensionering är därför principiellt inte lämplig. De korrosionskemiska och –fysikaliska frågorna är dessutom ett annat kompetensområde än det traditionellt grundläggningstekniska.

Dagens typifierade dimensioneringssätt för stålplålar tar normalt inte hänsyn till vissa lastfall, som blivit standard för betongplålar. Kraven på noggrannhet i och omfattning av verifiering av den geotekniska bärförmågan är ofta lägre än för annan pålning.

Under hösten 1998 gav Pålkommisionen en arbetsgrupp i uppdrag att utforma generella och enhetliga dimensioneringsanvisningar för slagna, slanka stålplålar, liknande dem för standardplålar av betong. Resultatet är denna rapport.

1.3 Rapportens innehåll

Rapporten utgår från krav och råd i BKR och är i allt väsentligt en sammanställning av känd kunskap från det större Pålkommisionsprojektet samt publicerat material såsom andra rapporter från Pålkommisionen. I ett begränsat antal frågor uttrycker de angivna dimensioneringsprinciperna författarnas gemensamma åsikt. Arbetsgruppen har i sådana frågor vinnlagt sig om att underhand inhämta råd och åsikter från experter utanför gruppen.

Avsnittet om beständighet har utformats med hjälp av expertis från Korrosionsinstitutet och har granskats och godkänts av institutet.

Jämfört med dagens praxis innebär rapportens dimensioneringsregler för stålplålar i allmänhet lägre dimensionerande bärförmåga och högre krav på verifiering och kompetens på grund av att

- dimensionering av lastkapacitet skall omfatta samtliga delar av pålen och ta hänsyn till excentriska lastangrepp och realistisk initialkrokighet
- lastfallet installation skall beaktas på ett sätt som begränsar lasteffekterna vid stoppslagning
- den dimensionerande geotekniska bärförmågan maximeras till en andel av stuklasten i tre utförandeklasser beroende på omfattningen av verifieringen i det enskilda pålningsobjektet
- krav ställs på sakkunnig, objektsspecifik beständighetsdimensionering för 100 års livslängd utom i enkla jordlagerföljder

- existerande krav på ursprungsdokumentation påtalas för begagnat material vid användning av resultat från stickprov för bestämning av materialegenskaper.

I rapportens olika avsnitt anges dimensioneringsparametrar för

- Material
- Laster och lasteffekter under installation och brukstid
- Lastkapacitet med hänsyn till bl a excentriska lastangrepp och initialkrokighet
- Geoteknisk bärförmåga utifrån omfattningen av objektskontroll
- Beständighet utifrån rostmån eller korrosionsskydd

I bilaga 3 görs en jämförelse mellan rapportens dimensioneringsprinciper och dagens praxis för ett antal typgodkända eller vanligt förekommande pålar. I bilaga 4 ges exempel på dimensionering av några vanliga pålar enligt rapportens anvisningar. I bilaga 1 och 2 finns de tidigare nämnda checklistorna för kontroll av dimensionering av stålplålar.

Det finns många slags stålplålar, som installeras och stoppslås med många typer av hejare, normalt sett med gott resultat. Därför har författarna ej ansett det meningsfullt att försöka ange generella regler för utförande av pålningen. Närliggande frågor behandlas dock i avsnitten 6 och 8.

1.4 Summary

The aim of the report is to set a common practice for the calculation and verification of the design bearing capacity for all driven, slender steel piles in Sweden. Its background is, that until now, different design methods have been used for different types and makes of piles, resulting in different total factors of safety.

The report relates to demands and advice in the Swedish Design Regulations, *BKR 99* and subsidiary design regulations for steel and concrete constructions. It is almost entirely based on earlier published work.

The report sets forth that:

- the design bearing capacity shall be calculated for all parts of a pile and take into account effects of eccentric loads and a realistic initial bending of the pile
- load effects from the installation shall be considered, limiting the loads from the driving to a set.
- the geotechnical design bearing capacity shall be limited to portions of the ultimate yield load in three "control classes", depending on the extent of on-site test-loading
- durability design is unique to the piling site and shall be done by an expert except in listed, simple soil/groundwater conditions, where normal geotechnical expertise is sufficient and where the design can be based on standard corrosion rates

- if used steel material is re-used for piles, there must be a common documented source of origin and load history for the whole lot, if testing of representative samples is to be used for the definition of material properties.

The report gives design parameters for:

- Materials (steel, concrete and soils)
- Loads and load effects during installation and use
- Load capacity
- Geotechnical bearing capacity
- Durability

Appendices to the report comprise check-lists for building inspectors, Owners' representatives and other non-expert parties of the construction process to facilitate their making sure that the bearing capacity of the steel piles in a particular project has been designed according to this report.

2. Bakgrund och arbetssätt

2.1 Bakgrund

Under de senaste 10 åren har användningen av slanka stålplålar, varmed här förstås plålar av stålror eller stålprofiler med upp till ca 250 mm tvärmått och med dimensionerande bärförmåga upp till ca 1.000 kN, ökat markant i Sverige. Det är delvis den goda följderna av teknisk produktutveckling och ett värdesättande av stålplålar goda egenskaper såsom större skonsamhet mot omgivningen än alternativen.

Det är också en följd av att den dimensionerande bärförmåga, som utnyttjas i vardagliga projekt, ökat kraftigt för identiska plålar under samma period. Detta har kunnat ske genom att nödvändigtvis objektsspecifika dimensioneringar typifierats och sedan ibland utnyttjats på sätt som inte tagit hänsyn till vetenskap, god praxis och normer. Under samma period har också begagnade järnvägsräler börjat användas som högbelastade, slagna stålplålar för permanenta byggnadsverk.

Det bör framhållas att de kända fallen av misslyckanden i form av skador eller nedsatt funktion i de byggnadsverk, som bärs av stålplålar, är mycket få. Vanligare är att säkerheten mot brott i enskilda plålar eller i pålade konstruktioner blivit lägre än den avsedda.

De typifierade dimensioneringssätten är i stort sätt varumärkeskopplade och skiljer sig sinsemellan beträffande synsätt och beaktade lastfall, vilket medför att snarlika plålar får olika dimensionerade bärförmågor och olika säkerhet mot brott. Generellt sett är säkerhetsnivån lägre än för andra pålnings- och grundläggningsmetoder.

Pålkommisionen driver ett större projekt i syfte att ange normativa, gemensamma dimensioneringsprinciper för alla slags plålar, även för de här aktuella. Omfattningen av detta projekt är sådan att vederbörligen remissbehandlade slutrapporter kommer att dröja. Under projektets gång har kommissionen gett ut en delrapport, nr 96:1 om lastkapacitet samt en specialrapport, nr 94, med anvisningar för standardplålar av betong, den vanligaste plåttypen i Sverige. I syfte att på motsvarande sätt ge anvisningar för den närmast vanligaste plåttypen gav kommissionen därför under hösten 1998 en arbetsgrupp i uppdrag att utforma denna rapport med enhetliga och generella anvisningar för slagna, slanka stålplålar.

Arbetsgruppen har bestått av Åke Bengtsson, Bo Berglars, Sven Hultsjö (projektledare) och Jan Romell.

Till projektet utsåg Pålkommisionen en styrgrupp bestående av Björn Dehlbom, Carl-John Grävare, Sami Eronen och Lars Erixon.

2.2 Arbetssätt

Arbetsgruppens uppgift har inte varit att bedriva ny forskning eller utveckling. Den har i stället utnyttjat och sammanställt existerande kunskap, framför allt material från det ovan nämnda Pålkommisionsprojektet, annat tillgängligt material samt existerande normer som Boverkets konstruktionsregler BKR med underliggande specialbestämmelser. I ett fåtal frågor har arbetsgruppen fått göra bedömningar utifrån sitt kollektiva sunda förnuft. I sådana frågor har arbetsgruppen vinnlagt sig om att inhämta råd från experter utanför gruppen. Allt detta har sammanfattats till dimensioneringsanvisningarna i denna rapport.

Avsnittet om beständighet har utformats med hjälp av Göran Camitz och Tor-Gunnar Vinka, Korrosionsinstitutet, vilka därefter granskat den föreliggande texten.

Claes Alén har på arbetsgruppens uppdrag analyserat inverkan av att kombinera partialkoefficienter för geoteknisk bärförmåga från BRO 94 med lastkombinationer från BKR. Hans analyser redovisas i en ”PM angående säkerhetsnivån i Pålkommisionens rapport ’Dimensioneringsanvisningar för slagna, slanka stålplåtar’ daterad 1999-06-01. PM:an innehåller därtill en bredare analys av säkerhetsnivån i olika normer och intressanta principiella resonemang och påpekanden.

Avsnitt 9 och bilaga 3 (jämförelse med praxis) har i konceptform gjorts tillgängligt för de berörda innehavarna av de svenska typgodkännanden, som omfattar dimensionering av slanka stålplåtar, varefter påpekade sakfel korrigerats.

I syfte att vinna tid har Pålkommisionen och Pålentreprenörföreningen under våren 1999 sänt ett rapportkoncept till samtliga medlemsorganisationer med begäran om remissvar, samtidigt som konceptet varit föremål för behandling av projektets styrgrupp. Remissbehandlingen och styrgruppens granskning har föranlett 19 skriftliga svar, många med värdefulla synpunkter och påpekanden om behov av förtydliganden och kompletteringar. Arbetsgruppen har beaktat dessa svar i den föreliggande rapporttexten. Remissvaren finns tillgängliga hos Pålkommisionen tillsammans med arbetsgruppens kortfattade motivering i de fall gruppen ej funnit anledning att beakta framförda synpunkter.

Avsnittet om beständighet har föranlett särskilt intresse vid remissbehandlingen. Arbetsgruppen arrangerade därför tillsammans med Korrosionsinstitutet ett endagsseminarium i augusti 1999, där intressenter och experter kunde framlägga åsikter och rön. Den föreliggande texten har utformats bl a med beaktande av vad som då framkom.

Dimensionering av slagna, slanka stålplåtar är en uppgift som kräver betydande sakkunskap, och vad beträffar beständighet, sakkunskap utanför den traditionellt Väg- och vattenbyggnadstekniska. Därför har rapporten fått den ovanliga utformningen med en sammanfattning och checklistor, som i första hand vänder sig

till kvalitetsansvariga enligt PBL, byggnadsinspektörer, byggnadskonstruktörer och andra, som utan att själva besitta erforderlig specialistkunskap har intresse av att dimensioneringen av stålpålar i ett givet byggprojekt skett på ett rimligt sätt. Det är författarnas förhoppning att denna utformning bidrar till att rapporten får det avsedda genomslaget i praktisk, vardaglig stålpålning.

Rapporten innehåller generella anvisningar, som kan och bör tillämpas för dimensionering av alla slags slanka stålpålar. Anvisningarna avser dock ej hindra att specifika pålars (eller pålssystem), särskilt goda egenskaper på något område utnyttjas vid dimensionering under förutsättning att dessa egenskaper verifieras enligt normer och vedertagna principer.

3. Material

3.1 Allmänt.

BKR avsnitt 2:4

Material till bärande konstruktioner, inklusive jord och berg, skall ha kända och dokumenterade egenskaper i de avseenden, som har betydelse för deras användning.

3.2 Stålmateriel

Till stålplålar skall användas material med sådana egenskaper och toleranser som föreskrivs i BSK 99 kap. 7. Vid beräkningar skall därvid hållfasthetsvärden hämtas från 2:21. Utnyttjas högre värden än vad som där anges, måste sådant utnyttjande verifieras med relevanta prov.

Med hänsyn till installationens inverkan och det förhållandet att den installerade pålen ej är inspekterbar skall den dimensionerande hållfastheten alltid reduceras med 10% hos slagna stålplålar.

Används material, som har påverkats av tidigare belastningar skall stålets egenskaper fastställas i en särskild utredning. Endast om allt pålmaterial med säkerhet tillhör samma ursprungsleverans och har likartad belastningshistorik samt om detta dokumenteras kan härvid resultat från stickprover användas.

Vid svetsade konstruktioner skall svetsmaterial och utförande väljas så att svetsgodset får sådan korrosionströghet och andra egenskaper att kraven i BSK 99 tillfredsställs.

3.3 Betong

Igjutningsbetong skall uppfylla de krav på material, som för aktuell miljöklass framgår av BBK 94 kap. 7. Utnyttjas betongen ej enbart som korrosionsskydd skall även kraven enligt avsnitt 5.2.4 beaktas.

Igjutning av rörpålar kan också utföras med bruk av standardcement och vatten, varvid vct skall vara $< 0,5$.

Igjutningen skall ske på sådant sätt att den säkerställer att pålen helt fylls med betong eller bruk. Risker för separation och sjunkning skall beaktas.

3.4 Jord

3.4.1 Geoteknisk utredning

I BKR, ställs krav på geoteknisk utredning för alla bärande geokonstruktioner i avsnittet 4:22. Utredningen skall klarlägga de geotekniska förutsättningarna för geokonstruktionens utformning och utförande. För stålplålar innebär det att sådana jord- och grundvattenförhållanden skall klarläggas, vilka påverkar

- Lastkapaciteten – hållfasthet och mäktighet för lera, slagningsförhållanden som påverkar initialkrokighet, påldjup som kräver skarvar
- Lasteffekter – förekomst av jord, som ger påhängslaster eller sidorörelser, eller påverkar drivbarheten
- Geoteknisk bärförmåga – blir pålen spets- eller mantelbärande, jord- och bergförhållanden på stoppnivån, förekomst av sidostödjande friktionsmaterial på lutande bergyta, risk för ”falska stopp”
- Beständighet – jordarter längs pålens hela längd, grundvattennivå med variationsområde, grundvattenkvalitet, förekomst av nötande och repande jord
- Omgivningspåverkan – förekomst av svårslagna lager och sättningsbenägen, löst lagrad friktionsjord, särskilt åsmaterial med ensgraderade finkorniga lager ovan ensgraderade grovkorniga.

3.4.2 Dimensionerande jordparametrar

Av de jord- och grundvattenparametrar, som måste vara kända för dimensionering och utförande av stålplålar är det endast bäddmodulen och gränstrycket, som ingår med siffervärde i beräkningar av en stålplåles dimensionerande lastkapacitet. I t ex Pålkommisionens rapport 84a redogörs för bakgrunden till den beräkning av dimensionerande bäddmodul med utgångspunkt från karakteristisk skjuvhållfasthet, c_{uk} , som redovisas i avsnitt 5.2.3. c_{uk} bör bestämmas för skikt med en mäktighet av samma storleksordning som pålens knäcklängd.

I beräkningen ingår partialkoefficienten γ_m , vilken skall väljas enligt BKR avsnitt 4:31. I ett givet projekt bör lämplig γ_m anges av geotekniskt sakkunnig. Som underlag till valet anger BKR att följande förhållanden skall beaktas (sammanfattning av tabell a. i BKR 4:31):

Tabell 3.4.2 Underlag för val av γ_m för jordparametrar

| |
|---|
| Gynnsamma förhållanden |
| Materialegenskapen har erfarenhetsmässigt liten spridning |
| Provningsresultat från geoteknisk undersökning visar normal spridning |
| Stor omfattning av undersökning, vilken medger god bestämning av materialegenskapen |
| Väldokumenterade undersökningsmetoder, med reproducerbara resultat |
| Tilläggskontroll av materialegenskapen |
| Liten osäkerhet vid översättning av provresultat till sökt materialegenskap |
| Segt brott |

4 Laster och lasteffekter

Laster, lastkombinationer och lasteffekter definieras i BKR. Beräkning av lastkapacitet redovisas i avsnitt 5 nedan. Beräkning och verifiering av geoteknisk bärförmåga redovisas i avsnitt 6 nedan.

4.1 Laster från överbyggnad

En påle kan från överbyggnaden belastas antingen av en ren axiallast eller en kombination av axiallast, moment och/eller transversallast.

När en påle belastas med en tryckande axiallast uppstår alltid lasteffekterna normaltryckkraft, böjmoment och tvärkraft på grund av att pålen har viss initialkrokighet efter installationen. Böjmomentet skall beräknas enligt 2:a ordningens teori.

Om pålen även belastas av transversallast och/eller böjande moment skall effekten av dessa beaktas.

4.2 Geotekniska laster

För pålar, som installeras genom sättningsbenägna jordar (kohesionsmaterial, löst lagrat, ensgraderat friktionsmaterial, åsmaterial med ensgraderade finkorniga lager på ensgraderade grovkorniga) skall risken för framtida sättning i omgivande material bedömas. I förekommande fall skall påhängslasten beräknas med geostatisk metod och beaktas vid beräkning av lasteffekten.

För lutande pålar i jord skall på motsvarande sätt risken för framtida sättning bedömas och dimensionering ske med hänsyn även härtill.

För pålar, som utsätts för sidorörelser i omgivande jord, skall lasteffekten av dessa jordlaster beaktas.

4.3 Initialkrokigheter och excentriciteter

4.3.1 Initialkrokigheter

Den installerade obelastade pålen skall beräknas under antagandet av en geometrisk initialkrokighet. Den kan vara ett uppmätt värde eller ett schablonvärde, men den skall alltid uppgå till minst ett minimivärde. Den kan uttryckas som en krökningsradie eller som pilhöjden hos en sinuskurva över en viss längd t.ex. knäcklängden.

En installerad påles initialkrokighet beror på pålelementens krokighet, eventuella skarvar och dess konstruktion samt av slagningen under installationen. Härvid har bl.a. pålens styvhet, jordlagerföljden och förekomsten av pålningshinder betydelse.

Den karakteristiska pilhöjden δ_k kan beräknas enligt nedanstående schablonmetod eller fastställas genom mätningar av slagna pålar.

Rapport 96:1 anger följande schablonvärde för den karakteristiska initialkrokigheten:

$$\delta_k = \frac{l_k}{600} + n \cdot \frac{l_k}{4} \cdot v_{skarv} \quad (a)$$

där är n antalet skarvar inom knäcklängden l_k .
 v_{skarv} vinkelavvikelsen i en skarv (t.ex. 1/300).

Vinkelavvikelsen i en skarv skall beräknas med hänsyn till den geometriska utformningen och tillverkningstoleranser. Hänsyn skall tas till effekten av avrostning.

Vid enhetliga förhållanden kan fåtalsmätning användas för bestämning av δ_k . Detta kan ske enligt någon av följande metoder:

Alternativ 1:

Samtliga pålars krokighet kontrolleras med lämplig metod t.ex. traditionell kontroll med ficklampa. De pålar, som därvid bedöms som krokigast kontrollmäts därefter med metod med tillräcklig noggrannhet t.ex. med inklinometer eller elektrisk rakhetsmätare (mätning enbart med ficklampa är ej tillräckligt).

Alternativ 2:

Ett statistiskt representativt urval av pålarna mäts med noggrann metod utan föregående kontrollmätning.

I båda fallen gäller att pålar som inte kan mätas räknas in i det mätta materialet och behandlas enligt nedan.

Mätvärdet δ_m bestäms som det största värdet på dimensionerande del av pållängden och på en mätsträcka l_m , som är $\leq l_k$ (knäcklängden).

Korrigerat mätvärdet till ett jämförelsevärde för knäcklängden δ_{m0} .

$$\delta_{m0} = \left(\frac{l_k}{l_m}\right)^2 \cdot \delta_m \quad (b)$$

Värde $\delta_{m0} \leq 0.0015l_k$ noteras till $\delta_{not} = 0.0015l_k$

Värde $\delta_{m0} > 0.0050l_k$ noteras till $\delta_{not} = 0.0050l_k$
 Det senare värdet gäller även för påle där mätning ej kan
 genomföras. Inga pålar får sorteras bort.
 I övrigt gäller $\delta_{not} = \delta_{m0}$

För noterade värden beräknas därefter medelvärde δ_{med} och
 standardavvikelse σ samt karakteristisk pilhöjd δ_k .

$$\delta_{med} = \frac{\sum \delta_{not}}{n} \quad (c)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\delta_{not} - \delta_{med})^2}{n-1}} \quad (d)$$

$$\delta_k = \delta_{med} + \sigma \quad (e)$$

Oberoende av metod beräknas den dimensionerande pilhöjden enligt:

$$\delta_d = \gamma_d \cdot \delta_k \quad (f)$$

där är γ_d en partialkoefficient som beaktar osäkerheten i pilhöjden.
 δ_k karakteristisk pilhöjden på knäcklängden enl. ovan.

Vid bestämning av δ_k med schablonmetod $\gamma_d = 2,0$

Vid bestämning av δ_k enligt Alternativ 1
 med mätning av minst 5% av pålarna, dock minst 4 st $\gamma_d = 1,0$

Vid bestämning av δ_k enligt Alternativ 2

| | | |
|---------------------------|----------------------------------|------------------|
| med mätning av minst 5% | av pålarna, dock minst 4 st | $\gamma_d = 1,3$ |
| | 10% av pålarna, dock minst 4 st | $\gamma_d = 1,2$ |
| | 25% av pålarna, dock minst 10 st | $\gamma_d = 1,1$ |
| med mätning av alla pålar | | $\gamma_d = 1,0$ |

Minimivärdet $\delta_d \geq 0.0015l_k$ gäller dock alltid.

4.3.2 Excentriciteter vid pålsko och pålspets

Reaktionen vid pålskon och/eller spetsen angriper excentriskt. Detta gäller både under installationen och för den installerade pålen. Dimensioneringen och slagningen måste utföras så att pålen kan motstå dessa lasteffekter.

Denna excentricitet skall sättas till:

| Lastfall | e |
|---|----------------------|
| Under drivning i stenig/blockig jord | $d_{\text{påle}}/5$ |
| Under drivning i normal jord | $d_{\text{påle}}/10$ |
| Under inmejsling i berg | $d_{\text{dubb}}/5$ |
| Under stoppslagning, påle med plan pålsko | $d_{\text{påle}}/10$ |
| Under stoppslagning, påle med bergspets | $d_{\text{dubb}}/10$ |

$d_{\text{påle}}$ och d_{dubb} definieras i fig. 5.4a

För pålar, där dubbens tyngdpunkt ej sammanfaller med pålsektionens, skall excentriciteterna ökas med avståndet mellan tyngdpunkterna.

Betr. krav på bergspets se även kap. 5.4.

4.4 Installationslaster

4.4.1 Allmänt

Vid påslagning skapar hejarens slag mot pålen en axiell stötvåg, som vandrar ned och upp i pålen och reflekteras både mot jorden/berget och hejaren. Påkänningen i pålens olika delar beror förutom av fallhöjden (energin) även av hejarvikt, påltyp, pållängd och jordens egenskaper.

Det kan påpekas att lasteffekterna vid drivning och stoppslagning normalt är dimensionerande för pålar.

Storleken på dessa lasteffekter i olika snitt på pålen (både i tryck och i drag) kan bestämmas enligt någon av följande metoder.

1. Provpålning med mätningar av påkänningar genom stötvågsmätning under drivning och stoppslagning.
2. Datorsimulering av slagning baserad på vald hejare/pålutrustning och de geotekniska förhållandena.
3. Beräkning av initialstötvåg och reflexstötvåg enligt stötvågsteoretiska formler.
4. Bedömning av påkänning vid hård slagning resp. stoppslagning utifrån karakteristisk bärförmåga.

Förväntade påkänningar i pålar vid neddrivning, inmejsling (om berg) och stoppslagning bör bestämmas med utgångspunkt från stötvågsmätning eller datorsimulering av slagningen, då övriga metoder ger låg noggrannhet

Det kan noteras att det finns en principiell skillnad mellan slagning med tung fallhejare och lättare slagdon.

Vid slagning med en tung hejare (fallhejare med hejarvikt > 3 ggr pålens totalvikt) kommer initialstötstången till pålen att vara mycket lång. Maximal kraft i pålen kommer mer att styras av reflektioner från jorden än av initialstötstångens storlek. Beroende på stötpulsens längd kommer det i stort sett att bli samma kraft i hela pålen. Den tunga hejaren skapar därmed stora utböjningar och moment om pålen är dåligt sidostöttad.

Vid slagning med en lätt hejare (trycklufts- eller hydraulhejare) skapas en kort stötpuls, som vandrar ned till pålspetsen och där reflekteras tillbaka upp mot hejaren. Vid neddrivning kommer max kraft i pålen i stort sett att vara identisk med initialstötstången. Det är först vid stoppslagning i mycket fast jord med liten fjädring som kraften kommer att öka utöver initialstötstången, och då enbart inom ett lokalt område nere vid pålspetsen, där pålen ofta är bra sidostöttad. Pålen klarar därmed en hårdare slagning.

Lätta hejare har jämfört med tunga hejare följande fördelar:

- max kraft/moment existerar huvudsakligen nere vid pålspetsområdet där pålarna ofta är sidostöttade,
- pålarna blir rakare, då de ej styr iväg lika lätt mot sten/block,
- pålarna kan drivas ned med högre fallhöjder

och följande nackdelar:

- pålarnas geotekniska bärförmåga kan vara svårare att uppnå och verifiera,
- större dragkrafter uppstår normalt vid drivningen,
- sjunkningen per slag med samma fallhöjd blir lägre.

4.4.2 Lasteffekter på pålar vid installation

Den axiella lasteffekten (normalkraften) i pålen är den stötstång som existerar i snittet. Stötstångens storlek, både i drag och i tryck, varierar längs pålen.

Hänsyn skall tas till lasteffekter både för stötstångens maxvärde och minvärde, varvid initialkrokigheter och excentriciter väljs enligt kap. 4.3.1 och 4.3.2.

Kraften (stötstången) i pålen vid drivning och stoppslagning kan bestämmas med stötstångsmätningar, datorsimulering av pålslagning, stötstångsteoretiska formler mm enligt kap. 4.4.1.

4.4.2.1 Initialkraft.

Vid neddrivning påverkas pålen av initialkraften från hejaren (kraften som orsakas av slaget) samt av reflekterade stötstångor från mantel- och spetsmotstånd. Medelvärdet av initialkraften kan sättas till:

$$F_{im} = v \cdot Z_h \cdot Z_p / (Z_h + Z_p) \quad (a)$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \eta} = \sqrt{2 \cdot W \cdot \eta / M_h} \quad (b)$$

| | | |
|--------|------------|--|
| Där är | v | effektiv anslagshastighet |
| | Z_h, Z_p | vågimpedans (AE/c) för hejare respektive påle |
| | h | fallhöjd |
| | W | slagenergi (t ex för snabbslående hydraul- eller tryckluftshejare) |
| | M_h | hejarens massa |
| | η | verkningsgrad (max 0,8), för lätta hejare bör den fastställas med stötvågsmätningar. |

För mycket lätta hejare, där hejarvikten < dynvikten < pålvikt per meter, kan initialstötvågen inte beräknas utifrån ekv. (a). Stötvågen måste bestämmas utifrån stötvågsmätningar.

För hejare med slagkolvvikter > 1 à 2 ggr pålens vikt per meter bör initialstötvågen bestämmas med stötvågsmätning eller datorsimulering, men den kan även approximativt beräknas enligt ekv. (a).

För de flesta lätta hejartyperna är hejarens vågimpedans ca 5 ggr pålens. Ekv. (a) reduceras då till

$$F_{im} = v \cdot 0.83 \cdot Z_p \quad (c)$$

För tyngre tryckluft- eller hydraulhejare samt för fallhejare med hejarvikter > 5 ggr pålens vikt per meter kan initialstötvågen med god approximation beräknas enligt ekv. (a), vilken kan omarbetas till:

$$F_{im} = v \cdot Z_p \quad (d)$$

Den effektiva anslagshastigheten bör liksom för övriga hejartyper kalibreras med hjälp av stötvågsmätningar.

4.4.2.2 Spetskraft.

Initialstötvågen enligt ovan, som skapats av hejarens slag, vandrar ned till spetsen och skapar där en spetsreaktion mot jorden/berget. Denna spetskraft (F_{spets}), som varierar med påltyp, hejarvikt och slagenergi, dynvikt samt jordmotstånd kan bestämmas med datorsimulering.

I figur 4.4.2.2 visas en principbild över hur kraften i pålen kan bestämmas med datorsimulering. Figuren gäller slagning av en stålpåle Φ 114,3*6,3 till små

sjunkningsvärden, ($s = 5 \text{ mm/min}$). Där redovisas beräknad initialstötståg (F_{im}) som funktion av "teoretisk initialstötståg" (V/Z) för olika relationer mellan hejarvikten och pålens vikt per meter (M_h/M_p). Vid beräkningarna har även dynans vikt (M_d) varierats, i detta fall som funktion av hejarvikten dvs (M_d/M_h).

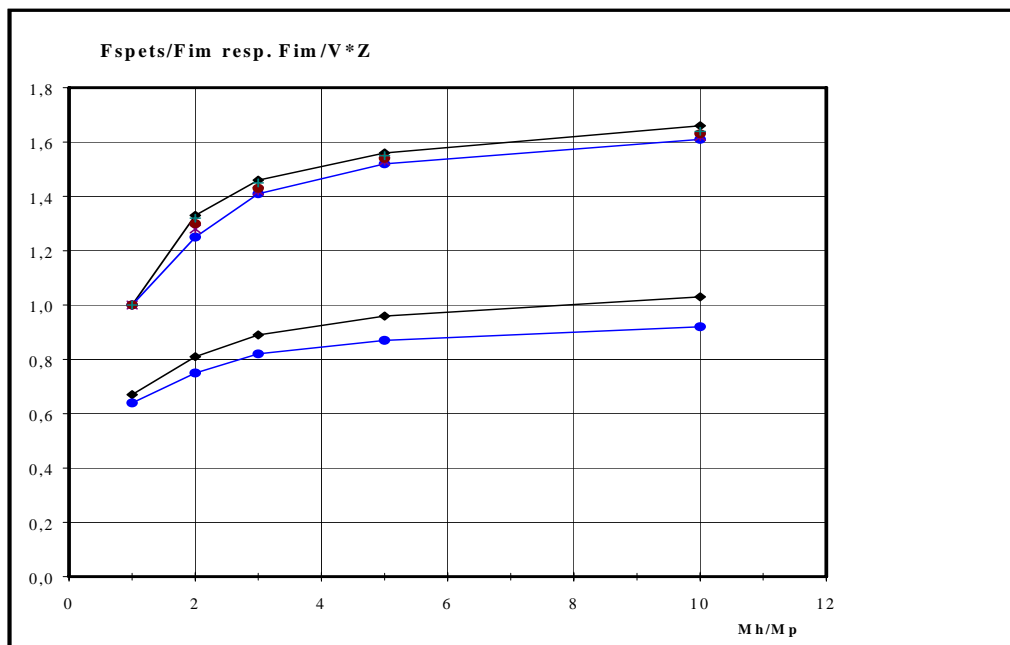
I Figuren redovisas även max kraft i pålspetsen (F_{spets}) som funktion av beräknad initialstötståg (F_{im}) vid små sjunkningsvärden. Vid datorsimuleringen har antagits att pålen till 95% är spetsburen samt att spetsfjädringen $q = d_{p\ddot{a}le}/120 \text{ mm}$. Spetsdämpningen har här varierats enligt $J_s = 0,1 - 0,5$. Datorberäkningen har gjorts för hejare, vilka slår mot pålen med en effektiv fallhöjd varierande mellan 2,5 och 3 m, dvs i stort enligt de vanligast förekommande lätta hydraulhejarna.

Slutsatser som kan dras av denna datorsimulering av påslagning är:

- För de lättaste hejarna med $M_h/M_p = 1$ à 2 blir max kraft i pålen i stort sett lika med initialstötstågen, oavsett spetsmotståndets storlek.
- För de tyngre hejarna med $M_h/M_p = 3 - 10$ kan man räkna med att spetskraften blir ca 50 % högre än initialstötstågen vid små sjunkningsvärden.

Datorberäkningen avser stoppslagning mot jord ($q = d_{p\ddot{a}le}/120$). Vid stoppslagning mot berg skall man räkna med att spetskraften kan öka med 20 –25%.

Beträffande lasteffekt vid stoppslagning, se kap. 6.4.



Figur 4.4.2.2 datorsimulering av slagning stålpåle $\Phi 114,3*6,3$ med olika hejarvikter (M_h/M_p). Beräkning av initialkraft ($F_{im}/V*Z$) samt spetskraft (F_{spets}/F_{im}) vid små sjunkningsvärden.

5 Lastkapacitet

5.1 Allmänt

BKR avsnitt 2:111

Bärande konstruktioner skall utformas och dimensioneras så att säkerheten mot materialbrott och mot instabilitet i form av knäckning, vippning, buckling o.d. är betryggande under konstruktionens utförande, dess livslängd samt vid brand.

Påle skall under tillverkning, lagring, transport och installation behandlas så att dess slutliga funktion ej äventyras.

Pålens dimensionerande lastkapacitet, d.v.s. dess konstruktiva bärförmåga, skall vara större än den dimensionerande lasteffekten i alla delar och snitt. Detta gäller såväl under installationen som för den installerade pålen. För den installerade pålen skall dessutom den dimensionerande geotekniska bärförmågan, d.v.s. omgivande jords och/eller bergs lastupptagningsförmåga, vara större än den påförda dimensionerande lasteffekten.

$$\text{dimensionerande lasteffekt} \leq \frac{\text{dimensionerande lastkapacitet}}{\text{dimensionerande geoteknisk bärförmåga}}$$

Av BKR framgår vidare att pålar i allmänhet skall hänföras till lägst säkerhetsklass 2 och att de skall dimensioneras för en livslängd av 100 år, eftersom de inte är åtkomliga för inspektion och underhåll.

Lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga skall verifieras genom beräkningar och/eller provningar och verifieringen skall gälla konstruktionens hela livslängd. Härvid skall hänsyn tas till alla inverknings av betydelse såsom:

- Pål- och jordmaterialens egenskaper
- Inverkan av tidigare belastningar
- Inverkan av installationen
- Inverkan av lastens varaktighet
- Egenspanningar i materialen
- Inverkan av avrostning
- Inverkan av lokal buckling
- Inverkan av skarvar och spets
- Inverkan av initialkrokighet
- Inverkan av excentriciteter vid spets och pålhuvud.

5.2 Installerad påle

5.2.1 Stål

Dimensionerande värde för hållfasthet och elasticitetsmodul skall bestämmas enligt ekv. a och b:

$$f_{yd} = \frac{\mu \cdot f_{yk}}{\gamma_m \gamma_n} \quad (\text{a})$$

$$E_d = \frac{0.9 \cdot E_k}{\gamma_m \gamma_n} \quad (\text{b})$$

där är μ en reduktionsfaktor för hänsynstagande till installationens inverkan på hållfastheten. Enligt rapport 96:1 kap. 3.2 skall vid bestämningen av μ hänsyn tas till slagningens inverkan, jord- och bergförhållanden av betydelse samt till förekomsten av integritetskontroll. För rälsplålar får μ ej sättas högre än 0,7 och för pålar av ej tidigare begagnat material ej högre än 0,9.

$0.9 \cdot E_k$ en reduktion av elasticitetsmodulen enligt använd metod för att beakta inverkan av egenspanningar (se kap. 5.2.5).

f_{yk} karakteristiskt värde för sträckgräns enl. BSK 99 eller prov.

E_k karakteristiskt värde för elasticitetsmodul (normalt 210 GPa).

γ_m partialkoefficient som beaktar osäkerheten vid bestämning av bärförmåga. I brottgränstillståndet är $\gamma_m = 1,0$ för tvärsnitt med så snäva avvikelser från nominella tvärsnittsmått att de har liten betydelse för bärförmågan. I annat fall (t.ex. för rälsplålar) skall γ_m sättas till 1,1.

γ_n partialkoefficient som beaktar säkerhetsklassen (normalt = 1,1, dvs SK2, för pålar).

5.2.2 Betong

Dimensionerande värden för hållfasthet och elasticitetsmodul skall bestämmas enligt BKR kap. 7.

Kryptalet φ skall för pålar normalt sättas till 1,3.

5.2.3 Jord

Jordens sidomotstånd mot utböjning skall beräknas enligt rapport 96:1 kap. 3.3.

5.2.3.1 Kohesionsjordar

För kohesionsjordar utgår bestämningen av dimensionerande värden för bäddmodul k_d och gränstryck q_d i allmänhet från jordens dimensionerande skjuvhållfasthet c_{ud} :

För korttidsförhållanden gäller:

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_m \gamma_n} \quad (a)$$

$$k_d = 200 \cdot c_{ud} / d \quad (b)$$

$$q_d = 9 \cdot c_{ud} \quad (c)$$

För långtidsförhållanden gäller

$$k_d = 50 \cdot c_{ud} / d \quad \text{påle} \quad (d)$$

$$q_d = 6 \cdot c_{ud} \quad (e)$$

Där är c_{uk} karakteristiskt värde på den odränerade skjuvhållfastheten.
 d pålens tvärmått vinkelrätt utböjningsriktningen.

I brottgränstillståndet skall γ_m enl. BKR väljas i intervallet 1,6 – 2,0 beroende på aktuella förhållanden. För olyckslast kan γ_m reduceras med 10%. Eftersom knäckrisken bestäms av hållfastheten hos en lokal jordvolym skall reduktion av partialkoefficienten ej ske.

Långtidsförhållanden avser härvid last med större varaktighet än ca en vecka.

Med hänsyn lasters olika varaktighet kan effektiva värden på parametrarna bestämmas till:

$$k_{def} = \frac{k_d}{1 + \varphi_{jef}} \quad (f)$$

$$q_{def} = q_d \cdot \left(1 - \frac{\varphi_{jef}}{9}\right) \quad (g)$$

$$\varphi_{jef} = 3,0 \cdot \frac{P_{lf}}{\sum P} \quad (\text{h})$$

5.2.3.2 Friktionsjordar.

För friktionsjordar kan sidomotståndet och gränstrycket beräknas enligt BRO 94 bilaga 3-5. Inverkan av lastens varaktighet kan försummas. γ_m avseende hållfasthetsparametern $\tan\phi$ kan i brottgränstillståndet väljas i intervallet 1,1 – 1,3. För olyckslast kan γ_m sättas 10% lägre.

5.2.4 Tvärsnittsvärden.

Tvärsnittens dimensioner skall reduceras med hänsyn till tidigare förslitning (t.ex. rälsplåtar) och eventuell avrostning (rostmån). Avrostning anses ske på alla exponerade ytor och rostmånens storlek skall bestämmas med hänsyn till aktuell miljö (se kap.7).

Tvärsnittsklass och –typ enl. BSK 99 6:211 resp. tabell 6:233 bestäms för så erhållna nettotvärsnitt. Detta kontrolleras också med hänsyn till risken för lokal buckling. Gränsvärden för tvärsnittsdelars slankhet med hänsyn härtill finns behandlat i BSK 99 kap. 6.21 och redovisas för tvärsnittsklass 1 i tabell 5.2.4 nedan för några aktuella tvärsnittstyper. De är också gränsvärden för att för icke massiva tvärsnitt få utnyttja maximumvärdet för formfaktorn vid böjning, $\eta = 1,25$.

Tabell 5.2.4. Gränsvärden i klass 1 för tvärsnittsdelars slankhet

| | |
|-------------------------------------|--|
| Fläns till H-profil eller krysspåle | $f_{yk} \leq 18900 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2$ |
| Öppen rörprofil | $f_{yk} \leq 12600 \cdot \frac{t}{d_i}$ |
| Igjutna rörprofil | $f_{yk} \leq 21150 \cdot \frac{t}{d_i}$ |

där är t godstjocklek hos fläns resp. rör.
 d_i rörets inre diameter.

Värdet för den igjutna rörprofilen är hämtat från ENV 1994-1-1:1992.

Samverkan med igjuten betong

Igjutningsbetongen får medräknas i påltvärsnittet endast om följande villkor är uppfyllda:

- Lastöverföringen till betongfasen är säkerställd i påltoppen.
- Skjuvkraftsöverföringen mellan stål och betong säkerställs.
- Kontroll, som säkerställer gjutningens kvalitet, skall kunna utföras.

Vid sådan beräkning skall:

- Plan tvärsnittsdeformation antagas över tvärsnittet.
- Betongstukningen begränsas till 0.0035.
- Hänsyn tas till lastens varaktighet.
- Betongsektionens böjstyvhets beräknas enligt BBK 94 kap. 3.4.2.2

5.2.5 Egenspänningar och fiktiv initialkrokighet

Vid här använd beräkningsmetod, som är hämtad från ”K18 Dimensionering av stålkonstruktioner kap. 18:56”, tas hänsyn till egenspänningar i stålmaterialet dels genom att elasticitetsmodulen reduceras med 10 % och dels genom att en fiktiv initialkrokighet δ_f adderas till den geometriska krokigheten. Enligt rapport 96:1 avsnitt 3.6.1 beror δ_f av tvärsnittstyp enl. tabell 5.2.5a och b nedan.

Tabell 5.2.5 a. Fiktiv initialkrokighet för att beakta egenspänningar i stålplålar

| Egenspänningsgrupp | Fiktiv initialkrokighet |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1 | $0.0003 l_k$ |
| 2 | $0.0013 l_k$ |
| 3 | $0.0025 l_k$ |

Tabell 5.2.5 b. Egenspanningsgrupp för olika typer av tvärsnitt

| Tvärsnittstyp | Godstjocklek | Egenspanningsgrupp |
|---------------------------------------|---|--------------------|
| Varmformat, ej avspänningsglödgat rör | $t \leq 40mm$ | 1 |
| Längs- eller spiralsvetsat rör | $t \leq 40mm$ | 2 |
| Valsade krysspålar | $t \leq 40mm$ | 1 |
| Valsade H-profiler | $t \leq 40mm$ | 2 |
| Valsade cirkulära homogena profiler | $\Phi \geq 80mm$ | 2 |
| Valsade rälsprofiler | $t_{fläns} \leq 40mm$ $t_{huvud} \leq 100mm$ | 2 |

Överskrids angiven godstjocklek t skall närmast högre egenspanningsgrupp väljas. Vid avspänningsglödgat material får närmast lägre egenspanningsgrupp väljas, dock lägst grupp 1.

5.2.6 Inverkan av krokighet och excentriciteter

Lasteffekten i pålen skall beräknas under antagande av en geometrisk och en fiktiv initialkrokighet.

Det totala värdet δ_0 , som ligger till grund för lasteffekten i pålen kan beräknas enligt:

$$\delta_0 = \delta_d + \delta_f \quad (a)$$

där är δ_d dimensioneringsvärde för den geometriska krokigheten enl. kap. 4.3.1.
 δ_f fiktiv initialkrokighet enl. kap. 5.2.5.

Pålen skall också kontrolleras för lasteffekten i området kring spetsen, där upplagsreaktionen antages angripa med excentriciteten e_0 enligt kap. 4.3.2.

5.2.7 Beräkningsgång

Här redovisad beräkningsgång bygger på metod, som redovisats i K18:56 och som närmare beskrivits i Pålkommisionens rapport 84a.

Beräkningsgången redovisas här utan hänsyn till inverkan av igjutning.

1. Bestäm nettotvärnsnitt med hänsyn till rostmän. Beräkna area (A), tröghetsmoment (I) och böjmotstånd (W) samt normalkraft- och böjmomentkapacitet (N_d) resp.

(M_d) enl. ekv. a och b. Kontrollera om risk för lokal buckling enl. 5.2.4 föreligger.

$$N_d = A \cdot f_{yd} \quad (a)$$

$$M_d = \eta \cdot W \cdot f_{yd} \quad (b)$$

där är η formfaktorn vid böjning.

2. Bestäm bäddmodul och gränsvärdet för jordens sidostöd enl. 5.2.3 med hänsyn till aktuell geoteknik och lastens varaktighet

3. Beräkna elastisk knäcklast P_k och knäcklängd l_k :

$$P_k = 2 \sqrt{(k_{def} d) \cdot E_d I} \quad (c)$$

$$l_k = \pi \cdot \sqrt[4]{E_d I / (k_{def} d)} \quad (d)$$

4. Beräkna gränsvärdet för normalkraft P_1 med hänsyn till excentriciteten e_0 i spetsen (se kap. 5.2.6).

$$P_1 = 1 / \left(\frac{1}{P_d} + \frac{e_0}{M_d} \right) \quad (e)$$

5. Beräkna tillskottsutböjningen y_0 med hänsyn till jordparametrar och total initialkrokighet samt normalkraften P_2 , då gränsvärde för jordmotstånd uppnås.

$$y_0 = q_{def} / k_{def} \quad (f)$$

$$P_2 = y_0 / (\delta_0 + y_0) P_k \quad (g)$$

$$P = \text{minimum av } P_1 \text{ och } P_2 \quad (h)$$

6. Om $P = P_1$ är det den sökta kapaciteten. Beräkna i annat fall 2:a ordningens moment M , som är tillhörande till P_2 och kontrollera tvärsnittskapaciteten med interaktionformeln (k).

$$M = 0,5 \cdot P \cdot \delta_0 / (1 - P / P_k) \quad (j)$$

$$a = \frac{P}{N_d} + \frac{M}{M_d} \leq 1 \quad (k)$$

7. Uppfylls olikheten i (k) d.v.s. $a < 1$ kan P och M ökas något. Detta innebär dock att gränsvärdet q_{def} överskrids. De högre värdena på P och M kan beräknas enligt metod beskriven i Pålkommisionens Rapport 84a. P kan dock ej ökas över gränsvärdet P_1 enl. ekv. (e).

8. Är enl. ekv. (k) $a > 1$ skall y_0 minskas och ekv. (g) och (j) upprepas tills $a = 1$.

5.3 Installation

5.3.1 Materialvärden

Beräkningen av lastkapaciteten för lastfallet stoppslagning får göras för $\gamma_n = \gamma_m = \mu = 1,0$ för stål och jord.

Under enstaka mätslag får dessutom lastkapaciteten höjas med 20%.

5.3.2 Tvärsnittsvärden

Beräkningarna skall utföras för bruttotvärsnitt d.v.s. tvärsnitt utan reduktion för rostmån. Hänsyn skall däremot för t.ex. rälsplåtar givetvis tagas till förlitning och andra inverkningar av tidigare användning.

5.3.3 Initialkrokigheter och excentriciteter

Beräkningarna skall genomföras för de initialkrokigheter och excentriciteter som framgår av kap. 4.3.1 och 4.3.2. Härvid får γ_d sättas till 1,0.

5.3.4 Lastnivå.

Under installationen skall fallhöjden väljas så att lastkapaciteten ej överskrides. Hänsyn skall tas till de excentriciteter som kan uppstå.

5.3.5 Beräkningsgång

Se kap.5.2.7.

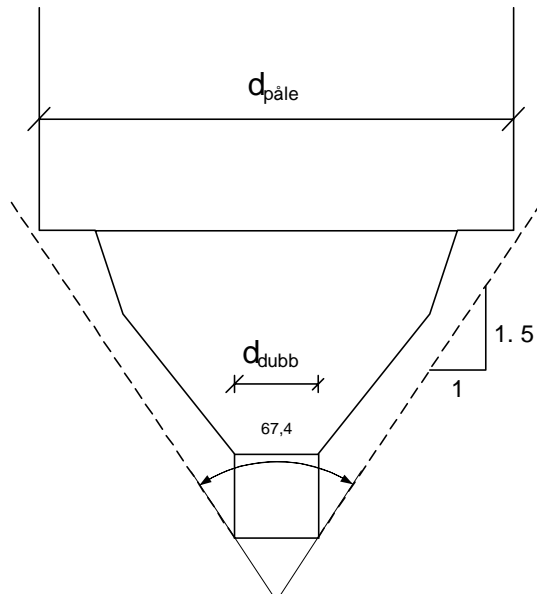
5.4 Pålsko och pålpets

Pålsko och bergspets skall liksom anslutande pålelement dimensioneras med hänsyn till de laster och excentriciteter som kan uppkomma. Det gäller såväl vid installationen som för den installerade pålen och det gäller alla aktuella snitt. För den installerade pålen skall även hänsyn tas till aktuell rostmån.

Dimensioneringsvärdena för excentriciteterna framgår av kap. 4.3.2.

Pålspetsens dubb skall ha sådan diameter d_{dubb} , att berget under spetsen kan bära hela lasten P

Pålspetsen skall vara så konstruerad att infästningen och pålelementet faller helt innanför en kon med lutningen 1.5:1 (67.4 graders spetsvinkel) enl. figur 5.4a.



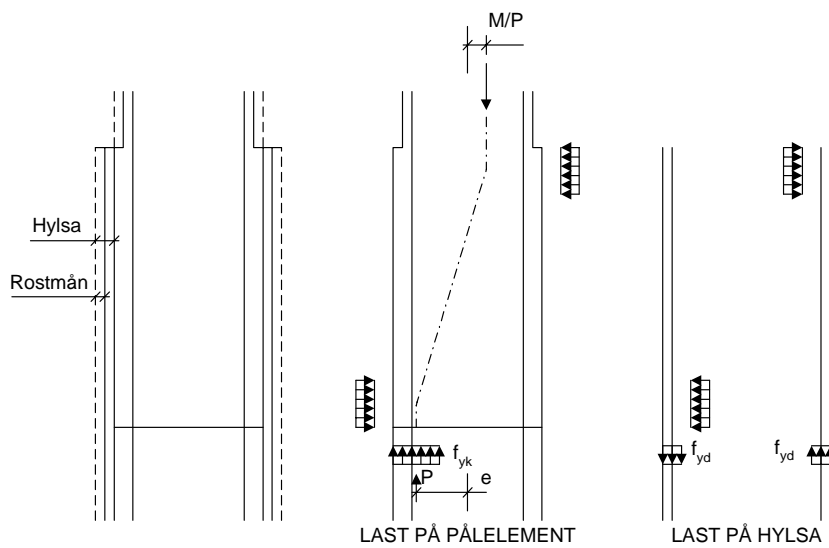
Figur 5.4a Geometriska krav på bergspets

Pålspets skall vidare dimensioneras med hänsyn till inverkan av avrostning. Detta gäller både minskade dimensioner och risk för glapp vid infästning med t.ex. bultförband.

5.5 Pålskarv

Pålskarv skall under tryck ha en böjstyvhet som är minst lika stor som pålen i övrigt och den skall dimensioneras för de lasteffekter, som kan uppstå bl. a. med hänsyn till ofullständighet i anläggningen mellan påldelarna. Detta gäller både för installationen och den installerade pålen. I det senare fallet skall hänsyn även tas till aktuell rostmån.

Vid dimensioneringen skall hänsyn tas till att anläggningen mellan påldelarna på grund av snedhet i kapningen kan ge upphov till excentriciteter. För en hylsskarv innebär detta att hylsan skall dimensioneras för det maximala moment, som därvid kan uppstå. Figur 5.5a visar ett förslag till en beräkningsmodell för en sådan skarv, där hylsans godstjocklek reducerats med hänsyn till aktuell rostmån.



1. P och M är dimensionerande normalkraft och böjmoment i skarvsnittet enligt kap.5.2.7 ekv (h) och (j).
2. P_s är den tryckkraft som med säkerhet kan visas överförd till hylsan genom t.ex. friktion.
3. Kraften $P - P_s$ överföres i anliggningsnittet mellan pådelarna. e är excentriciteten för denna överföring.
4. Hylsan skall dimensioneras för normalkraften P_s och momentet $M + (P - P_s) \cdot e$

Figur 5.5a Exempel på beräkningsmodell för dimensionering av hylsskarv.

6. Geoteknisk bärförmåga

Slås en påle i tillräckligt fast jord, så att knäckning ej blir avgörande, är det oftast omgivande jords och bergs förmåga att uppta pållasten, som blir dimensionerande. Denna geotekniska bärförmåga beror på hur kraftfullt pålen drivs ned, d.v.s. hur långt in i fast jord pålen drivs, eller hur väl pålen slås till gott fäste i berg.

6.1 Definition av geoteknisk bärförmåga

En påles axiella geotekniska bärförmåga är den lasteffekt från pålen, som jorden/berget kan motstå vid full mobilisering av hållfastheten. Den kan delas upp i mantelbärförmåga och spetsbärförmåga.

$$R_s = R_{sm} + R_{sp}$$

| | | |
|--------|----------|-----------------------------|
| där är | R_s | total geoteknisk bärförmåga |
| | R_{sm} | mantelbärförmåga |
| | R_{sp} | spetsbärförmåga |

6.2 Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Bärförmågan kan verifieras på olika sätt. Om pålarna huvudsakligen är mantelburna, avgör pålarnas längd i jord och jordens egenskaper vilken geoteknisk bärförmåga som kan uppnås. Är pålarna i huvudsak spetsburna, så är det jordens/bergets egenskaper invid pålspetsen, som är avgörande.

6.2.1 Pålängd i jord som mått på bärförmågan

För mantelburna pålar bestäms bärförmågan med provbelastning eller beräknas den genom geostatisk beräkning.

Dynamisk provbelastning med stötvågsmätning och utvärdering av mätresultaten med hjälp av signalmatchning enligt Capwap-metoden är den i marknaden dominerande metoden.

Eftersom osäkerheten är stor vid geostatisk beräkning, så bör sådan endast användas, där jordens egenskaper är väl kända och provbelastning är olämplig på grund av tidsfaktorn (t.ex. pålar i kohesionsjord) eller vid små projekt med små lasteffekter.

6.2.2 Spetsmotståndet som mått på geoteknisk bärförmåga

Vid verifiering av bärförmågan för spetsburna pålar används av tradition sjunkningen vid stoppslagning som ett mått på den verifierade bärförmågan. Detta sjunkningsmått varierar med påltyp, hejartyp och markförhållanden. För en frifallhejare anges bärförmågan som en funktion av sjunkningen för t.ex. 10 slag med en viss hejarvikt och en viss fallhöjd. För en hydraul- eller tryckluftshejare används istället sjunkningen under t.ex. 60 sekunder som variabel..

Den bästa metoden att bestämma stoppslagningsregler för en pålningsarbetsplats är att utföra provpålning i kombination med stötvågsmätning eller statiska provbelastningar.

Vid en inledande provpålning bestäms stoppslagningsregler för objektet på ett antal provpålar, normalt 5-10 % av det totala antalet pålar. Vid utökad kontroll, om man t ex avser utnyttja högre last på pålarna, utförs även en produktionskontroll med stötvågsmätning av slagna pålar. Provpålning i kombination med produktionskontroll omfattar normalt 25 % av det totala antalet pålar i objektet.

Med tilltagande osäkerhet kan stoppslagningskriteriet också beräknas med datorsimulering av stoppslagningen eller bedömas utifrån generella provningar, erfarenhet eller liknande. De senare tillvägagångssätten får bara tillämpas för pålar som är lågbelastade och väsentligen spetsbärande. Med datorsimulering skall man påvisa att hejaren förmår stoppslå pålarna tillräckligt hårt.

6.3 Utförandeklasser 2A, 2B och 2C

Pålning med stålpålar utförs enligt BKR i geoteknisk klass GK2 eller GK3.

Detta kapitel behandlar i huvudsak spetsburna pålar i klass GK2, vilken omfattar normala pålningsförhållanden. Pålningen indelas i utförandeklasserna 2A, 2B och 2C utifrån aktuella jordförhållanden och de krav, som gäller för verifiering av geoteknisk bärförmåga.

Syftet med indelningen i utförandeklasser är att man ska kunna variera säkerhetsnivån beroende på aktuella förhållanden. För att begränsa påkänningarna under stoppslagningen till c:a 90% av stuklasten för var och en av klasserna definieras också en övre gräns för förhållandet mellan den dimensionerande geotekniska bärförmågan R_{sd} och stuklasten, F_{stuk} .

Stuklasten definieras som

$$F_{stuk} = f_{yk} * A_s$$

Där är f_{yk} karakteristisk sträckgräns
 A_s stålarean utan avdrag för rostmån

Utförandeklass 2A gäller för pålar, där den geotekniska bärförmågan verifieras med enbart stoppslagingsregel. 2B och 2C omfattar pålar där verifieringen sker genom en kombination av stoppslagning och provbelastning.

Såvida inte annat visats genom särskilda utredningar skall vid stoppslagningen förhållandet mellan hejarvikt (kolvvikt) och pålens massa per meter vara:

- * för fallhejare >5
- * för pneumatisk hejare >3
- * för hydraulhejare >2

6.3.1 Utförandeklass 2A

Utförandeklass 2A omfattar pålar, som är helt omgivna av jord och som installeras genom slagning. Jorden skall bestå av lätt driven friktionsjord eller kohesionsjord med $c_{uk} \geq 10$ kPa. Risk för tvångskrökning på grund av block, fyllning eller dylikt skall ej förekomma.

Den geotekniska bärförmågan verifieras med stoppslagingsregel, som gäller för aktuell påle och hejare. Regeln skall vara baserad på vedertagen metod t.ex. den, som beskrivs i Pålkommisionens Rapport 92.

Nyttjas för lätt hejare vid stoppslagning, skall kontrollslagning utföras med en hejare, som förmår uppfylla kravet enligt ovan.

Förhållandet R_{sd} / R_{stuk} begränsas till 30%.

6.3.2 Utförandeklass 2B

Utförandeklass 2B omfattar spets- och mantelburna pålar installerade genom slagning. Den inledande provpålningen skall omfatta 10% av antalet pålar i varje kontrollobjekt, dock minst 4 pålar/objekt. Provpålningen skall ligga till grund för stoppslagningskraven för den fortsatta pålningen.

För enkla slagningsförhållanden kan man räkna med $R_{sd} / R_{stuk} = \max.40\%$. Vid svåra slagningsförhållanden bör man inte utnyttja mer än 35%.

OBS: Vid stötvågsmätning skall man kontrollera att pålen ej överbelastas vid stoppslagning och stötvågsmätning!

6.3.3 Utförandeklass 2C

Utförandeklass 2C omfattar spets- och mantelburna pålar, installerade genom slagning. Provpålning skall omfatta 5-10% av antalet pålar i varje kontrollobjekt, dock minst 5 pålar/objekt. Uppföljning skall ske genom provbelastning av ytterligare 15-20% under produktionspålningen, så att det totala antalet provade pålar är minst 25% av det totala pålantalet.

Den geotekniska bärförmågan verifieras med stoppslagningskrav fastställt med dynamisk eller statisk provbelastning av provpålar. Stoppslagningskravet verifieras genom provbelastning av produktionspålar.

Om förhållandena bedöms vara svåra, bör omfattningen av mätningarna utökas. Det kan i sådana fall vara lämpligt att utföra provbelastningen av provpålar som en del av projekteringen. I byggskedet, när bottenplatta och övriga konstruktioner är ritade och schakten utförd, blir en påtvingad sänkning av pålarnas lasteffekt dyr och störande för andra aktiviteter.

För enkla slagningsförhållanden kan man räkna med att $R_{sd} / R_{stok} = \max 45-50\%$ av pålens stuklast. Vid svårare förhållanden bör man inte räkna med att utnyttja mer än 40-45%.

OBS: Vid stötvågsmätning skall man kontrollera att pålen ej överbelastas vid stoppslagning och stötvågsmätning!

6.3.4 Stoppslagningskriterier

De stoppslagningskriterier och partialkoefficienter för dimensionerande geoteknisk bärförmåga i brottgränstillståndet, som beskrives här följer i tillämpliga delar BRO 94, kap. 32.236-237.

Pålars karakteristiska geotekniska bärförmåga (R_{sk}) skall bestämmas enligt någon av utförandeklasserna 2A, 2B eller 2C.

Vedertagna metoder skall användas och förutsättningarna dokumenteras.

Provade pålar skall vara ett representativt urval ur en grupp av pålar, ett kontrollobjekt, med enhetligt verkningssätt och enhetlig geoteknik.

Den dimensionerande geotekniska bärförmågan (R_{sd}) erhålles enl. ekv. (a)

$$R_{sd} = \frac{R_m}{\gamma_{tot}} \quad (a)$$

här är R_m = R_{sk} för provad påle
 = medelvärdet av de provade pålarnas R_{sk} .
 dock max $R_{sk} / 0.85$ för lägsta mätta R_{sk} .

γ_{tot} = partialkoefficient enligt tabell 6.3a

Tabell 6.3a: Partialkoefficient γ_{tot} och övre gränsvärde för olika säkerhets- och utförandeklasser

| Utförandeklass | Provade pålar | | Partialkoeff. γ_{tot} | | | Övre gränsvärde R_{sd} / R_{stuk} % |
|--------------------------|---------------|-----------|------------------------------|------|------|--|
| | Andel % | Min. ant. | SK 1 | SK 2 | SK 3 | |
| A | | | 2.10 | 2.30 | 2.50 | 30 |
| B | 10 | 4 | 1.70 | 1.85 | 2.00 | 40 |
| C | 25 | 5 | 1.55 | 1.70 | 1.80 | 50 |
| Individuellt mätta pålar | | | 1.45 | 1.60 | 1.70 | 50 |

Om stoppslagning med säkerhet sker mot berg kan γ_{tot} enligt tabell 6.3a reduceras med 0.20.

Gränsvärdet R_{sd} / R_{stuk} i tabell 6.3a avser normal slagning. Vid tung slagning eller slagning av pålar i stenig / blockig jord skall det reduceras med 5 procentenheter.

6.4 Lasteffekt i påle vid stoppslagning

Lasteffekten i pålen vid stoppslagning kan beräknas utifrån karakteristisk geoteknisk bärförmåga, R_{sk} , enligt:

$$F_{cd} = R_{sk} \cdot \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \quad (a)$$

där är γ_{f1} en partialkoefficient, som kan sättas till 1,05, då spetskraften invid pålspetsen ökar med ca 5 % enligt datorsimulering av stoppslagning av stålpålar till små sjunkningsvärden, 5 mm/10 slag eller 5 mm/minut.

γ_{f2} en koefficient, som beaktar osäkerhet i stoppslagningen, bl. a. om stopp skett mot jord eller berg resp. om avsedd fallhöjd används. Den kan ges olika värden för de olika utförandeklasserna.

| | | |
|--------------------|----------|---------------------|
| För utförandeklass | 2A väljs | $\gamma_{f2} = 1.2$ |
| | 2B | $\gamma_{f2} = 1.1$ |
| | 2C | $\gamma_{f2} = 1.0$ |

Under stoppslagningen får pålens kapacitet enligt kap. 5.3 inte överskridas. Hänsyn skall därvid tas till de excentriciteter som kan uppkomma.

6.5 Datorsimulering av stoppslagning enligt kontrollklass 2A

Generella stoppslagningsregler får endast användas för lågbelastade pålar enligt kontrollklass 2A. För högre utnyttjande krävs provbelastning eller stötvågs kontroll av den geotekniska bärförmågan.

Stoppslagningsregler enligt kontrollklass 2A förutsätter att pålarna installeras genom lätt driven friktionsjord eller kohesionsjord till distinkt stopp mot mycket fast morän eller berg.

Datorsimulering av påslagning innebär att slagningen simuleras med hjälp av en beräkningsmodell för stötvågsförloppet i pålen. Modellen beskriver vågalstraren (hejaren), dynan, pålen och kopplingen till omgivningen (jord och berg).

I Pålkommisionens rapport 92 redovisas metodiken vid datorsimulering. Där ges också ett antal beräkningsexempel.

Vid stoppslagning av stålplålar kommer spetstrycket mellan påle och jord/berg att variera mellan 45 och 100 MPa beroende på påldimension, dvs betydligt högre än för betongplålar (22 à 25 MPa). Stålplålar tränger således normalt ned till fastare jord än betongplålar. Det innebär att även jordens fjädring och dämpning kan förväntas vara lägre än motsvarande för betongplålar, något som bekräftats av simulering och mätning i pålningsobjekt. I avsaknad av generella fjädrings- och dämpningsvärden för sådana förhållanden rekommenderas ett försiktigt val av jordparametrar eftersom valet starkt påverkar simuleringens resultat.

Vid bestämning av stoppslagningsregler med datorsimulering enligt WEAP rekommenderas följande jordparametervärden:

Fjädring i jorden innan brott (quake) $q = D/120$ dock > 1 mm.

Smith dämpning $J_s = 0.5 \cdot \frac{25}{\sigma_{spets}}$

Här är D pålens diameter i mm.
 σ_{spets} spetstryck i Mpa

Ovanstående värden bygger på studier av ett stort antal praktikfall.

7. Beständighet

7.1 Normer och normativa handlingar

Lagens om tekniska egenskaper hos byggnadsverk, BVL, huvudkrav beständighet (att byggnadsdelens övriga tekniska egenskaper bevaras under dess avsedda livslängd) behandlas i BKR i avsnitt 2:14.

Europastandarden EC 3 och t ex Boverkets handbok för stålkonstruktioner, BSK 99, behandlar också beständighet hos stålkonstruktioner. Utgångspunkten är att stålkonstruktionen befinner sig ovan mark och alltså kan förses med korrosionsskyddande ytbeläggningar anpassade till omgivningen samt att ytbeläggningen vid behov kan underhållas. Därför avråds från livslängdsdimensionering med rostmån. Stålpålar, med eller utan korrosionsskydd, slås ned i marken, är därefter omgivna av jord och vatten och kan varken inspekteras eller underhållas. Detta ställer speciella krav på eventuella ytbeläggningar och medför att rostmån måste accepteras vid livslängdsdimensionering av slagna stålpålar.

Till EC 3 har en förstandard, SS-ENV 1993-5:1998 – Del 5: Pålning, utgivits. I Table F.1 anges generella godsförluster i mm hos stålpålar på grund av korrosion efter olika exponeringstider upp till 100 år. Författarna gör reservationen: ”The values given are only for guidance. Local conditions should be considered because they might affect the actual corrosion rate, which can be lower or higher than the average value given in the table”.

Pålkommisionens rapport 93 Korrosion och korrosionsskydd av stålpålar och stålspont i jord och vatten är en sammanställning från 1994 av korrosionstekniskt vetande och erfarenheter samt standarder på korrosionsområdet. Underlaget till denna rapport är väsentligt större än det till t ex förstandarden ovan.

Bakgrunden till nedan angivna dimensioneringsprinciper har hämtats från Rapport 93. Följande text utgår från den kommande delen om beständighet i Pålkommisionens större projekt Gemensamma dimensioneringsprinciper.

Ett fortsatt arbete avseende korrosion hos stålpålar i jord har också påbörjats under år 2000, (inom Pålkommisionen). I det fall detta arbete skulle komma att innebära att nedanstående rekommendationer bör ses över, avses rapporten att revideras.

7.2 Dimensioneringskrav

Alla stålpålar skall dimensioneras för en livslängd av minst 100 år om inte konstruktionen uppenbart ska ha annan och kortare livslängd. Byggherren har

ansvaret för att BVL:s krav innehålls och är den part i byggprocessen, som kan ange byggnadsverkets avsedda livslängd som underlag för övriga parters dimensioneringsarbete.

Stålkorrosion i mark är starkt beroende av jord- och grundvattenförhållandena. Därför skall stålplåtar alltid beständighetsdimensioneras för det enskilda pålningsobjektet.

All rostmånsdimensionering av stålplåtar skall utgå från att korrosionen först reducerar påltvärsnittet och att övriga lastfall (utom installation) kommer därefter.

7.3 Dimensioneringsprinciper

7.31 Allmänna principer

Korrosionsbenägenheten är mycket olika ovan respektive under grundvattenytan och likaså mycket olika i olika jordarter. Detta innebär att korrosionsbenägenheten varierar kraftigt längs den enskilda pålen. Dimensionering skall ske med hänsyn till den mest korrosionsutsatta delen av pålen (jämför en bojkätting!). Denna finns normalt i anslutning till grundvattenytans variationsområde och/eller i fyllningsjordar. I praktiken innebär detta att det ofta är lämpligt och lönsamt att använda olika lösningar på olika delar av samma påle – kringgjutning av påldelar i anslutning till grundvattennivån t ex.

Det finns en stor och principiell osäkerhet i livslängdsdimensionering, som ju handlar om prognoser för den fysiska och kemiska miljön i jord och grundvatten på 100 års sikt. Därför är det alltid motiverat att tillämpa ett försiktigt synsätt vid livslängdsdimensionering av stålplåtar.

7.32 Dimensioneringsmetoder

Stålplåtar kan endera dimensioneras med hänsyn till en bedömd avrostning under den dimensionerande livslängden (rostmån) eller förses med korrosionsskydd. De båda metoderna – rostmån och korrosionsskydd – kan även kombineras.

Korrosionsskyddet fungerar genom att det förhindrar rostangreppet eller genom att det fördröjer eller skjuter upp detta. I det senare fallet skall alltså dimensionering ske med rostmån för en kortare tid eller med reducerad korrosionshastighet. När plåtar förses med korrosionsskyddande beläggning tillkommer krav på att beläggningen klarar installationen utan att nötas eller repas så att dess effekt minskar.

De faktorer, som kan variera och innebära olika livslängd för eljest likadana stålplåtar, är jord- och grundvattenmiljön efter installationen. Dimensioneringen skall

alltså utgå från kunskap om dessa faktorer och en bedömning av deras framtida förändring i varje pålningsprojekt. Nedan ges anvisningar för:

- Rostmånsdimensionering för enkla förhållanden, där erfarenhetsvärden om avrostningshastighet kan tillämpas av en geotekniskt sakkunnig med utgångspunkt från kunskap om jord- och grundvattenförhållanden.
- Rostmånsdimensionering för komplexa och korrosiva förhållanden, där livslängdsdimensioneringen bör göras av geotekniskt och korrosionstekniskt sakkunniga i förening och där korrosionstekniska undersökningar bör utföras som komplement till de geotekniska.
- Vanliga korrosionsskyddande beläggningar
- Katodiskt skydd.

7.4 Rostmån, allmänt

7.41 Dimensionerande rostmån

De tabellvärden för rostmån, som anges i avsnitt 7.5 och 7.6 är dimensionerande värden. De har valts utifrån uppmätta värden eller extrapolerade sådana ("karaktäristiska värden") och ökats med en bedömd "partialkoefficient" för att ta hänsyn till 100-årsperspektivet. Ytterligare säkerhet ska således ej läggas på dessa värden.

I de fall den dimensionerande livslängden är kortare än 100 år kan tabellvärdena proportioneras i förhållande till aktuell dimensionerande livslängd.

I de fall en kvalificerad, objektsspecifik utredning eller undersökning utförs, bör dimensioneringen i stället utgå från karaktäristiska värden (se t. ex. referenserna i Rapport 93) och en för objektet vald "partialkoefficient".

7.42 Invändig avrostning i ihåliga pålar

Man bör ej generellt utgå från att skarvarna i ihåliga pålar är vatten- och gastäta, vilket innebär att rörpålar skall dimensioneras för korrosion även från insidan. Den största korrosionen kommer att uppstå i anslutning till variationsområdet för den "grundvattenyta", som så småningom bildas i en otät påle som står i kontakt med grundvatten.

För pålar, som igjuts med betong eller cementbruk behöver hänsyn ej tas till invändig korrosion.

För andra pålar kan värden enligt tabell 7.42 användas om annat inte i det enskilda fallet visas vara riktigare.

Tabell 7.42 Dimensionerande, invändig rostmån för 100 år.

| Omgivande grundvatten | Dimensionerande rostmån, mm |
|-----------------------|-----------------------------|
| Sött | 1 |
| Salt, bräckt | 1,5 |

7.43 Rostmån i hylsskarvar

Hylsskarvar kommer att rosta även i den gemensamma kontaktytan mellan hylsa och pålelement. Korrosionshastigheten är med säkerhet lägre än där pålytan har kontakt med omgivningen.

Under förutsättning att

- hylsskarvarna särskilt utformats för täthet eller
 - någon av pådelarna är varmförzinkad i kontaktytan
- behöver hänsyn ej tas till dubbelsidig korrosion av skarvhylsan.

I andra fall kan dimensionerande rostmån enligt tabell 7.42 användas även för ytorna inuti hylsskarven.

7.5 Rostmån, enkla förhållanden

7.51 Tillämplighet

Enkla förhållanden, där enkel dimensionering utifrån tabellvärden för avrostningshastighet kan tillämpas, är

- naturliga jordar samt
- fyllningar av friktionsmaterial med känd sammansättning (dvs i praktiken nyutförda).

under förutsättning

- att grundvattnet är sött och ej kemiskt aggressivt samt,
- att man med någon säkerhet kan förutse att större ändringar av förhållandena ej kommer att ske under pålens avsedda livslängd (!).

Undantag utgör naturligt sulfidhaltiga jordar av det slag som förekommer bl a i Norrlands kusttrakter (svartmocka etc).

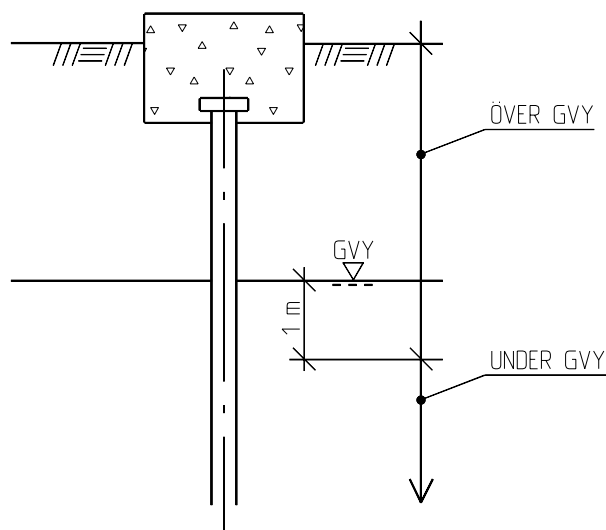
Vid dimensioneringen skall hänsyn tas till kända eller rimliga framtida förändringar av grundvattenytan (landhöjning, exploatering, undermarksbyggande etc).

7.52 Lämplig rostmån

Dimensionerande rostmån vid 100 års avsedd livslängd i olika jordar anges i nedanstående tabell. Om en påle avses ha kortare livslängd kan direkt proportionering ske. Om pålen avses ha längre livslängd bör dimensionering utföras under medverkan av korrosionstekniskt sakkunnig.

Tabell 7.52 Dimensionerande rostmån för 100 år i jord, enkla förhållanden.

| Jordart | Dimensionerande rostmån, mm | |
|--|-----------------------------|----------|
| | över GW | under GW |
| Sand, grus samt sandiga/grusiga moräner och fyllningar | 2 | 2 |
| Lera, silt, leriga/siltiga moräner | 3 | 2 |
| Gyttjig lera/silt, gyttja, torv, dy (vattenkvot > 80%) | 4 | 3 |



Figur 7.52 "Över" respektive "under grundvattenytan"

7.53 Vanliga förhållanden, som inte är enkla

Enkel livslängdsdimensionering, baserad endast på geoteknisk kunskap om pålningsplatsen bör ej tillämpas okritiskt vid följande, ganska vanliga förhållanden för stålpålning:

- Äldre innerstadsmiljö, där grundvattnet kan vara förorenat av avloppsvatten.
- Fyllningar med inslag av organiskt material eller med okänd sammansättning eller där underliggande organisk jord kan ha trängt upp i fyllningen.
- Områden där grundvattnet kan vara salt
- Påldelar i vatten eller i grov fyllning under vatten

7.6 Rostmån, komplexa eller korrosiva förhållanden

Under sådana förhållanden, som inte beskrivs under 7.52 ovan, bör livslängdsdimensionering utföras av geotekniskt och korrosionstekniskt sakkunniga i förening. I sammanhanget kan åter påpekas att ett praktiskt förfaringssätt kan vara att förse pålarna med korrosionsskydd på delar, som har komplex eller korrosiv omgivning, oftast en begränsad längd av övre delen.

Dimensionering kan ske genom tillämpning av värden enligt tabell 7.6 nedan. Dessa bör ej användas okritiskt av projektörer, som saknar korrosionsteknisk kunskap.

Helst bör dimensioneringen baseras på korrosivitetsundersökningar på pålningsplatsen. Korrosivitetsundersökningar kan bestå av pH-bestämning i jord och grundvatten, mätning av kloridhalt, ofta mätt som resistivitet, samt bestämning av grundvattennivå med variationsområde. Resultaten kräver sakkunnig utvärdering för tolkning till dimensionering av rostmån. Tolkningen måste även omfatta en prognos för framtida förändring av värdena i livslängdsperspektivet (100 år).

En särskild korrosivitetsundersökning bör alltid göras för pålar som ska stå i:

- avfallsdeponier (soptippar)
- fyllningar, som innehåller aska eller slagg
- kemisk processindustrimiljö eller avfall från sådana industrier
- miljöer, där elektriska likströmmar kan förekomma i marken.

Tabell 7.6 Dimensionerande rostmån för 100 år i jord, vissa komplexa och korrosiva förhållanden.

| Jordart | Dimensionerande rostmån, mm | |
|---|-----------------------------|----------|
| | över GW | under GW |
| Jordar, som genomsätts av havsvatten utom Bottenviken | 5 | 3 |
| Okontrollerad fyllning av naturlig jord | 4 | 3 |

7.7 Rostmån, pålar i vatten

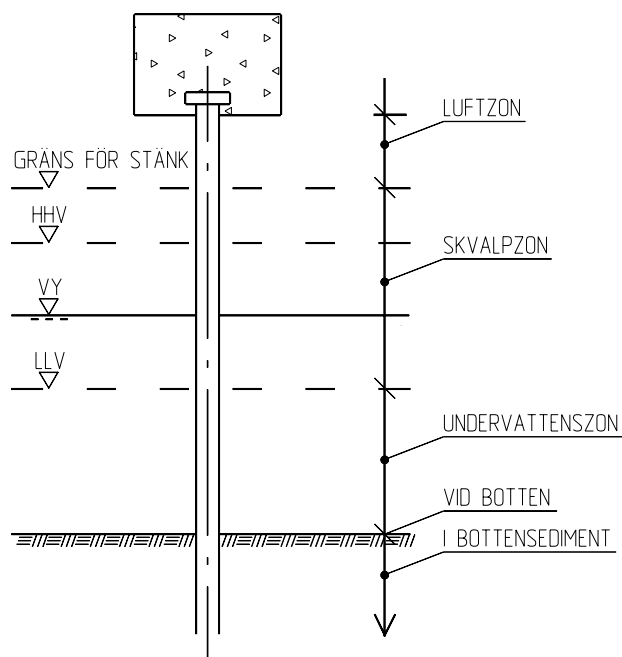
Avfrättningshastigheten på oskyddade stålplålar i vatten är som regel betydligt högre än på pålar i jord, och vanligtvis högre i havsvatten (saltvatten) än i sötvatten. Rostmånen blir därför betydligt större i vatten än i jord.

Dimensionerande värde på rostmånen i olika typer av vatten återfinns i tabell 7.7. För oskyddade pålar, som dimensioneras för lång livslängd i vatten blir rostmånen i många fall opraktiskt stor. I sådana fall är det vanligen lämpligare att använda pålar med korrosionsskydd, eventuellt i kombination med reducerad rostmån. Den reducerade rostmånen bestäms från fall till fall med hänsyn bl a till typ av korrosionsskydd.

Vid korrosionsskydd av pålar i havsvatten är det i många fall lämpligt att kombinera en korrosionsskyddande beläggning med katodiskt skydd. Eftersom havsvatten har mycket god elektrisk ledningsförmåga (låg resistivitet), kan det katodiska skyddet i normalfallet utformas med offeranoder, vilket eliminerar tillsynsbehovet vid alternativet med utmatad skyddsström. Katodiskt skydd av stålplålar i vatten beskrivs mera ingående i Pålkommisionens rapport 93.

Tabell 7.7 Dimensionerande rostmån för 100 år i vatten samt för påldelar i fyllning av sprängsten eller grovt grus i vatten.

| Zon, se fig 7.7 | Dimensionerande rostmån, mm | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| | Sött sjö- vatten | Sött ström- mande vatten | Bräckt vatten, halt NaCl 0,25- 1% | Salt vatten, halt NaCl > 1% |
| Luftzon | 5 | 5 | 10 | 10 |
| Skvalpzon | 20 | 20 | 30 | 30 |
| Undervattenszon | 5 | 10 | 10 | 10 |
| Vid botten, ej eroderande sediment | 5 | 10 | 10 | 10 |
| Vid botten eroderande sediment | 20 | 20 | 30 | 30 |
| I bottensediment | 2 | 2 | 2 | 5 |



Figur 7.7 Zoner för pålar i vatten eller öppen fyllning i vatten enligt tabell 7.7

7.8 Kringgjutning med betong eller cementbruk

7.8.1 Kringgjutning i formrör

Om formröret är beständigt, fungerar detta som korrosionsbarriär mot omgivningen. Kringgjutningens tjocklek är i sig inte av avgörande betydelse, det viktiga är att den täcker hela stålpläns yta, något som i praktiken skall säkerställas med distanser. Tjockleken bör dock vara minst 15 à 20 mm. Kringgjutning i ett beständigt formrör ger ett fullgott skydd mot stålkorrosion.

Beständiga formrör kan bestå av stabila plaster, t ex PE eller PVC. De kan också bestå av stål (vanligen ett borrat foderrör). I detta fall skall röret dimensioneras med rostmåen enligt avsnitten ovan och därefter betraktas som korrosionsbarriär mot omgivningen. Samverkan för lastkapacitet mellan pålen och det rostmånsreducerade röret kan på visst sätt utnyttjas vid dimensionering, se avsnitt 5.2.4.

Om formröret är obeständigt, skall kringgjutningen ges en sådan tjocklek, som anges i dimensioneringsanvisningarna för täckande betongskikt i Boverkets bestämmelser för betongkonstruktioner, BBK, vid gjutning mot form och med hänsyn tagen till omgivningens korrosivitet för betong.

7.82 Kringgjutning utan formrör

Kringgjutningen skall ges sådan tjocklek, som anges för täckande betongskikt i BBK vid gjutning mot mark och med hänsyn tagen till omgivningens korrosivitet för betong. Svårigheten att kontrollera det praktiska utförandet är betydande.

7.9 Korrosionsskyddande beläggningar

7.91 Allmänt

Korrosionsskyddande beläggningars skyddsverkan innebär att de isolerar stålytan från omgivningen. Av betydelse är då beläggningens skiktjocklek, beständighet och vidhäftning till stålytan. Viktiga faktorer är också beläggningens långsiktiga förmåga att förhindra s k underrostning samt skiktets förmåga att oskadat klara pålens installation i marken. De senare egenskaperna måste relateras till sådana parametrar som nötningbeständighet och reptålighet.

Användning av korrosionsskyddande beläggningar kräver således en värdering från fall till fall av sådana jordegenskaper, som kan ge avnötning eller avskalning av beläggningen under nedslagning av pålen (dvs förhållanden som i varierande grad finns i alla friktionsjordar) respektive genomreppning (aktuellt i grova friktionsmaterial med vassa stenar och block – fyllningar av kross- eller sprängsten).

7.92 Tjock, extruderad plastmantel

Tekniken att genom extrudering belägga stålrör med en tjock (ca 2 mm) mantel av polyeten (PE) som korrosionsskydd är gammal och beprövad. På senare år har motsvarande teknik utvecklats för polypropen (PP) med något bättre reptålighet. Plastmanteln i sig är helt beständig så länge den skyddas mot UV-ljus. Avgörande för skyddets effektivitet är plastens vidhäftning till stålytan, vilken i sin tur är beroende av rengöring och användning av lim. Appliceringen sker normalt industrimässigt, t ex enligt standarderna EN 10285(PE) resp. EN 10286(PP). Manteln kombineras numera vanligen med en tunn epoxibeläggning på stålet före extruderingen, vilket ökar vidhäftning och korrosionsskydd, s k flerskiktsbehandling.

Plastmanteln har förhållandevis god motståndskraft mot nötning men måste skyddas mot genomgående repning vid påslagning genom kross- eller sprängstensfyllningar. Detta sker lämpligen genom förborring, eventuellt med foderrör.

En intakt och oskadad flerskiktsbehandling med både epoxi och limmad, extruderad PE- eller PP-mantel ger ett fullgott korrosionsskydd för pålen oavsett omgivning.

Behandling med endast lim och extruderad PE- eller PP-mantel ger ett sämre skydd. I normalfallet bör man därför vid användning av detta slags mantel dimensionera

pålen med någon rostmån, förslagsvis minst 25% av de som anges under 7.5 och 7.6 ovan. Detta motsvarar max 75 års livslängd för korrosionsskyddet.

Den idag sällan förekommande uppbyggnaden av manteln genom sintring av PE-pulver direkt på stålytan har betydligt sämre vidhäftning och bör av den anledningen ej användas på slagna stålplåtar.

7.93 Tunna organiska beläggningar

I denna kategori finns olika typer av rostskyddande målningar och plastbeläggningar med en skiktjocklek av upp till några tiondels mm. Den rostskyddande verkan är starkt beroende av skiktjockleken och vidhäftningen till stålytan, egenskaper vilka i sin tur är beroende av appliceringsprocessen.

Ytbehandlingen sker industriellt, ofta enligt tillverkarens egna processer och beskrivningar. Standarderna EN 10289(EP) och EN 10290(PUR) behandlar ytskikt av epoxi- resp. polyuretanfärg

Beläggningarna är på grund av den ringa tjockleken känsliga för skador, nötning samt genomrening och måste skyddas vid hantering av påelementen respektive vid påslagning i grovkornig friktionsjord liksom givetvis i kross- eller sprängstensfyllningar, lämpligen genom förborring med eller utan foderrör.

Beläggningarnas skyddseffekt varierar med typ och bör avgöras från fall till fall av geoteknisk och korrosionsteknisk expertis i samverkan. Generellt sett bör tunna, organiska beläggningar ej anses ge ett fullgott skydd för stålet, utan de skall kombineras med lämpligt vald rostmån

7.94 Varmförzinkning

En korrekt utförd varmförzinkning ger ett fullgott skydd för stålet så länge zinkskiktet består. Zinken korroderar dock med tiden, varför skyddets livslängd är begränsad. Förutsättningarna för hög zinkkorrosionshastighet är delvis, men inte helt, identiska med dem för hög stålkorrosionshastighet.

Eftersom zinkens avfrättningshastighet varierar mellan olika jordförhållanden, är det viktigt att varmförzinkningen är tillräckligt tjock. Ju tjockare zinkskikt desto längre består skyddsverkan. För stålplåtar i jord är varmförzinkning enligt svensk standard SS 3583, klass C (140/215 µm zink) det bästa valet. Utförandet av varmförzinkning behandlas i standarden SS-EN ISO 1461.

Varmförzinkningsskikt bör skyddas mot nötning vid påslagning i grovkornig friktionsjord, lämpligen genom förborring med eller utan foderrör. Lokal genomrening har däremot föga betydelse för den totala skyddseffekten.

Zinkens dimensionerande avfrätningshastighet i några naturliga jordar såväl ovan som under grundvattenytan i sött grundvatten anges i tabell 7.94. Tabellvärdena baseras på förhållandevis korta observationstider, 8 –10 år.

I alla andra miljöer, dvs bl a alla typer av fyllningar, bör zinkens förväntade avfrätning bedömas av korrosionsteknisk expertis. Vid dimensionering beräknas först zinkskiktets livslängd med utgångspunkt från skiktjockleken och avfrätningshastigheten enligt tabellen. Om zinkens livslängd understiger 100 år, görs därefter en rostmånsdimensionering för stålet enligt 7.5 eller 7.6 ovan, varvid där angivna rostmåner proportioneras i förhållande till återstående pållivslängd till 100 år.

Dimensionerande avfrätningshastighet motsvarar dimensionerande rostmån enligt 7.41 ovan, dvs till tabellvärdena skall ej läggas ytterligare säkerheter.

Tabell 7.94 Dimensionerande avfrätningshastighet för zink i naturlig jord.

| Jordart | Zinkavfrätning $\mu\text{m}/\text{år}$ |
|---------------|--|
| Lerjord | 20 |
| Torvjord | 30 |
| Friktionsjord | 5 |

7.95 Kombinationsbeläggningar zink/plast

Varmförzinkning ger ett fullgott korrosionsskydd för stål så länge zinkskiktet består. Problemet är zinkens begränsade beständighet. Om därför zinken skyddas mot korrosion med en tillräckligt beständig beläggning av plast (epoxi, vissa termoplaster) förlängs skyddseffekten högst väsentligt.

Applicering av plastbeläggning på en varmförzinkad yta kräver stor noggrannhet och måste göras på målningsfabrik för att erforderlig vidhäftning ska erhållas. Den förväntade skyddseffekten av en given kombination av material och appliceringsprocess skall avgöras från fall till fall. Eftersom kombinationen zink/plast inte bedöms kunna ge fullgott skydd under 100 år, bör skyddet kombineras med en reducerad rostmån.

Plastbeläggningen måste skyddas mot hanteringskador samt nötning och genomreppning liksom andra tunna, organiska beläggningar, se 7.93 ovan.

7.10 Katodiskt skydd

Katodiskt skydd av pålar kan i princip ske endera på galvanisk väg med offeranoder eller på elektrolytisk väg med utmatad skyddsström.

Den senare tekniken rymmer risker för sekundärskador på konstruktioner i omgivningen och kan därför endast i undantagsfall användas i bebyggda områden. Skydd med utmatad skyddsström kan i praktiken bara användas i kombination med organisk ytbeläggning av stålet. Därtill finns den principiella invändningen att på så sätt skyddade pålar kräver tillsyn och underhåll i 100 år.

För pålar som står fritt i vatten, t ex under pirar, är tillämpning av katodiskt skydd mindre komplicerad.

Katodiskt skydd av pålar skall alltid dimensioneras från fall till fall av korrosionstekniskt sakkunnig.

8. Utförande och kontroll

Det finns många olika typer och fabrikat av stålpålar och de installeras och stoppslås med många typer av hejare för dimensionerande bärförmåga inom ett stort spann. Det är därför knappast möjligt att ange generella anvisningar för utförande och kontroll av stålpålning, sådana måste kopplas till de olika påltyperna. Nedan anges dock några generella krav och principiella synpunkter i syfte att förutsättningar och synsätt vid dimensioneringen av stålpålar för ett projekt kontrolleras och omsätts i handling vid det praktiska utförandet.

8.1 Dimensionering och bygghandlingar

I denna rapport rekommenderas olika säkerhetsfaktorer och andra dimensioneringsparametrar beroende av arten och omfattningen av kontrollen och verifieringen på plats i det enskilda pålningsprojektet. Det är synnerligen väsentligt att de förutsättningar, som använts vid dimensioneringen omsätts i erforderliga föreskrifter för dokumenterad utförandekontroll och verifiering i bygghandlingarna för det aktuella projektet.

Vidare skall utförandekontrollerna införas i projektets Kontrollplan enligt PBL och den objektsspecifika kvalitetsplanen.

Dimensionering med utgångspunkt från antaganden om gynnsamma förhållanden måste också kopplas till motsvarande föreskrifter för dokumenterad kontroll och verifiering av antagandena i bygghandlingar, Kontrollplan enligt PBL och objektsspecifik kvalitetsplan. Projektören bör i dessa handlingar även ange alternativa åtgärder för den händelse kontrollen visar att antagandet ej verifieras. Föreskrifter av detta slag införs lämpligen redan i förfrågningsunderlaget för projektet.

8.2 Projektering och upphandling

Ett gott resultat av en planerad pålning gynnas av samverkan under projekteringen mellan den projektör som känner och ansvarar för det byggnadsverk, som pålarna skall bära, och en projektör som behärskar pålningsteknik, inklusive detaljerna och ekonomin i det praktiska utförandet. Då kan last per påle, påltyp och drivningssätt i förhållande till de geotekniska förutsättningarna, stoppslagnings- och verifieringskrav, förhållandet mellan verkligen utnyttjad bärförmåga och den teoretiskt maximala etc optimeras för det enskilda projektet så att det praktiska utförandet av pålningen kan ske utan oförutsedda eller onödiga svårigheter. Det kan påpekas att mindre än maximalt utnyttjande av pålars bärförmåga under projekteringen ger möjlighet att tolerera vissa avvikelser i det praktiska utförandet utan den betydande produktionsstörning, som omprojektering och metodbyten under pågående entreprenadutförande normalt innebär.

Det praktiska utförandet av en pålning styrs av kontraktshandlingarna. Mycket vanligt är att byggherren köper pålningen som en liten del i ett kontrakt med en general- eller totalentreprenör för ett komplett byggnadsverk, medan den praktiska pålningen regleras i underentreprenadavtal, ofta upphandlade i flera led.

Oavsett hur projekteringen skett, är det därför viktigt att projekteringsresultatet omsätts i entydiga anvisningar och restriktioner i kontraktshandlingarna för projektet och att dessa oförvanskat överförs i alla led ned till kontraktshandlingarna för själva pålningsentreprenaden.

8.3 Några praktiska frågor av betydelse

8.3.1 Dragstarka skarvar

En installerad, tryckbelastad påle behöver inte överföra dragkrafter i skarvarna, varför denna rapport inte innehåller sådana dimensioneringsanvisningar.

Under installationen av pålen är det däremot en fördel om skarvarna kan överföra dragkrafter, särskilt vid installation med fallhejare. Stora dragkrafter kan uppstå av den reflekterade stötvågen, när en påle slås med lågt spetsmotstånd eller i samband med hejarstuds vid stoppslagning. Dessa dragkrafter kan öppna skarvarna och leda till stukning av pålelementens ändar och ökad avvinkling i skarven. Om hejaren inte förmår slå ihop skarvarna vid eller efter stoppslagningen finns en risk för att den installerade pålen har kvarstående glapp i skarvarna, vilket trycks ihop först när den belastas av det byggnadsverk pålen skall bära.

Förutsättningar och risker varierar starkt med de geotekniska förhållandena på pålningsplatsen och installationsmetoden. Generellt sett är det en fördel med dragstarka skarvar under förutsättning att skarvningen kan utföras med full anliggning mellan pålelementen även då pålen har obetydligt spetsmotstånd. Dessa anvisningars synsätt på mätning av verklig initialkrokighet och geoteknisk bärförmåga påvisar den högre dimensionerade bärförmåga, som uppnås med raka, dragstarka pålskarvar.

8.3.2 Tunga och lätta slagdon

Stålpålar installeras och stoppslås med många slags slagdon. Rätt valda och använda i förhållande till påltypen samt de geotekniska och praktiska förhållandena på pålningsstället uppnås normalt avsedda resultat. I motsatt fall uppstår risker för otillräcklig bärförmåga för den installerade pålen. Generella regler för användning av / förbud mot vissa slags hejare är svåra att ange eller motivera. Synsättet i dessa anvisningar är i stället ett krav att påvisa den verkliga uppnådda geotekniska

bärförmågan på det enskilda pålningsstället med den aktuella kombinationen av påle och hejare i de fall hög dimensionerande bärförmåga utnyttjas för pålen.

I kap. 6 redovisas principiella för- och nackdelar med olika hejartyper.

9. Jämförelse med praxis

I detta avsnitt görs en jämförelse med förutsättningar enligt denna utredning samt föreliggande praxis för olika pålsystem gällande:

- Dimensionering
- Utförande
- Kontroll

Syftet med jämförelsen är att belysa de olika systemen utifrån tankarna med gemensamma dimensioneringsprinciper. Förslaget enligt denna utredning är framtaget enligt samma beräkningsfilosofi som gäller för slagna betongpålar. De regler som idag är praxis för olika stålpålesystem innebär ofta en mycket hög utnyttjande grad i förhållande till kraven på kontroll.

9.1 Dimensionering

9.1.1 Excentricitet

Inverkan av excentricitet skall beaktas vid dimensioneringen av såväl påltvärsnitt, pålspets som skarv. Dimensionering skall göras för såväl lastfall under installation som för lastfall avseende installerad påle.

9.1.2 Initialkrokighet alternativt krökningsradie

I flera pålsystem talar man ofta om minsta krökningsradie. Mer korrekt vore det att likt Stålbyggnadsnormen BSK använda begreppet initialkrokighet. För att få en jämförelse mellan de två begreppen kan man använda sambandet

$$L_k^2/8R = \delta_0 \quad \text{där}$$

L_k = knäcklängden
 R = krökningsradien
 δ_0 = största pilhöjden inom knäcklängden

Dimensioneringen avseende installerad påle med enbart axialbelastning skall sedan utföras enligt avsnitt 5 ovan, med hänsyn tagen till egenstressklassen och andra ordningens teori.

9.2 Utförande

9.2.1 Verifiering av geoteknisk bärförmåga

Vid lägre utnyttjande av pålar erfordras en generell stoppslagningsregel framtagen med hjälp av datorsimulering (ex WEAP). För att få utnyttja större andel av stuklasten än 25-30% måste stötvågsmätning utföras för bestämning av stoppslagningskriterium. Vid stötvågsmätningen måste den mobiliserade geotekniska bärförmågan uppgå till minst det värde som erfordras för att aktuell säkerhetsnivå uppnås.

9.2.2 Rakhetskontroll

För att få utnyttja mindre initialkrokighet än $L_k/300$ för oskarvad påle och mindre än $L_k/200$ för skarvad påle, måste pålarnas krokighet efter installation mätas med tex inklinometer och kontrolleras mot dimensioneringsvärdet.

9.3 Beständighet

Allmänt gäller att om *enkla förhållanden* råder kan dimensionering för 100 års livslängd göras enligt tabell i avsnitt 7. I *övriga fall* skall alltid objektsdimensionering ske, ofta med hjälp av sakkunnig.

Dimensioneringen kommer ofta att leda till kringgjutning av pålens översta del i ett extra rör.

9.3.1 Utvändigt

Undersökningar har visat att varmförzinkning ger ett sämre skydd av stål i jord, än vad man tidigare trott. Anvisningar för dimensionering finns i avsnitt 7.84. Dimensioneringen skall göras utifrån de geotekniska förutsättningarna där antingen *enkla* eller *särskilda* förhållanden föreligger.

9.3.2 Invändigt

Beständighetsdimensionering har visat sig vara nödvändigt även för insidan i ihåliga profiler (rör). Det enklaste sättet för att uppnå invändigt korrosionsskydd är att göra en fullständig igjutning av pålelementet. I annat fall måste en rostmånsdimensionering utföras enligt avsnitt 7.

9.4 Jämförelse med dagens praxis för vanliga påltyper

Dagens praxis för dimensionering och installation av slagna, slanka stålplåtar utgår i stort sett från varumärkeskopplade typgodkännanden. Dessa avser endast plåtar, som endast är axialbelastade och väsentligen spetsbärande .

Äldre typgodkännanden finns för funktionen dimensionerande bärförmåga, där en leverantör med ett typgodkänt kvalitetssystem svarar för all dimensionering, materialkontroll, utrustningskontroll, installation och verifiering av bärförmågan på plats. Dessa ursprungligen fem sk systemplåtar utgår från Pålkommisionens rapport 81. I typgodkännandena ingår krav på oberoende kvalitetsrevisor och årlig kvalitetsrevision. Vidare bildade de aktuella leverantörerna tillsammans med Pålentreprenörföreningen och Boverket (senare SITAC) ett kontrollråd bestående av kvalitetsrevisorerna och representanter för Boverket och Pålentreprenörföreningen. Rådet utfärdade en årlig rekommendation till Boverket om förlängning/indragning av de aktuella typgodkännandena. Rådet fungerande också som en expertgrupp för att utvärdera huruvida kraven enligt Rapport 81 behövde utvecklas eller tolkas på ett konkurrensneutralt sätt. Av olika skäl upphörde rådets verksamhet och många kvalitetsrevisioner efter några år.

En annan grupp av typgodkännanden innehas av påtillverkare. Där är materialtillverkningen och dimensioneringen typgodkänd och kopplad till föreskrifter och krav på installation och verifiering. Dimensioneringen bygger även här till stor del på rapport 81, ehuru typgodkännandehavarna ej kan kvalitetssäkra eller kontrollera installation och verifiering på pålningsstället.

Sedan rapport 81 skrevs har kunskapen om stålkorrosion och korrosionsskydd i mark ökat, vilket innebär att behandlingen av dessa frågor i rapporten är inaktuell. Vidare har insikten om vikten av att dimensionera plåtars lastkapacitet med hänsyn till excentricitet ökat, och normerna för stålbyggnad har förändrats på väsentliga punkter.

I bilaga 3 jämförs dagens praxis för ett antal påltyper med de krav på dimensionering och utförande, som anges i denna rapport.

Checklista för dimensionering av lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga

Denna checklista avser att underlätta för den kvalitetsansvarige enligt PBL, en byggnadsinspektör eller en ansvarig projektör att utan egen specialistkompetens kontrollera att dimensioneringen av stålplåtar hanterats enligt denna rapport.

| Fråga | OK | Alternativ åtgärd |
|-------|--|---|
| 1 | Har säkerhetsklass (SK) och geoteknisk klass (GK) angivits och valts enligt krav och råd i BKR? | Sakkunnigintyg om skäl till annat val |
| 2 | Finns adekvat geoteknisk utredning (se frågor under 3.4.1) <ul style="list-style-type: none"> • lera, dim. skjuvhållfasthet • slagningsförhållanden • påhängslaster • pålens funktionssätt • omgivningsskador | Kompletterande geoteknisk undersökning/utlåtande. |
| 3 | För begagnat stålmaterial: Finns dokumentation om enhetligt ursprung så att fåtalsprovning kan användas som underlag för materialegenskaper? | Provning av varje enskilt pålelement. |
| 4 | Har frågor om andra laster än axiellast utretts och beaktats vid dimensionering? | Kompletterande utredning och dimensionering. |
| 5 | Har dimensionering skett med hänvisning till typgodkännande eller annan av leverantören tillhandahållen standardberäkning. | Objektsspecifik dimensionering, se 6 och följande frågor. |
| 5.1 | Är typgodkännandet/standarderna upprättade enligt denna rapport, finns det tydliga begränsningar för beräkningarnas giltighet i olika jordar och är beräkningarna giltiga i det aktuella projektet. | Objektsspecifik dimensionering |
| 5.2 | Har projektören valt rimliga excentriciteter och initialkrokigheter med hänsyn till jordförhållandena på pålningsplatsen? | Objektsspecifik dimensionering. |

BILAGA 1 CHECKLISTA DIMENSIONERING AV LASTKAPACITET OCH GEOTEKNISK BÄRFÖRMÅGA

| Fråga | OK | Alternativ åtgärd |
|--|----|--|
| 5.3 Kommer installerade pålars initialkrokighet att mätas, alternativt kontrolleras, på plats i den omfattning som svarar mot vald dimensionerande initialkrokighet? Är motsvarande föreskrifter om mätning/kontroll på plats införda på Bygghandlingarna? | | Kompletterande föreskrifter. |
| 5.4 Har kontrollklasser 2A till 2C för geoteknisk bärförmåga beaktats och är motsvarande föreskrifter om provning på plats införda på Bygghandlingarna? | | Kompletterande föreskrifter. |
| 6 Har dimensioneringen gjorts för det specifika objektet, dvs utan hänvisning till typgodkännande eller motsvarande? | | Se fråga 5 och följande ovan. |
| 6.1 Har pålmaterialet enhetliga, kända och dokumenterade egenskaper enligt BKR 2:62 och 8:6? | | Kompletterande provning/dokumentation. |
| 6.2 Har projektören valt rimliga excentriciteter och initialkrokigheter med hänsyn till jordförhållandena på pålningsplatsen? | | Kompletterande sakkunnigintyg. |
| 6.3 Har samverkan med betong eller ingjutet stålelement utnyttjats för annat än böjmoment? | | Dimensionering enligt krav i 5.2.4. Motsvarande utförandekrav införs i Bygghandling. |
| 6.4 Har dimensionering utförts för samtliga påldelar (inkl. skarvar och skor) och i förekommande fall med hänsyn till rostmån? | | Kompletterande dimensionering. |
| 6.5 Kommer installerade pålars initialkrokighet att mätas, alternativt kontrolleras, på plats i den omfattning som svarar mot vald dimensionerande initialkrokighet? Är motsvarande föreskrifter om mätning/kontroll på plats införda på Bygghandlingarna? | | Kompletterande föreskrifter. |
| 6.6 Har kontrollklasser 2A till 2C för geoteknisk bärförmåga beaktats och är motsvarande föreskrifter om provning på plats införda på Bygghandlingarna? | | Kompletterande föreskrifter. |

Checklista för beständighetsdimensionering

Denna checklista avser att underlätta för den kvalitetsansvarige enligt PBL, en byggnadsinspektör eller en ansvarig projektör att utan egen specialistkompetens kontrollera att de speciella frågor, som livslängdsdimensionering av stålplåtar utgör i ett i övrigt konventionellt byggprojekt, hanterats enligt denna rapport.

| Fråga | OK | Alternativ åtgärd |
|-------|---|---|
| 1 | Är plåtarnas dimensionerande livslängd normala 100 år? | Sakkunnigintyg om skälet till kortare livslängd, dokumentation av dimensioneringen till Byggnadsnämndens arkiv (motsv.) Dimensionering av korrosionsteknisk expertis vid längre livslängd. |
| 2 | Finns adekvat beskrivning av jordarts- och grundvattenförhållandena kring plåtarna? (Se typfall under 7.5 och 7.6) | Kompletterande geoteknisk undersökning/utlåtande. |
| 3 | Är plåtarna dimensionerade med rostmån? | Se fråga 4 nedan. |
| 3.1 | Har plåten typgodkännande för dimensionerande rostmån, och är detta tillämpligt för aktuella jordarts- och grundvattenförhållanden? | Objektsspecifik dimensionering. |
| 3.2 | Är jord- och grundvattenförhållandena sådana att "Enkla förhållanden" enligt 7.51 kan tillämpas för hela plåtlängden? | Se fråga 3.4 nedan |
| 3.3 | Har rostmån i så fall valts enligt 7.52? | Sakkunnigintyg om skäl till val av annan rostmån. |
| 3.4 | Föreskrivs kringgjutning av plåtdelar, som ej omfattas av "Enkla förhållanden" enligt 7.51? | Kompletterande föreskrifter. |
| 3.5 | Är jord- och grundvattenförhållandena sådana att anvisningar i 7.6 "Komplexa eller korrosiva förhållanden" kan tillämpas för hela plåtlängden? | Se fråga 3.8 nedan. |

| Fråga | OK | Alternativ åtgärd |
|-------|--|---|
| 3.6 | Har livslängdsdimensionering i så fall gjorts under medverkan av geotekniskt och korrosionstekniskt sakkunniga? | Kompletterande sakkunnigintyg. |
| 3.7 | Har rostmån i så fall valts enligt tabell 7.6 och 7.7? | Kompletterande sakkunnigintyg. |
| 3.8 | Föreskrivs kringgjutning av pådelar, som ej omfattas av övrig dimensionering? | Kompletterande föreskrifter. |
| 4 | Har pålarna korrosionsskyddande beläggning? | Se fråga 3 ovan. |
| 4.1 | Är skyddet typgodkänt, och är samtliga förutsättningar i typgodkännandet uppfyllda för hela pållängden i det aktuella projektet? | Kompletterande sakkunnigintyg. Se fråga 4.5. |
| 4.2 | Krävs kompletterande rostmånsdimensionering enligt rekommendationer i 7.9 och har sådan utförts? | Kompletterande sakkunnigintyg. |
| 4.3 | Om skyddet består av varmförzinkning, har dimensionering utförts enligt 7.94 (livslängd zink + rostmån på stål)? | Kompletterande dimensionering. |
| 4.4 | Kommer pålarna att slås genom nötande eller repande jord och har i så fall skyddsåtgärder föreskrivits? | Kompletterande föreskrifter. |
| 4.5 | Föreskrivs kringgjutning av pådelar, där endast skyddsbeläggning ej är tillräckligt? | Kompletterande föreskrifter. |
| 5 | Omfattar dimensioneringen samtliga pådelar, även t ex skarvar? | Kompletterande dimensionering |
| 6 | Föreskrivs igjutning av rörpålar? | Dimensionering för dubbelsidig korrosion. |

| Påltyp | Dimensioneringsförutsättningar | | | | Initial-krokighet alt. Krökningsradie | Utförande | | | Korrosionsskydd |
|---------------------------------------|---|----------------------|---------------------|--|---|---|--|--|--|
| | Excentricitet Slagning | | Installerad | | | Verifiering av geoteknisk bärförmåga | Rakhetskontroll | Invändigt | Utvändigt |
| | Bergspets | Element | Bergspets | Element | | | | | |
| Förslag enligt denna utredning | <u>Inmejsling</u> $d_{\text{dubb}}/4$ <u>Stopp slag</u> $d_{\text{dubb}}/10$ | $d_{\text{påle}}/10$ | $d_{\text{dubb}}/4$ | <u>Påle med dubb</u> $d_{\text{dubb}}/4$ <u>Påle utan dubb</u> $d_{\text{påle}}/10$ | <u>Utan kontroll</u> Element $L_k/300$ Påle med skarv $L_k/200$ <u>Inklinometer</u> Mät-värde enl fåtalsprovning dock min $0,0015 \times L_k$ | <25-30% <i>Stuklast</i> Sjunkningskrit. <35-40% <i>Stuklast</i> PDA 5-10% <45-50% <i>Stuklast</i> PDA 25 % | Enligt mätning med fåtalsprovning enligt ovan om rakare påle än $L_k/300$ skall få användas i lastkapacitetsberäkningen. | 100 år. -Igjutning -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | 100 år. -Flerskiktsbelägg polyetenmantel -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån |
| Besabpåle | Ingen | Ingen | Ingen | Enl. krökn radie | 100 m | Sjunkningskriterium | Varje påle (vanl. lampa) | 80 µm zink+cementbruk vct=0,5 | 80 µm zink |
| Stålplastpåle | Ingen | Ingen | Ingen | Enl. krökn radie | 100 m | Sjunkningskriterium | Varje påle (vanl. lampa) | cementbruk vct=0,5, alt K20 betong | Rör: 2 mm extrud. etenplast Hylsa: 80 µm zink |
| Bjurströmpåle | Ingen | Ingen | Ingen | Enl. krökn radie | 100 m | Sjunkningskriterium | Varje påle (vanl. lampa) | 80 µm zink+cementbruk vct=0,5 | 80 µm zink |

$d_{\text{påle}}$ = Pålelementets ytterdiameter (yttermått vid massiva pålar), d_{dubb} = dubbens diameter

| Påltyp | Dimensioneringsförutsättningar | | | | Initial-krokighet alt. Krökningsradie | Utförande | | | Korrosionsskydd | |
|---------------------------------------|---|---------------|-----------------------|--|--|---|--|--|--|--|
| | Excentricitet | | Installerad | | | Verifiering av geoteknisk bärförmåga | Rakhetskontroll | Invändigt | Utvändigt | |
| | Bergspets | Element | Bergspets | Element | | | | | | |
| Förslag enligt denna utredning | <u>Inmejsling</u> $d_{dubb}/4$ <u>Stopp slag</u> $d_{dubb}/10$ | $d_{påle}/10$ | $d_{dubb}/4$ | <u>Påle med dubb</u> $d_{dubb}/4$ <u>Påle utan dubb</u> $d_{påle}/10$ | Utan kontroll Element $L_k/300$ Påle med skarv $L_k/200$ <u>Inklinometer</u> Mät-värde enl fåtalsprovning dock min $0,0015x L_k$ | <25-30% <i>Stuklast</i> Sjunkningskrit. <35-40% <i>Stuklast</i> PDA 5-10% <45-50% <i>Stuklast</i> PDA 25 % | Enligt mätning med fåtalsprovning enligt ovan om rakare påle än $L_k/300$ skall få användas i lastkapacitetsberäkningen. | 100 år. -Igjutning -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | 100 år. -Flerskiktsbeläggning polyetenmantel -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | |
| Herculespåle | Ingen | Ingen | $d/4$ vid typ MP4 MP5 | Enl. krökn radie | 100 m | Sjunkningskriterium, ibland stötvågsmätning | Varje påle (vanl. lampa) | Inget SK1 Cementbruk vct 0,50 SK2 och SK3 | 100 år rostmån 2 mm 50 år VFZ 100 µm alt. rostmån 1mm | |
| Byggförstärkarpåle | Ingen | Ingen | Ingen | Enl. krökn radie | 100 m | Sjunkningskriterium | Varje påle (vanl. lampa) | 80 µm zink+cementbruk vct=0,5 | 80 µm zink | |

$d_{påle}$ = Pålelementets ytterdiameter (yttermått vid massiva pålar), d_{dubb} = dubbens diameter

| Påltyp | Dimensioneringsförutsättningar | | | | Utförande | | | Korrosionsskydd | |
|---|---|---------------------------|-----------------|--|---|--|--|--|--|
| | Excentricitet | | Installerad | | Initial-krokighet alt. Krökningsradie | Verifiering av geoteknisk bärförmåga | Rakhetskontroll | Invändigt | Utvändigt |
| | Bergspets | Element | Bergspets | Element | | | | | |
| Förslag enligt denna utredning | <u>Innej</u> <u>sling</u> $d_{dubb} / 4$ <u>Stopp</u> <u>slagn</u> $d_{dubb} / 10$ | $d_{påle} / 10$ | $d_{dubb} / 4$ | <u>Påle med dubb</u> $d_{dubb} / 4$ <u>Påle utan dubb</u> $d_{påle} / 10$ | <u>Utan kontroll</u> Element $L_k/300$ Påle med skarv $L_k/200$ <u>Inklinometer</u> Mät-värde enl fåtalsprovning dock min $0,0015 \times L_k$ | $<25-30\%$ <i>Stuklast</i> Sjunkningskrit. $<35-40\%$ <i>Stuklast</i> PDA 5-10% $<45-50\%$ <i>Stuklast</i> PDA 25 % | Enligt mätning med fåtalsprovning enligt ovan om rakare påle än $L_k/300$ skall få användas i lastkapacitetsberäkningen. | 100 år. -Igjutning -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | 100 år. -Flerskiktbelägg polyetenmantel -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån |
| RR-påle Ø60,3x6,3 tom Ø114,3x6,3 | $d_{påle} / 10$ | Enl. krökn radie 150m | $d_{påle} / 10$ | Enl. krökn radie 150m | 150 m | Sjunkningskriterium | Varje påle (vanl. lampa) | Inget (Igjutning möjlig men ej standard) | Rostmån 1 mm SK1 Rostmån 2 mm SK2 |
| RR-påle Ø140x8 tom Ø220x10 | $d_{påle} / 10$ | Enl. krökn radie 150-400m | $d_{påle} / 10$ | Enl. kröknradie 150-400m | 150-400 m beroende på dimension. | Sjunkningskriterium GK2A PDA 10% GK2B PDA 25% GK2C | Varje påle | Inget (Igjutning möjlig men ej standard) | Rostmån 2 mm SK2 |

$d_{påle}$ = Pålelementets ytterdiameter (yttermått vid massiva pålar), d_{dubb} = dubbens diameter

| Påltyp | Dimensioneringsförutsättningar | | | | Initial-krokighet alt. Krökningsradie | Utförande | | | Korrosionsskydd |
|---------------------------------------|---|------------------|--------------|--|--|--|--|--|---|
| | Excentricitet Slagning | | Installerad | | | Verifiering av geoteknisk bärförmåga | Rakhetskontroll | Invändigt | Utvändigt |
| | Bergspets | Element | Bergspets | Element | | | | | |
| Förslag enligt denna utredning | Innej sling $d_{dubb}/4$ Stopp slagn $d_{dubb}/10$ | $d_{påle}/10$ | $d_{dubb}/4$ | Påle med dubb $d_{dubb}/4$ Påle utan dubb $d_{påle}/10$ | Utan kontroll Element $L_k/300$ Påle med skarv $L_k/200$ Inklinometer Mät-värde enl fåtalsprovning dock min $0,0015 \times L_k$ | <25-30% <i>Stuklast</i> Sjunksningskrit. <35-40% <i>Stuklast</i> PDA 5-10% <45-50% <i>Stuklast</i> PDA 25 % | Enligt mätning med fåtalsprovning enligt ovan om rakare påle än $L_k/300$ skall få användas i lastkapacitetsberäkningen. | 100 år. -Igjutning -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | 100 år. -Flerskiktsbeläggn polyetenmantel -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån |
| Gustavsbergs-påle | nej | Ja R= 150-300 | Nej | Ja enligt kröknradie och 1 mm avrostrn | 100-300 m mht till dimension | 23-28% <i>Stuklast</i> Sjunksningskrit. 35 % <i>Stuklast</i> PDA 10% 45% <i>Stuklast</i> PDA 25 % | Ej krav Dim. Radie skall minskas utan kontroll | Asfalt (Igjutning möjlig men ej standard) | Asfalt 50 μ m |

$d_{påle}$ = Pålelementets ytterdiameter (yttermått vid massiva pålar), d_{dubb} = dubbens diameter

| Påltyp | Dimensioneringsförutsättningar | | | | Initial- krokighet alt. Kröknings- radie | Utförande | | | Korrosionsskydd |
|---------------------------------------|---|---------------|----------------|--|---|---|--|---|---|
| | Excentricitet Slagning | | Installerad | | | Verifiering av geoteknisk bärförmåga | Rakhets- kontroll | Invändigt | Utvändigt |
| | Berg- spets | Ele- ment | Berg- spets | Ele- ment | | | | | |
| Förslag enligt denna utredning | <u>Innej</u> <u>sling</u> $d_{dubb}/4$ <u>Stopp</u> <u>slagn</u> $d_{dubb}/10$ | $d_{påle}/10$ | $d_{dubb}/4$ | <u>Påle med dubb</u> $d_{dubb}/4$ <u>Påle utan dubb</u> $d_{påle}/10$ | <u>Utan kontroll</u> Element $L_k/300$ Påle med skarv $L_k/200$ <u>Inklinometer</u> Mät-värde enl fåtalsprovning dock min $0,0015x L_k$ | $<25-30\%$ Stuklast Sjunkningskrit. $<35-40\%$ Stuklast PDA 5-10% $<45-50\%$ Stuklast PDA 25 % | Enligt mätning med fåtalsprovning enligt ovan om rakare påle än $L_k/300$ skall få användas i lastkapacitets- beräkningen. | 100 år. -Igjutning -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | 100 år. -Flerskiktsbeläggn polyetenmantel -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån |
| X-påle | Ingen | Ingen | Ingen | Enl. krökn radie | <i>Oskarv</i> 200-250 m <i>Skarv</i> 130-200 m | $<35\%$ stuklast Sjunkningsmätn. $>35\%$ stuklast PDA5% Prov PDA10% Prod | Ej möjlig | Ej aktuellt | 1 mm |

$d_{påle}$ = Pålelementets ytterdiameter (yttermått vid massiva pålar), d_{dubb} = dubbens diameter

| Påltyp | Dimensioneringsförutsättningar | | | | Initial- krokighet alt. Kröknings- radie | Utförande | | | Korrosionsskydd | |
|---------------------------------------|---|--|------------------------------------|--|---|--|--|--|--|--|
| | Excentricitet Slagning | | Installerad | | | Verifiering av geoteknisk bärförmåga | Rakhets- kontroll | Invändigt | Utvändigt | |
| | Berg- spets | Ele- ment | Berg- spets | Ele- ment | | | | | | |
| Förslag enligt denna utredning | <u>Innej</u> <u>sling</u> $d_{dubb}/4$ <u>Stopp</u> <u>slagn</u> $d_{dubb}/10$ | $d_{påle}/10$ | $d_{dubb}/4$ | <u>Påle</u> <u>med</u> <u>dubb</u> $d_{dubb}/4$ <u>Påle</u> <u>utan</u> <u>dubb</u> $d_{påle}/10$ | <u>Utan kontroll</u> Element $L_k/300$ Påle med skarv $L_k/200$ <u>Inklinometer</u> Mät-värde enl fåtalsprovning dock min $0,0015 \times L_k$ | $<25-30\%$ <i>Stuklast</i> Sjunkningskrit. $<35-40\%$ <i>Stuklast</i> PDA 5-10% $<45-50\%$ <i>Stuklast</i> PDA 25 % | Enligt mätning med fåtalsprovning enligt ovan om rakare påle än $L_k/300$ skall få användas i lastkapacitets- beräkningen. | <i>100 år.</i> -Igjutning -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | <i>100 år.</i> -Flerskiktsbeläggn polyetenmantel -Rostmån (min. 2 mm) -Zink+rostmån | |
| Räls | $d_{dubb}/10$ alt $d_{påle}/30$ | Enl. krökn radie 100- 300m | $d_{dubb}/10$ alt $d_{påle}/30$ | Enl. krökn radie 100- 300m R84a | 100-300 m | Sjunkn.kriterium $0,15 F_{stuk}$ PDA 10%: $0,19 F_{stuk}$ PDA 25%: $0,23 F_{stuk}$ | Ej möjlig | Ej aktuellt | 2 mm | |

$d_{påle}$ = Pålelementets ytterdiameter (yttermått vid massiva pålar), d_{dubb} = dubbens diameter

Beräkningsexempel

Lastkapacitet.

Lastkapacitet för installerad påle har beräknats enl. kap. 5.2 och för lastfallet installation enl. kap 5.3.

Den dimensionerande geotekniska bärförmågan enl. kontrollklass 2A har beräknats utifrån följande förutsättningar:

För stoppslagning i jord till en sjunkning av 5mm/10 slag har lasteffekten i pålen beräknats till:

$$S_j = \gamma_{f1} \cdot R_m \quad (a)$$

Skulle därvid ett distinkt stopp erhållas mot stor sten eller berg ökas lasteffekten till:

$$S_d = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_m \quad (b)$$

Enligt kap. 6.2 är den dimensionerande geotekniska bärförmågan R_d :

$$R_d = R_m / \gamma_{tot} \quad (c)$$

Här är

| | |
|----------------|--|
| S_d | dimensionerande lasteffekt i påle. |
| R_m | medelvärde av jordens bärförmåga. |
| γ_{f1} | koefficient för dynamiska effekter vid slagning i jord. |
| γ_{f2} | koefficient som enligt erfarenhet anger ökning vid stopp mot berg. |
| γ_{tot} | totalsäkerhetsfaktor för geoteknisk bärförmåga. |

I här redovisade beräkningar har följande värde valts.

$$\gamma_{f1} = 1.05$$

$$\gamma_{f2} = 1.20$$

$$\gamma_{tot} = 2.3 \text{ i säkerhetsklass 2.}$$

I exemplen redovisas dimensionerande lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga för kontrollklass 2A.

Exempel 1.

RR 60.3*6.3.

Sk 2.

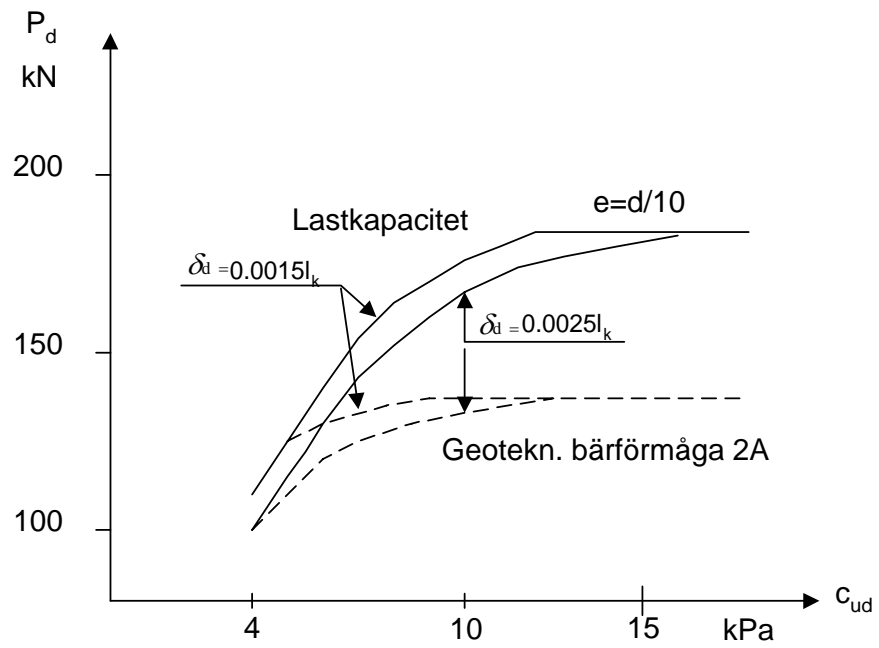
$f_{yk} = 440 \text{ Mpa}$

$\mu = 0.9$

Långtidslastandel 85%

Egenspänningsgrupp b.

2mm utvändig avrostning (pålen fylld med betong).



Exempel 2.

RR 114.3*6.3.

Sk 2.

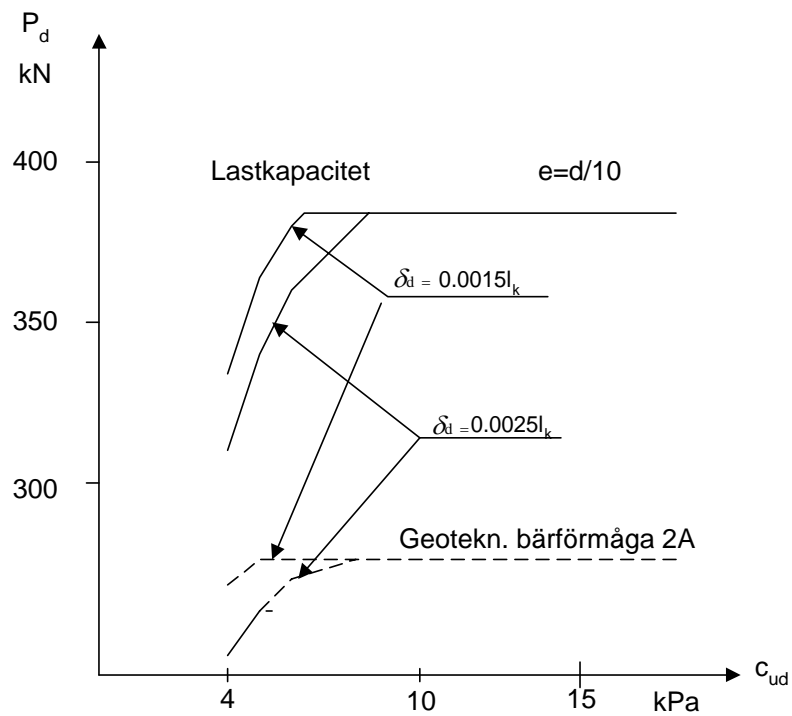
$f_{yk} = 440 \text{ Mpa}$

$\mu = 0.9$

Långtidslastandel 85%

Egenspänningsgrupp b.

2mm utvändig avrostning (pålen fylld med betong).



Exempel 3.

RR 139.7*10.0.

Sk 2.

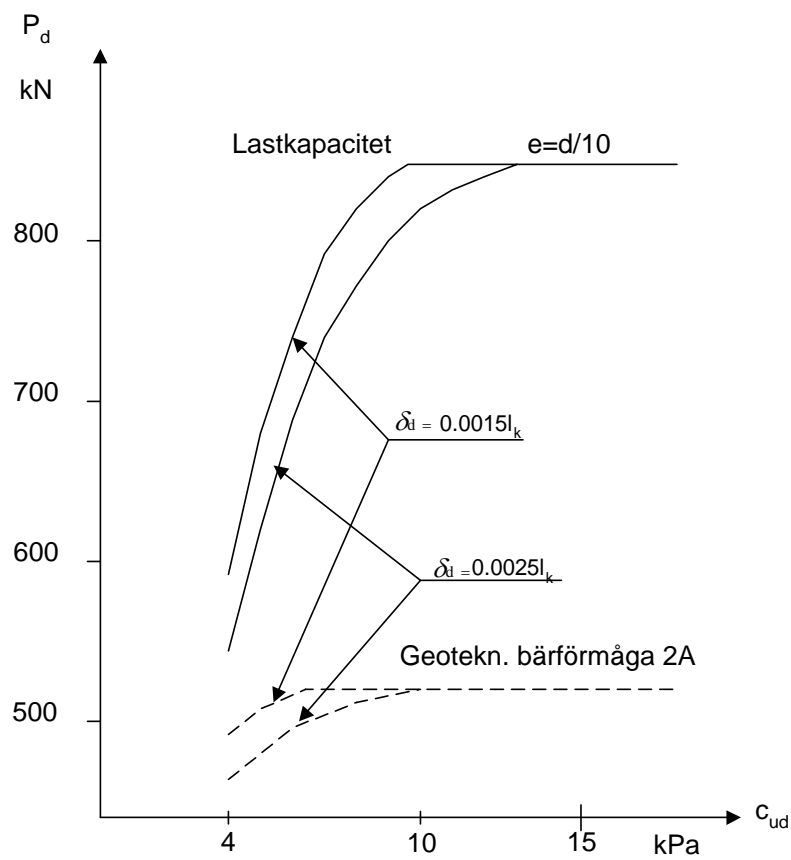
$f_{yk} = 440 \text{ Mpa}$

$\mu = 0.9$

Långtidslastandel 85%

Egenspänningsgrupp b.

2mm utvändig avrostning (pålen fylld med betong).



Exempel 4.

Rälspåle SJ 41.

Sk 2.

$$f_{yk} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\mu = 0.7$$

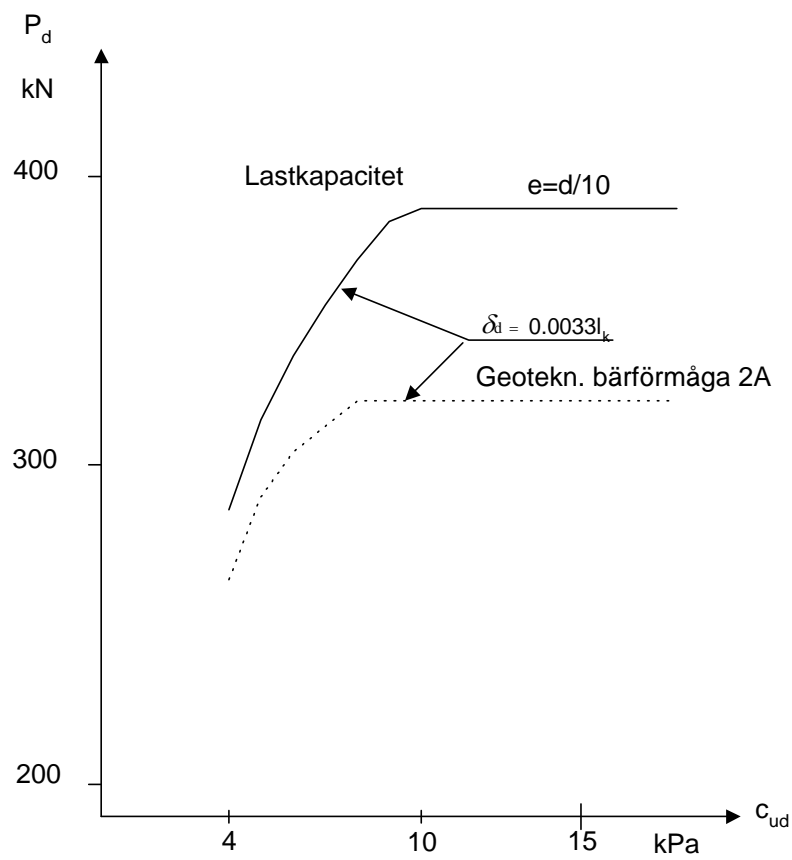
Långtidslastandel 85%

Egenspanningsgrupp a.

6mm förslitning av rälshuvud

2mm avrostning.

Gäller oskarvad påle. För skarvad påle måste skarvens egenskaper utredas.





PÅLKOMMISSIONEN

Meddelanden

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 1 | Slagningsprov av pålskor med bergdubbar. Bror Fellenius 1963 | 13 | Pålgruppers bärförmåga. Bengt Broms 1967 |
| 2 | Provpålning för broar inom blivande Olskroks- och Gullbergsmoten i samband med byggande av Europaväg 6 genom Göteborg. Bror Fellenius – Waldemar Pejrud 1964 Slut | 14 | Påkänningar, sprickbildning och utmattning vid slagning av armerade modellpålar av betong. Bo Göran Heders – Sven Sahlin 1971 |
| 3 | Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsdelen, Göteborg. Bror Fellenius 1964 | 15 | Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök. Sven-Erik Rehnnan 1968 |
| 4 | Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs. Bror Fellenius 1964 Slut | 16 | Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon. Gunnar Fjellkner 1970 |
| 5 | Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar. Bengt Broms 1965 Slut | 17 | Bergdubbens hållfasthet. Resultat från statiska belastningsförsök. Sven-Erik Rehman 1970 |
| 6 | Brottlast för snett belastade pålar. Bengt Broms 1965 | 18 | Negative skin friction on long piles in clay. I. Results of a full scale investigation. II. General views, and design recommendations. Bengt H Fellenius 1971 |
| 7 | Beräkning av vertikala pålars bärförmåga. Bengt Broms 1965 | 19 | Damping of stress waves in piles during driving. Results from field tests. Gunnar W Fjellkner - Bengt B Broms 1972 |
| 8 | Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet, Göteborg. Waldemar Pejrud 1965 | | |
| 9 | Inverkan av armeringsmängd, förspänning och fallhöjd på sprickrisken hos betongpålar vid slagning. Sven Sahlin 1965 | | |
| 10 | Bärförmågan hos armerade betongpålar slagna till fast bergbotten. Hjalmar Granholm 1967 | | |
| 11 | Bärförmågan hos pålar slagna till släntberg. Bengt Broms 1965 | | |
| 12 | Dynamisk draghållfasthet hos modellpålar av oarmerad betong. Resultat av orienterade försök. Sven Sahlin – Lars Hellman 1966 | 2 | Provbelastning av stödpålar av betong inom östra Nordstaden, Göteborg. Delrapport. Gunnar Hellström 1965 |

Särtryck och preliminära rapporter

- | | | | |
|---|--|--|--|
| 1 | Allowable bearing capacity of initially bent piles. Bengt Broms Referat från pålkommitténs informationsdag 25 okt 1965 | | |
| | | | Provbelastning av påle slagen i lera och friktionsmaterial. Gunnar Hellström |
| | | | Knäcklasten för momentstyvt skarvade pålar i lera. Krister Cederwall 1965 |

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

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

Rapporter

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

Övrigt

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

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

- 57 Swedish Building Code 1975.
Chapter 23.6 Pile Foundations.

Swedish Building Code 1975.
Approval Rules No. 1975:8 Piles
Translated by B Broms
1979
- 58 Grävpålanvisningar.
Dimensionering, utförande och kontroll av
grävda, i jorden gjutna pålar.
1979
- 59 Anvisningar för provpålning med
efterföljande provbelastning.
1980
- 60 Negativ mantelfriktion längs pålar.
Bengt Broms
1979
1980
- 61 Recent pile research.
Activitis of The Swedish Commission
on Pile Research.
Bengt Broms
1980
- 62 Svensk statistik över antal tillverkade och
slagna pålmetrar åren 1962–1978.
1980
- 63 Slagning av betongpålar med trycklufthejare.
Resultat av fältförsök i Västerås 1973.
Gunnar Fjelkner – Åke Eriksson
– Håkan Bredenberg
1981
- 64 Kohesionspålars bärförmåga.
En studie av utförda provbelastningar på
kohesionspålar av betong.
Ulf Bergdahl – Åke Eriksson – Ture Nilsson
1981
- 65 Swedish Building Code 1980.
Chapter 23.3 Pile Foundations

Swedish Building Code 1975.
Approval Rules No. 1975:8 Piles.
Translated by Bengt Broms, 1981
(in English)
- 66 Svensk statistik över antal tillverkade och
slagna pålmetrar åren 1962-1980.
1982
- 67 Negativ mantelfriktion längs pålar.
Resultat av enkät år 1979.
Lars Bjerin – Jan Fallsvik
1982
- 68 Parameterstudie av olika faktorerers inverkan
på pålars bärförmåga som funktion av
sjunkningen
Carl-John Grävare – Ingemar Hermansson
1982
- 69 Stålpålar - Användningsområden och praxis
för utförande.
Håkan Bredenberg – Ulf Eriksson
– Anders Eriksson – Göran Camitz
1983
- 70 Buller vid pål- och spontslagning.
En studie av mätmetoder, buflernivåer och
bekämpningsåtgärder.
Ove Bennerhult – Ulf Bergdahl
1983
- 71 Svensk statistik över antal tillverkade och
slagna pålmetrar åren 1962–1982.
1983
- 72 Förspänd tallriksfjäderdyna.
Resultat av stötvågsteoretiska studier,
datorsimulering, modell- och
fullskaleprovning.
Bo BergLars
1983
- 73 Svensk pålningsteknik under 1980-talet.
Håkan Bredenberg – Crister Bådholm
– Lars Hellman – Göran Holm
1984
- 74 Skarv för kombinationspålar träbetong.
Resultat av drag- och böjprovningar.
Elvin Ottosson
1984
- 75 Förtillverkade betongpålar.
Förslag till standard med
dimensioneringsunderlag.
1984
- 76 Initialspänningens variation vid pålslagning.
Elisabeth Stensgård – Elisabet Olsson
1984
- 77 Grävpålar i friktionsjord
Anvisningar för dynamisk förbelastning
Bo Berggren - Per-Evert Bengtsson
1985
- 78 Statistik över antal tillverkade och slagna
pålmetrar i Sverige åren 1962-1984
1985
- 79 Expanderkroppar
Anvisningar för dimensionering, utförande
och kontroll
1988
- 80 Statistik över antal tillverkade och slagna
pålmetrar i Sverige åren 1962–1986
1988
- 81 Systempålar
Stödpålar av höghållfasta, korrosions-
skyddade stålrör, slagna med lätta
höghastighetshejare.
Anvisningar för beräkning av
dimensionerande bärförmåga.
Anders Fredriksson – Sven Hultsjö
– Håkan Stille
1989
- 82 β -metoden vid pålberäkning, en förstudie.
Claes Alén – Mats Jansson – Hans Lindgren
– Lars Olsson – Jan Romell
1990
- 83 Beräkning av pålars last-rörelsesamband
med utgångspunkt från sonderingsdata.
Håkan Bredenberg – Staffan Hintze
1990

- | | | | |
|-----|--|------|--|
| 84 | Beräkning av dimensionerande bärförmåga för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord. Per-Evert Bengtsson – Åke Bengtsson – Anders Fredriksson 1991 | 95 | Omgivningspåverkan vid pål- och spontslagning. Staffan Hintze – Sven Liedberg – Rainer Massarsch – Magnus Hanson / Hans Elvhammar – Björn Lundahl – Sven-Erik Rehnman 1997 |
| 84a | Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord. Anders Fredriksson – Per-Evert Bengtsson – Åke Bengtsson 1995 Ersätter Rapport 84 | 96:1 | Dimensioneringsprinciper för pålar – Lastkapacitet. 1998 |
| 85 | Statistik över antal tillverkade och slagna pålmeter i Sverige åren 1962 – 1989. 1991 | 97 | Stålkärnpålar – anvisningar för projektering, dimensionering, utförande och kontroll. Håkan Bredenberg 2000 |
| 86 | Friktionspåalars bärförmåga och last/förskjutningssamband. Karin Rankka 1991 | 98 | Dimensioneringsanvisningar för slagna, slanka stålpålar. Åke Bengtsson – Bo Berglars – Sven Hultsjö – Jan Romell 2000 |
| 87 | Bro C339 över Ekolsundsviken. Grundläggning på stålrörpålar - konstruktion och arbetsutförande. Håkan Bredenberg 1991 | | |
| 88 | Sprickbildning i betongpålar slagna i vatten eller i jordarter med hög permeabilitet. Stig Bernander 1992 | | |
| 89 | Integritetskontroll av pålar med stötvägsmätning. Inemar Hermansson – Jan Romell – Carl-John Grävare 1992 | | |
| 90 | Grova stålrörpålar – anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll. 1993 | | |
| 91 | Friktionspålar – bärförmågans tillväxt med tiden. Björn Åstedt – Lars Weiner – Göran Holm 1994 | | |
| 92 | Datorsimulering av pålslagning. Bo Berglars – Carl-John Grävare – Per Löffling – Lars Weiner 1993 | | |
| 93 | Korrosion och korrosionsskydd av stålpålar och stålspont i jord och vatten. Göran Camitz 1994 | | |
| 84a | Beräkning av dimensionerande lastkapacitet för slagna pålar med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord. 1995 | | |
| 94 | Standardpålar av betong – lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga. 1996 | | |

I september 1959 bildades Pålkommittén för påslagning och påbärighet.

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

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

Pålkommisionen

c/o Statens geotekniska institut
581 93 Linköping, Tel: 013-20 18 00, Fax: 013-20 19 14
Internet: www.palkommisionen.org