

2 GRUNDKONSTRUKTIONER MED PÅLAR

2.1 När används grundkonstruktioner med pålar?

En påle är ett i jorden vertikalt eller i det närmaste vertikalt placerat långsmalt konstruktionselement. En pålad grundkonstruktion är ett system med pålar där man normalt även räknar in ovanförliggande pålsulor, plattor och balkar. Plattorna eller balkarna kan sinsemellan förena två eller flera grupper av pålar.

Stålspond, sammanhängande pålväggar eller slitsmurar är andra konstruktionselement, som används med funktion som pålar. Dessa används ofta som stödkonstruktioner för schakter, och kan sedan i vissa fall integreras med byggnaden i form av bärande väggar. Denna typ av konstruktioner behandlas inte i denna handbok.

Pålar används i första hand för att överföra och/eller sprida vertikala och horisontella laster från överbyggnaden genom svaga eller instabila jordlager ner till mer bärkraftig jord eller till berg. Avsikten är att öka bärförmågan eller reducera sättningar. Lasterna överföres till omgivande jord genom spetsen, manteln eller en kombination därav. Kännetecknande för pålar är att de kan ta både tryck- och dragkrafter. Pålar kan även användas för att stabilisera jordlager mot ras och förskjutningar. Dessa tillämpningar behandlas ej i handboken.

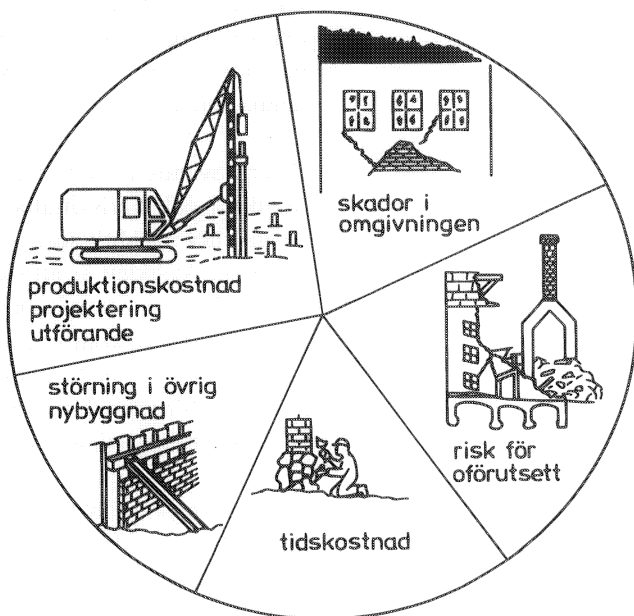
Användningsområdet för pålar hänför sig inte bara till områden med dåliga markförhållanden, även om det där är tekniskt och ekonomiskt mest motiverat. Pålar är även lämpliga som grundläggningselement för konstruktioner i vatten som t ex brostöd, kajer eller hamnpirar.

Förbättringar av slagnings/drivningsutrustning, pålmaterial och utveckling av beräkningsmodeller och mätteknik skapar hela tiden nya pålmetoder och breddar det tekniska och ekonomiska användningsområdet för pålade grundkonstruktioner. Valet av grundläggningsmetod styrs både av tekniska och eko-

nomiska överväganden. Det gäller därför att göra en realistisk värdering av alla de faktorer som påverkar, för att finna en optimal teknisk och ekonomisk lösning.

Pålar är varken inspekterbara eller egentligen reparerbara när ovanförliggande konstruktion uppförts. På pålarna byggs en överbyggnad som representerar ett värde som betydligt överskrider grundkonstruktionens kostnad. Det är därför väsentligt att stor omsorg och kvalitet läggs på alla arbeten som avser grundkonstruktioner.

Nyckelordet vid val av grundläggningsmetod är "totalekonomi". Hänsyn måste alltid tas till indirekta kostnader för tids-spillan, oväntade markförhållanden, metodförändringar, störningar på omgivningen etc. Sådana indirekta faktorer kan ge kostnader som vida överstiger kostnaden för själva grundläggningsarbetena.



Figur 2.1:1 "Kostnadscirkeln".

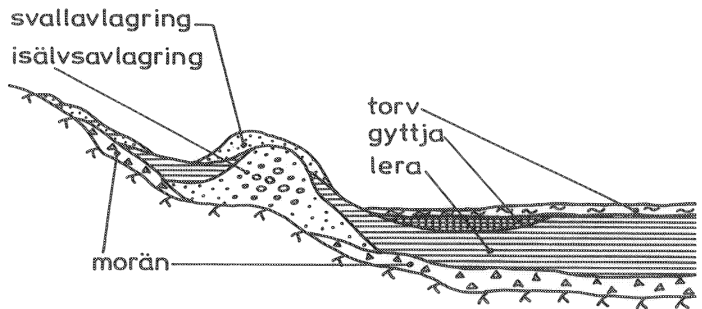
Det är viktigt att göra klart för sig hur samverkan sker mellan överbyggnad och grundkonstruktion. För att finna den bästa lösningen bör projektör/konstruktör ha god kännedom om olika grundläggningsmetoder och deras tillämpbarhet vid varierande förhållanden. Konstruktören bör därför arbeta i nära

samverkan med geotekniker under projekteringen. Även rådfrågning hos pålningsföretag, som har erfarenhet och kunskap är lämplig.

2.2 Geologisk översikt

Pålar används för grundläggning av tyngre byggnader och anläggningar där de övre jordlagren inte har tillräcklig bärförmåga eller stabilitet för att ta upp aktuella lasteffekter. Typiska sådana jordar är de flesta glaciala och postglaciala leror, torv, gyttja samt mellanjordarter som silt och finsand i deltaområden. Grundläggning med pålar kan även vara aktuell i löst lagrade friktionsjordar t ex i randzoner till rullstensåsar.

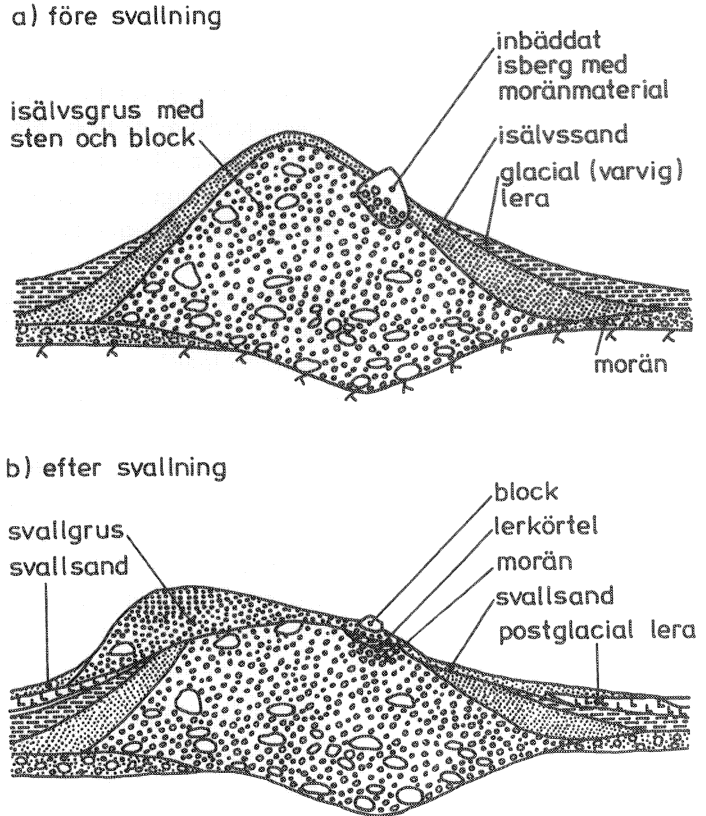
Man kan säga att de geologiska förutsättningarna i Sverige för grundläggning och pålning till mycket stor del är en följd av kvartärgeologiska fenomen, dvs resultat från den senaste istiden, de väldiga innanhaven och stora sjöarna. Ismassorna skrapade av nästan allt löst bergmaterial och slipade ned bergytan. Det lösgjorda materialet pressades ihop till mycket fasta moränlager eller transporterades under isen genom väldiga isälvar. Materialet avsattes sedan som rullstensåsar med block, sten, grus och sand där älvarna mynnade ut vid och framför iskanten. Längre ut från kanten avsattes finare material i form av lera, ibland varvad med silt, jfr Figur 2.2:1.



Figur 2.2:1 Typiskt tvärsnitt i område under högsta marina gränsen i Mellansverige.

Genom avbrott i isavsmältningen under längre kallperioder kunde iskanten röra sig söderut för att därefter återigen fortsätta norrut. På så sätt kan friktionsjord och tom morän överlagras lerlager, vilket kan vara nog så förrädiskt i samband med pålningsarbeten. I anslutning till, men även inne i rullstensåsar,

kan man finna silt- och lerlinser övertäckta av (svallat) friktionsmaterial. Figur 2.2:2 visar ett typiskt tvärsnitt genom en mellansvensk rullstensås före och efter svallning. Sedimentering skedde också vid älvmyrningar i form av deltabildningar av sand och silt, en process som pågår även i våra dagar.



Figur 2.2:2 Tvärsnitt genom en rullstensås före (a) respektive efter (b) svallning.

Tyngden av flera kilometer is har tryckt ned landmassorna upp till några hundra meter. Från denna nivå höjer sig landet fortfarande med en hastighet av nästan 1 cm/år i norr, medan det i Skåne sjunker en aning. Landhöjningen leder till sjunkande grundvattenytor t ex i Sundsvall och Stockholm, där träpålar och rustbäddar kommer över grundvattenytan och ruttnar.

I de stora innanhaven och sjöarna fortsatte under senare perioder finmaterialet att avsätta sig som leror till mer än hundra meters tjocklek. Inom vissa områden på västkusten, där sedimentationen skedde i saltvatten, har leran i infiltrationszoner

med tiden urlakats och ändrat karaktär (kvikcleror). Detta är en av orsakerna till att slänter plötsligt kan bli instabila även för liten yttre påverkan. Små och stora lerskred kan inträffa i sådana områden utan förvarning, ibland med katastrofala konsekvenser.

Leror som avlagrats efter istiden har vanligen inte mer än ett tiotal meters mäktighet. Landhöjningen har fört med sig att många sjöar med åren har växt igen och idag bildar torvmarker. Sådana markområden kräver omfattande åtgärder om de skall bebyggas.

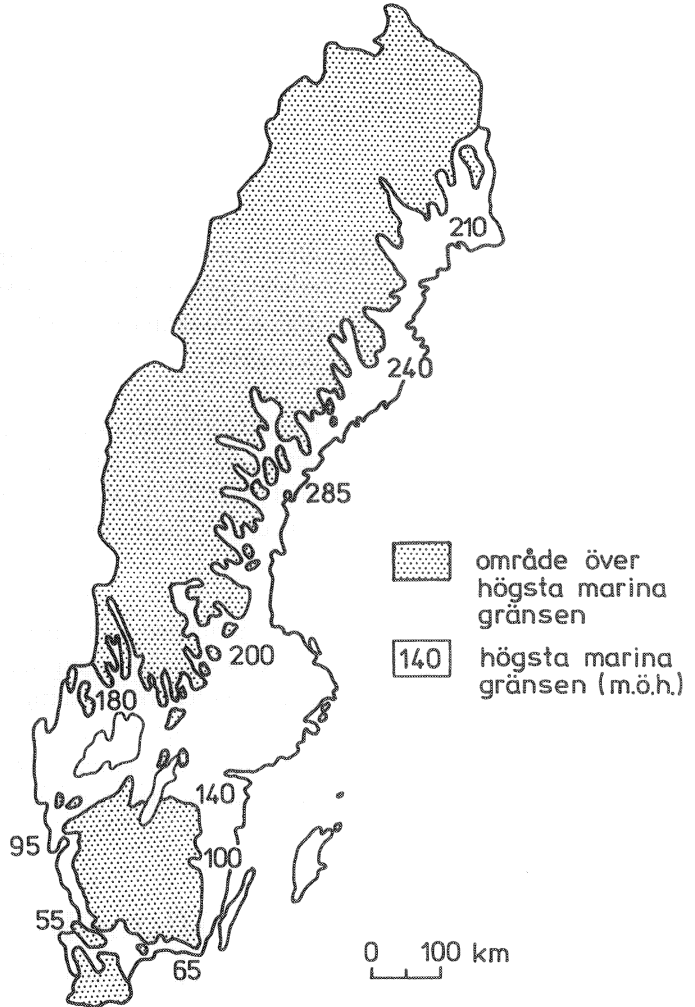
Kvartärgeologiska kartor ger god vägledning om i vilka områden man kan förvänta sig att bebyggelse fordrar grundläggning med pålar. Vi hittar dem framför allt i ler- och sedimentområden under högsta marina gränsen (HMG), jfr kartan i Figur 2.2:3.

Vilka jordlager är så bärkraftiga att bebyggelse normalt ej erfordrar grundläggning med pålar? Ja, egentligen alla jord- och bergarter som varaktigt kan ta upp lasteffekter med erforderlig säkerhet utan att skadliga sättningar uppstår. Berg och olika moränformationer räknas vanligen dit, liksom fast lagrade friktionsjordar av sand, grus och sten i rullstensåsar.

2.3 Historik

Historiskt har man förlagt bebyggelse till områden, som varit lämpliga ur kommunikationssynpunkt och områden som ur försvarsstrategisk synpunkt varit viktiga att behärska. Vi hittar därför tidig bebyggelse vid älvar, sjöar och andra vattendrag och ofta vid älvmyrningar. Våra förfäder lärde sig tidigt att grundlägga med pålar, såväl bostadsbebyggelse och hamnar som olika typer av befästningsverk.

Pålning utfördes i äldre tider genom slagning av träpålar eller med ”grävpålar” dvs handschaktade brunnar, som fylldes med sten eller sand. Pålar drevs ned med hejare, som lyftes för hand eller med ett enkelt linspel upphängt i en bock av trä. Inom sjöfarten lärde man sig tidigt att skära linor i flera parter, vilket underlättade hanteringen av tyngre hejare. Ovanpå pålarna lades rustbäddar av trä och murar av sten. Till följd av sjunkande grundvattennivåer och därmed ruttnande trävirke behöver den-



Figur 2.2:3 Karta över högsta marina gränsen i Sverige

na typ av grunder idag ofta förstärkas genom installation av nya pålar.

Mot slutet av 1800-talet började man att använda slagna pålar av stål och i början av detta århundrade kom de första betongpålarna. Den första "moderna" påldrivningsutrustningen uppfanns av Christoffer Polhem redan 1740. I och med det industriella genombrottet blev linspelen, som användes för att lyfta hejarna, först ångdrivna (i slutet av 1800-talet) och så småningom drivna av förbränningsmotorer. Städerna växte ut varvid högre och tyngre hus måste byggas. Allt sämre mark kom också att behöva tas i anspråk för bebyggelse. Kraftigare och

längre pålar behövdes för att överföra byggnadslasterna. Grova stålörspålar och kraftiga H-profiler, som skarvades genom svetsning och slogs av kraftiga ånghejare och dieselhejare i stora kranar utvecklades i USA under 20- och 30-talen. De höga lasterna och den kraftiga drivningen krävde att pålrören måste ges allt större diameter och grövre godstjocklek. Hejarna blev allt kraftigare. Cylindriska rör kompletterades med koniska påltyper. Toppslagning av pålarna kompletterades med metoder där man slog på invändigt placerad dorn eller med invändig hejare. Pålrören fylldes med armering och betong.

En annan utvecklingslinje för pålar var s k icke jordundantäckande borrhålar. Ett hål borrar i jorden och fylls med betong. Teknik utvecklades från 30-talets början att stötta borrhålens väggar i lös jord först med vatten och sedan med en borrhålsbestående av en blandning av bentonitlera och vatten. Med denna teknik lärde man sig snabbt att göra pålar med stor diameter och till stora djup. Man lärde sig också under 40-talet att placera pålarna tätt tillsammans så att de bildade en vägg. Ett ytterligare steg i utvecklingen var att låta borrhålar "skära in" i varandra så att de bildar en tät vägg. Steget över till slitsmursteknik togs i början av 50-talet, då de runda pålarna ersattes av rektangulära element, som kopplas ihop. Även om tekniken med borrhålar kommer från USA har vidareutvecklingen med användning av borrhålsbestående först i borrhålar och sedan för slitsmurar, framförallt skett i Frankrike, Italien och Österrike.

Den moderna pålutvecklingen i Sverige handlar framförallt om slagna förtillverkade betongpålar. Den första pålen av denna typ slogs redan omkring 1917 i Stockholm. Under 70- och 80-talet har teknik med s k slanka stålörspålar utvecklats framförallt för grundförstärkning.

IVA Pålkommision har med sina olika arbetsgrupper varit sammanhållande för pålutvecklingen i Sverige sedan 1960-talets början. I kommissionen ingår såväl entreprenörer, konsulter som materialleverantörer, offentliga beställare, myndigheter och forskningsinstitut. Arbetsgruppernas resultat redovisas löpande i kommissionens rapportserie som idag (1992) består av ett nittio-tal rapporter.

Svensk pålgrundläggningsteknik efter 1945 i sammandrag:

1945-55: Träpålar förbjöds i Stockholms innerstad 1944. Övergång skedde från platstillverkade till fabriksstill-

verkade betongpålar. Slagning utfördes med rullkranar, träkranar etc med begränsad rörlighet och långa ställtider. Maskinutveckling initierades.

Den första Benotmaskinen för installation av borrhålor i Sverige användes 1953 för att utföra 15–20 meter grävålor för Centralbrons södra landfäste i Stockholm.

1956–60: Framtagning och patentering av momentstyva skarvar för betongpålar (typ ABB och Herkules)

Ombyggnad av grävmaskiner till pålkranar så att man erhöll larvbandburna rörliga enheter med lätt justerbara master (typ Landsverk och Åkerman).

Slitsmursteknik användes i Sverige för första gången år 1957 som tätskärm vid ett kraftverksbygge.

IVA Pålkommision bildades 1959.

1960–67: Stålkärnepålar användes för första gången 1961 för grundläggning av en pappersmaskin i Iggesund.

Enkla stötvågmätningar utförs på pålar. Dessa ledde till en övergång från stoppslagningsformler av typ Kreuger och Hiley baserade på energibetraktelser till ett standardiserat tabellförfarande baserat på stötvågsbetraktelser.

1968–75: Nya pålnormer kom 1968 (supplement till Svensk Byggnorm 1967). Normerade pålningsklasser A,B och C infördes.

Med utgångspunkt från stötvågsteoretiska betraktelser studerades möjligheterna att optimera stötvågen i pålen.

Framtagning och utprovning av moderna hydraulhejare av typ Borg (Uddcomb) samt helhydrauliska pålkranar av typ Banut och Junttan. Tallriksfjäderdynan provades.

Ny utgåva av Svensk byggnorm (SBN) med pålnormer kom 1975. Godkännanderegler till SBN 1975:8 "Pålar – regler för dimensionering samt för pålnings utförande".

1975–80: Grävåleanalyser kom 1979, som resultat av ett långvarigt utvecklingsarbete. Maskiner och arbetsteknik förbättrades.

Olika system av slanka korrosionsskyddade stålrörspålar slagna med "lätta" höghastighetshejare utvecklades och tygkodades.

Stötvågmätning och analys enligt CASE-metoden började tillämpas i Sverige från 1976. Det första

internationella stötvågsseminariet arrangerades av IVA Pålkommision i Stockholm.

1980–90: Under hela 80-talet påverkades pålningsmekaniken framför allt av utvecklingen på datorsidan och av utvecklingen av dynamiska mätmetoder. Analysmetoder förbättrades och hjälpmedel i form av signalmatchningsprogram som CAPWAP och simuleringsprogram som WEAP framtogs. Mätutrustning och givare förbättrades. Den andra internationella stötvågskonferensen arrangerades av IVA Pålkommision i Stockholm 1984.

Omfattande forskning vid Chalmers tekniska högskola om pålars funktionssätt ledde till ett antal viktiga doktorsavhandlingar inom pålningsområdet.

Typgodkännande av stoppslagningskrav och metoder betecknade S 1, S 2 och S 3 innebar en acceptans av stötvågsmätning i pålningsklass A och ett nyanserat säkerhetstänkande. Lägre totalsäkerheter än tidigare accepteras vid utökad provning och verifiering.

Dimensionering av "samverkansgrundläggningar" i lera med en styv bottenplatta och samverkande sk sättningsreducerande, mantelburna pålar, "kryp-pålar" började användas.

Fortsatt utveckling inom grundförstärkningsområdet med fler typer av slanka stålrörspålar, som utnyttjas till högre laster. Nya maskiner lämpade för arbeten i trånga utrymmen som "Källarmusen" samt fotpålar med "Expanderkroppar" för skonsammare pålgrundläggning i lösa friktionsjordar utvecklades.

Nya påltyper i form av lågdeplacerande pålar som "G-pålen" och "SW-pålen", profilpålar för grundläggning i lera som "Vingpålen" samt jetinjekterade pålar utvecklades.

I slutet av 80-talet framkom ett flertal nya normer och anvisningar som kommer att påverka utvecklingen inom pålområdet långt in på 90-talet. Hit räknas Plan- och Bygglagen (PBL), Boverkets Nybyggnadsregler (NR) och Bronorm 88. Nybyggnadsreglerna har lett till typgodkännanden inom pålområdet med delvis ny utformning.

Europeiska grundläggningsföreningen (EFFC) bildades i september 1989 och omedelbart därefter Svenska Pålentreprenörföreningen (PEF).

2.4 Val av pålningsmetod

Det bästa grundläggningsalternativet är det som mot bakgrund av de tekniska förutsättningarna tillfredställer funktionskraven för byggnaden till lägsta möjliga totalkostnad för beställaren. Valet av pålningsmetod styrs således av såväl tekniska som ekonomiska faktorer.

Tekniska faktorer

- Säkerhetsklass enligt Nybyggnadsreglerna.
- Geoteknisk klass enligt Nybyggnadsreglerna.
- Lasteffekter (påförda laster och deformationer)
- Krav på åtkomst och arbetsutrymme.
- Arbetsplatsens belägenhet.
- Närhet till grannbebyggelse och/eller känslig utrustning eller installationer med risk för skador.
- Markförhållanden med hänsyn till:
 - Pålbarhet och/eller drivbarhet
 - Lastkapacitet eller konstruktiv bärförmåga, dvs det enskilda påelementets förmåga att utan att gå till brott överföra aktuella laster.
 - Bärförmåga eller geoteknisk bärförmåga, dvs kringliggande jordlayers och bergs förmåga att med erforderlig säkerhet uppta aktuella lasteffekter i både bruks- och brottgränstillstånd.
 - Last-deformationsegenskaper hos enskilda pålar och hela pålgrupper.
 - Beständighet för pålar med hänsyn till utmattning vid hård slagning, korrosion, kemiska eller bakteriella angrepp mm
 - Påverkan på markens stabilitet.
- Kontrollinsatser

Ekonomiska faktorer

- Total tidsåtgång
- Risk för avbrott och extrakostnader.

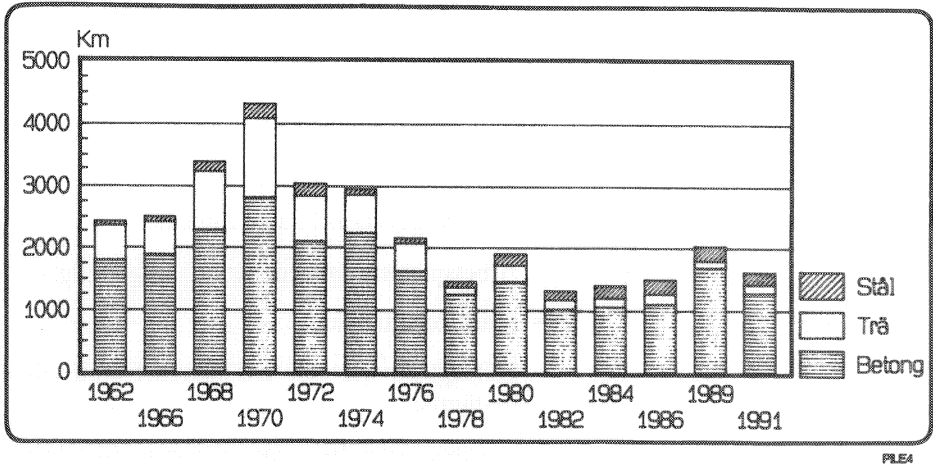
- Följder av eventuella skadliga sättningar i egna konstruktioner eller i grannbebyggelse.
- Tillgång till lämplig maskinutrustning, erforderligt material och yrkeskunnig personal.
- Behov av pålkapning, pålplattor etc.
- Priset som påverkas bl a av följande:
 - Arbetsplatsens belägenhet och tillgänglighet.
 - Markförhållanden.
 - Pålstoppsnivåer och den säkerhet med vilken detta har bestämts.
 - Tekniska specifikationer i byggnadsbeskrivning och på ritningar (speciellt vad gäller avvikelser från standardförfarande)
 - Allmänna kontraktsbestämmelser bl a vad gäller risker, vite, index, försäkringar, garantier, säkerheter, betalningsplaner, etc, speciellt om de avviker från gällande regler eller praxis.
 - Mättningsregler.
 - Arbetsplatsförhållanden.

Ovanstående faktorer är alla betydelsefulla och kan påverka valet av påltyp. Den viktigaste faktorn vid valet av pålmetod är emellertid de på platsen rådande markförhållandena. Vikten av att ha riktig och tillförlitlig kunskap om markförhållandena kan inte nog kraftigt understrykas. Om avvikelser kan förväntas måste alternativ vara förberedda i form av annan teknisk lösning.

2.5 Pålstatistik

IVA Pålkommission har samlat in och publicerat statistik rörande pålningsverksamheten i Sverige sedan 1962. Den senaste redovisningen går fram t o m 1991. Fördelningen mellan betong-, stål- och träpålar framgår av Figur 2.5:1.

En ökning av antalet meter slagna betongpålar har skett under slutet av 80-talet. Mängden minskar sedan. 1989 slogs cirka 1,7 milj. meter, medan man knappt nådde upp till 1,3 milj. meter under 1991.



Figur 2.5:1. Statistik över totala antalet i Sverige slagna pålmetrar samt fördelningen på olika material. (IVA Pålkommision, 1992).

Man kan konstatera att objekten med pålar där stoppslagningsvillkoren bestämts genom stötsvågsmätning har ökat under hela 80-talet och är idag uppe i drygt 35 % (ännu större andel i Västsverige). Detta innebär en bättre anpassning till de lokala förhållandena, men även ett högre utnyttjande av pålarna. Boverkets Nybyggnadsregler (NR 1) och Vägverkets Bronorm 88 medför att denna utveckling kommer att fortsätta.

Grävpålar har utförts mycket sparsamt i Sverige under senare år. Idag finns ingen modern utrustning och det saknas kunnig personal för utförande av grävpålar inom Sverige. Ett konservativt synsätt på denna typ av pålar har medfört att grävpålar för närvarande sällan är ekonomiska. Internationellt är däremot grävpålar den klart dominerande pålgrundläggningsmetoden med många tekniska och ekonomiska fördelar. Ett viktigt skäl till dessa pålars stora användning utomlands är de allt hårdare miljökraven på låga bullernivåer och låga markvibrationer.

Mängden stålplålar har årligen varierat mellan 200.000 och 250.000 meter under senare delen av 80-talet för att sedan minska i början av 90-talet. Här dominerar slanka stålrospålar (diameter < 0,15 m) som huvudsakligen används för grundförstärkningsändamål. Grova stålrospålar (diameter > 0,3 m) kommer troligen att få en ökad användning när anvisningar för dimensionering och utförande framtagits för svenska förhål-

landen. Arbete härmed pågår inom Pålkommisionen och det beräknas vara klart under 1993.

2.6 Normer, Anvisningar och Typgodkännanden

I Sverige används olika normer och anvisningar för grundläggningsarbeten. Förutsättningarna för ett pålgrundläggningsarbete inom Vägverkets, Banverkets eller Boverkets ansvarsområden överensstämmer inte helt med varandra beroende på olika tekniska värderingar. Utvecklingen går dock mot en mer likartad syn och en ökad grad av samordning.

2.61 Europeanormarbetet

Pådrivande i detta sammanhang är det harmoniseringsarbete som pågår i Europa på alla områden. Alla medlemsländer i EFTA och EG är anslutna till CEN (Europeiska Standardiseringskommisionen). Redan idag (1992) finns beslut som innebär att Sverige inte äger rätt att göra väsentliga förändringar i våra normer inom områden där harmoniseringsarbete pågår utan att förändringarna notifieras till och godkänns av CEN.

Målet för harmoniseringsarbetet är gemensamma regler s k Eurocodes, som på ett övergripande plan helt eller delvis kommer att ta över de nationella normerna. Innan dess kommer provisoriska normer (ENV) att ges ut inom varje delområde och sedan provas under ett antal år innan de slutligt revideras och fastställs som Europeanormer (EN). Först därefter dras motstridande nationella normer tillbaka.

Vissa nationella kompletterande regler och detaljanvisningar kommer dock alltid att finnas kvar. Ett helt fungerande system av Eurocodes kommer troligen inte att finnas färdigt förrän efter sekelskiftet, även om delar kommer att tillämpas redan om några år. Via Sveriges Standardiseringskommision och Byggstandardiseringen (BST) medverkar sakkunniga från grundläggningsbranschen i remissarbetet kring Eurocodes.

2.62 Svenska bestämmelser

De viktigaste svenska normerna och bestämmelserna för pålgrundläggning återfinns i:

- Boverkets "Nybyggnadsregler" BFS 1988:18 (NR 1) med supplement
- "Byggvägledning 6:3, Geokonstruktioner" till Nybyggnadsreglerna.
- Bestämmelser för betongkonstruktioner 1988, utgåva 2, (BBK)
- Bestämmelser för stålbyggnadskonstruktioner 1987, (BSK)
- Vägverkets "Bronorm 88", publikation 1993:203
- Brobrev som successivt publiceras (kompletterar Bronormen)
- Banverkets regler, Järnvägsbronorm, BVH 541.2
- SS 81 11 03 Fordringar på betongpålar med kvadratisk tvärsnitt

IVA Pålkommision publicerar löpande rapporter med resultat, erfarenhetsåterföring och rekommendationer. Ett antal av kommissionens rapporter kan betraktas som anvisningar, nämligen:

- Rapport 58, Grävpåleanvisningar (1979)
- Rapport 59, Anvisningar för provpålning med efterföljande provbelastning (1990)
- Rapport 75, Förtillverkade betongpålar (1984)
- Rapport 77, Grävpålar – dynamisk förbelastning (1985)
- Rapport 81, Systempålar (1989)
- Rapport 82, Beta-metoden vid pålberäkning (1990)
- Rapport 84, Beräkning av pålars bärförmåga med hänsyn till pålmaterial och omgivande jord (1991)

Sedan 1 juli 1987 regleras villkoren för byggandet i Sverige av Plan- och Bygglagen (PBL). I förarbetena till denna lag har tydligt uttalats att ansvaret för det tekniska utförandet av en byggnad ytterst skall tas av den som bygger, dvs byggherren. Byggherren och hans medhjälpare såsom konsulter, projektörer, entreprenörer med flera skall alltså svara för att kraven i brott- och bruksgränstillstånd kommer att uppfyllas.

I avsnitt 3:4 i PBL anges att:

"Byggnaders grundkonstruktion, stomme och andra bärande delar skall ha en betryggande bärförmåga, stadga och bestän-

dighet. Övriga byggnadsdelar skall ha en med hänsyn till ändamålet tillfredställande hållfasthet.”

Tidigare hade samhället ambitionen att genom offentliga instanser granska och godkänna allt i samband med byggandet. Det ersätts nu helt eller delvis av andra kontrollfunktioner. Utöver byggherrens egenkontroll och byggnadsinspektionens kontroll kommer olika system med tillhörande kvalitetssäkringsprogram att typgodkännas. Detta gäller även inom pålområdet.

Boverkets Nybyggnadsregler (1989) innehåller en helt ny typ av regelsystem med mycket få detaljföreskrifter. Ambitionen har varit att skapa en funktionsnorm till skillnad från föregångarens (SBN 80) detaljstyrande regelsystem. De viktigaste kraven en konstruktion skall uppfylla är:

- säkerhet mot brott
- god funktion vid normal användning
- beständighet

Detta innebär att tidigare använda lösningar kan användas även fortsättningsvis, men även att nya lösningar som uppfyller funktionskraven lättare kommer att accepteras. Nya lösningar kan komma fram när skickliga konstruktörer och entreprenörer ges ökade möjligheter att få premiering för sina idéer och sitt ansvarstagande. Att höja sin kompetens kommer att vara en viktig konkurrensfaktor i framtiden.

Vägverkets Bronorm 88 behandlar pålning i avsnitt 3 (Grundläggning och underbyggnad). Bronormen ger detaljanvisningar om hur Vägverket vill ha sina grundläggningsentreprenader utförda. En ny omarbetad version av Bronormen gäller fr o m 930401. Den nya Bronormen är anpassad så långt som möjligt till Boverkets Nybyggnadsregler (NR) och kommande Europasnormer inom grundläggningsområdet.

2.63 Typgodkännande av pålssystem

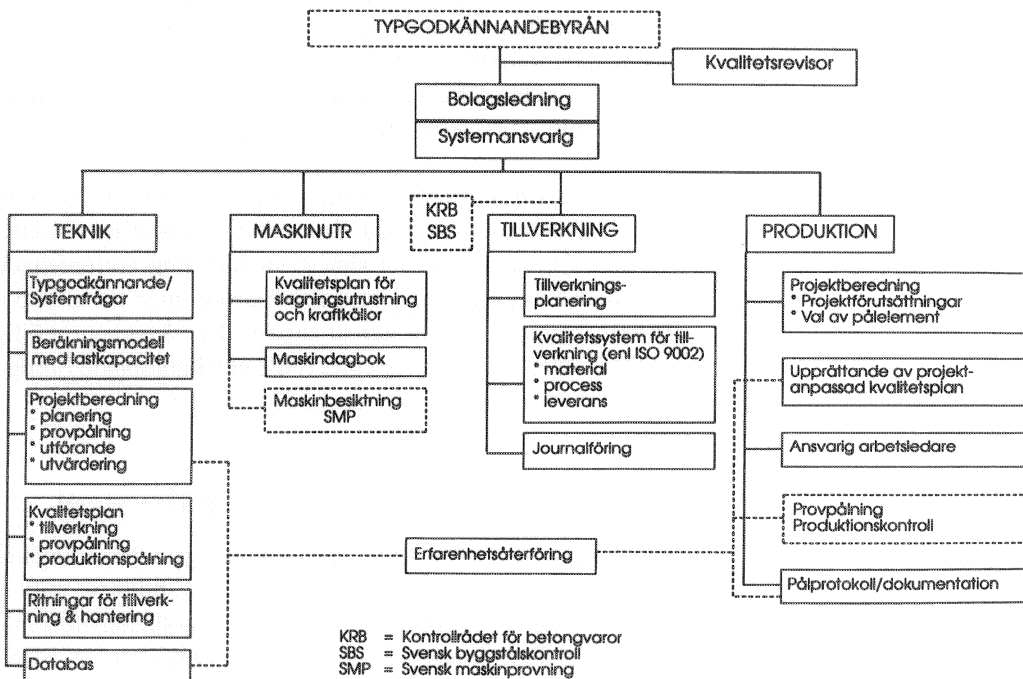
I Nybyggnadsreglerna (NR 1) behandlas grundläggningsfrågorna i avsnitt 6:3 (Geokonstruktioner). Avsnittet är allmänt hållet och ger ej praktisk vägledning. Typgodkännanderegler för betongpålar saknas för närvarande (1992) eftersom SBN:s godkännanderegler 1975:8 för pålar inte är anpassade till Nybyggnadsreglerna. Grundläggningsbranschen får själv ta fram

erforderlig vägledning för de dimensionerings- och utförande-metoder man vill använda. Detta arbete kan göras i handböcker som denna, av branschorganisationer som råd och anvisningar eller av enskilda företag i form av typgodkännanden. Det är viktigt att det inom branschen finns en gemensam grundsyn på hur pålar skall dimensioneras och hur pålningsarbeten skall utföras.

I Pålkommisionens rapport 81 om "Systempålar" finns riktlinjer för hur ett typgodkännande för pålsystem kan byggas upp. Riktlinjerna har skrivits för slanka stålrörspålar, men kan tillämpas även på andra pålsystem.

Ett modernt pålsystem utgör en helhet, som omfattar dimensionering, projektering och tillverkning av pålar med skarvar och pålskor, kontroll av maskiner och utrustningar samt installation och kontroll av pålarna på arbetsplatsen. Det är viktigt att systemet omfattas av en anpassad kvalitetsstyrning och dokumentation.

I Sverige har vi goda erfarenheter av slagna förtillverkade skarvbara betongpålar sedan mer än 40 år. Slanka stålrörspålar



Figur 26.3:1. Exempel på utformning av system för typgodkända pålar.

har använts under mer än 15 år med gott resultat. Det är viktigt att föra fram våra erfarenheter och vårt tekniska kunnande på ett riktigt sätt inte bara med tanke på vår hemmamarknad utan även med sikte på en marknad i ett öppet Europa. När vi från Sverige marknadsför våra pålningsystem internationellt krävs en väl genomtänkt helhet, t ex enligt ovanstående beskrivning av ett modernt pålsystem. Kvalitetsmanualer bör i tillämpliga delar anknyta till system ISO 9000.

Inom området slanka stålrörspålar har branschen (PEF) i samråd med Boverket bildat ett kontrollråd för revision (KRTS) som årligen granskar de pålentreprenörer som arbetar med typgodkända stålpålesystem.

2.7 Dimensioneringsprinciper

Innehållet i detta avsnitt är översiktligt och hänför sig i första hand till slagna betongpålar. Det ansluter till de förutsättningar som anges i Boverkets Nybyggnadsregler (NR 1). I tillämpliga delar gäller dock principerna generellt för alla typer av pålar och även för Vägverkets Bronorm 88. En mer detaljerad redovisning finns i avsnitt 6.

2.7.1 Begrepp

I handboken används följande begrepp för last och bärförmåga för pålar:

Lasteffekten är den sammantagna inverkan av laster och rörelser som påverkar pålarna. Påverkan direkt på pålarna från kringliggande jord i form av negativ mantelfriktion eller sidolast ingår också i begreppet. Vid en noggrann bestämning av lasteffekten är det viktigt att även ta hänsyn till samverkan mellan överbyggnad och grundkonstruktion. Lasteffekten beräknas både i brottgräns- och bruksgränstillstånd. Lastens varaktighet påverkar pålarnas bärförmåga och pålelementens lastkapacitet. Vid dimensioneringen bör därför en uppdelning göras i korttidslast och långtidslast.

Lastkapaciteten är det enskilda pålelementets konstruktiva bärförmåga, dvs dess möjlighet att överföra lasteffekter utan att elementet (inkl. skarvar och pålsko) går till brott eller deformeras på ett skadligt sätt. Jordens sidostöd mot knäckning är en

viktig del. Det enskilda pålelementet måste även klara hantering och slagning. Lastkapacitet är således ett mått på hur stor last ett pålelement kan utnyttjas för i ett specifikt objekt.

Märklasten är lastkapacitetens övre gräns. Det är en egenkapsdeklaration av ett pålelement som kan sägas utgöra ett mått på hur effektivt de ingående materialen i en påle kan utnyttjas. Om de yttre förutsättningarna i ett aktuellt objekt är gynnsamma kan märklasten vara lika med lastkapaciteten. Normalt är dock märklasten betydligt större än lastkapaciteten.

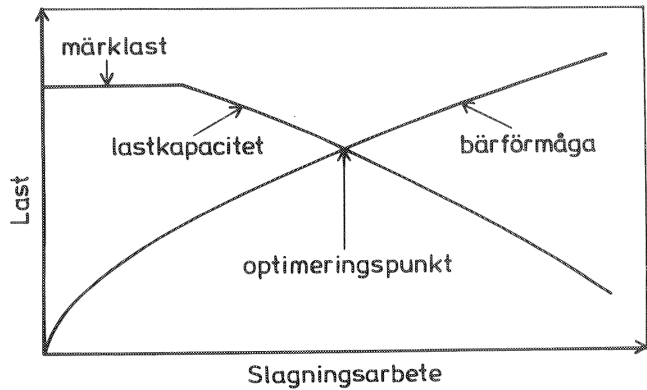
Bärförmågan eller den geotekniska bärförmågan är jordens och/eller bergets förmåga att längs en påles mantel och vid pålspetsen ta upp påförda lasteffekter utan att det uppstår brott i jord eller berg eller att skadliga rörelser uppstår.

2.72 Partialkoefficientmetoden

Huvudmetod vid dimensionering enligt Nybyggnadsreglerna är partialkoefficientmetoden. Det är också den dimensioneringsmetod som valts i det pågående arbetet med Eurocode. Partialkoefficienter väljs utifrån ett sannolikhetsteoretiskt synsätt. I Nybyggnadsreglernas avsnitt 6:3 (Geokonstruktioner) ges värden för partialkoefficienter i form av rekommenderade intervall eller också ges inga partialkoefficienter alls. Värden för partialkoefficienter kan beräknas med β -metoden, vilken också kan godkännas av Boverket för direkt dimensionering.

Enligt partialkoefficientmetoden är säkerheten betryggande om dimensionerande bärförmåga och lastkapacitet är minst lika stor som den dimensionerande lasteffekten. Två olika brottillstånd måste således alltid verifieras, dels att pålens geotekniska bärförmåga är betryggande, dels att pålelementets lastkapacitet är tillräcklig.

För att nå tillräcklig bärförmåga måste pålarna ibland drivas hårt vid slagningen. Detta innebär att hållfasthetsegenskaperna hos ett förtillverkat pålelement av betong nedsätts i princip enligt Figur 2.72:1. Dimensionering av pålar är alltså ett optimeringsproblem med hänsyn till slagningsarbetet.



Figur 2.72:1 Principiellt samband mellan en påles bärförmåga och pålelementets lastkapacitet resp. märklast som funktion av slagningsarbetet.

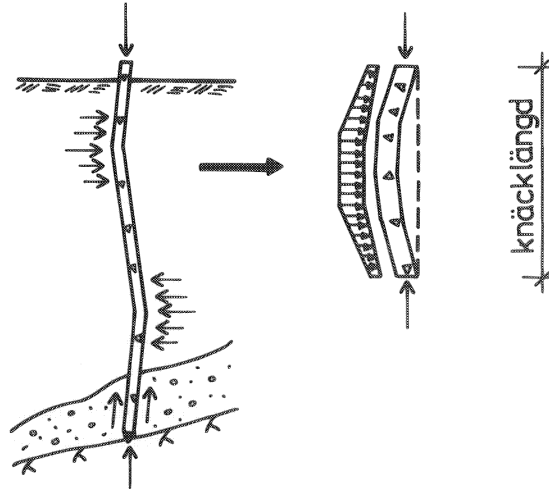
2.73 Beräkningsmodell för en påles lastkapacitet

Följande hänsynstaganden ingår i beräkningen av en påles lastkapacitet:

- Pålens ”grundrecept” (som ger märklasten):
 - Tvärsnitt (form och mått)
 - Materialkvaliteter (betong, armering, stål)
 - Armering (mängd, placering, toleranser)
 - Beslag (skarvar, pålskor)
- Lastens varaktighet
- Sidostöd av omgivande jord
- Slagningsarbete för att uppnå erforderlig bärförmåga
- Initialkrokighet hos påle inklusive eventuella skarvar
- Funktionsduglighet (integritet)
- Säkerhetsklass

Vid beräkning av en påles lastkapacitet betraktas pålen som en pelare. För exempelvis betongpålar innebär detta att våra bestämmelser för betongkonstruktioner (BBK) kan användas.

Beräkningsmodellen för en påles lastkapacitet är en axialbelastad pelare som är kontinuerligt sidostöttad av jord, jfr Figur 2.73:1. Pålens knäcklast beräknas med hänsyn till initialkrokighet. Som modell för sidostöttningen kan bäddmodul teorin användas.



Figur 2.73:1 Beräkningsmodell för en påles lastkapacitet

Pålen skall kontrolleras i både brottgräns- och bruksgränstillstånd. För icke cirkulära påltvärsnitt måste hänsyn tas till olika tänkbara utböjningsriktningar.

2.74 Bestämning av pålars bärförmåga

Bestämning och verifiering av spetsburna pålars geotekniska bärförmåga kan utföras enligt slagningvillkor (schabloner) på i princip de sätt vi har erfarenhet sedan många år i Sverige. I Nybyggnadsreglerna indelas geokonstruktioner i tre geotekniska klasser. Slagningsvillkor enligt schabloner får tillämpas för pålar i geoteknisk klass 1 och delvis även i geoteknisk klass 2. Metoden ger hög säkerhet, men inte så högt materialutnyttjande av pålarna. I princip kan detta förfaringsätt jämföras med de tidigare pålningsklasserna C330, B450 och B600 i Svensk Byggnorm och Bronnormerna.

Bärförmågan för spetsburna pålar bestäms och verifieras i geoteknisk klass 3 och ofta även i klass 2 genom dynamisk provbelastning i form av stötvågsmätning. Detta ger ofta ett bättre utnyttjande av pålarna än då man använder generella slagningvillkor (tabellvärden). Stoppslagningvillkor för det aktuella projektet upprättas då genom provpålning med stötvågsmätning och åtföljande analys, t ex med datorprogrammet CAPWAP. Hejarval och slagningvillkor baseras ofta på erfarenheter från tidigare pålningsarbeten i relation till aktuell geo-

teknisk undersökning, men ibland även på datorsimulering av typ WEAP.

Mantelburna pålars bärförmåga kan beräknas med geostatiska metoder. Det är då viktigt att ha anpassat den geotekniska undersökningen till detta förfaringssätt. Beräkning av bärförmågan bör dock ofta följas upp med någon form av provbelastning. Den vanligaste metoden för provbelastning av friktionspålar har tidigare varit statisk provbelastning. Under det senaste decenniet har detta förfarande till stor del ersatts av dynamisk provbelastning med åtföljande analys. Detta gäller också för pålar som är kombinerat spets- och mantelburna. Mantelburna pålar i lera (kohesionspålar) provas normalt genom statisk provbelastning.

Produktionskontroll kan vid kvalificerade pålningsarbeten utföras som en kombination av stötvågsmätning och olika typer av påldrivningsdokumentation. Syftet med produktionskontrollen är i första hand att verifiera pålarnas bärförmåga och funktionsduglighet, men även att kontrollera att vald slagningsutrustning (hejar- dynakombination) fungerar som avsett.

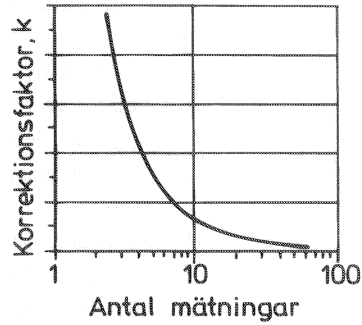
Den dimensionerande geotekniska bärförmågan för pålar bestäms utifrån ett karakteristiskt värde för bärförmågan. Följande faktorer måste beaktas vid bestämning av dimensionerande bärförmåga:

- Bärförmågans spridning beroende på variationer i de geotekniska egenskaperna (uttrycks genom variationskoefficienten)
- Bärförmågans förändring med tiden
- Inverkan av begränsat antal provningar (fåtalsprovning)
- Osäkerheter i beräknings- och provningsmodellen
- Konstruktionens säkerhetsklass

Den genom stötvågsmätning bestämda bärförmågan för en enskild påle är beroende av tillförd slagningsenergi. Vid utvärdering av variationskoefficienten (spridningen) i bärförmågan bör därför olika pålar slås med samma energi. Om detta ej är möjligt måste korrigerings utföras för olika tillförd energi.

För mantelburna pålar är spridningen i bärförmåga vanligen mindre än för spetsburna pålar.

Vid provpålningar utförs stötvågsmätning på cirka 5 % av totala antalet pålar. Normalt innebär detta 4 till 10 provpålar per objekt. Fåtalsprovningar beskriver inte nöjaktigt pålarnas bärformåga. En korrigering måste därför göras av den i fält uppmätta spridningen (variationskoefficienten) med en korrektionsfaktor (förstoringsfaktor) K , som står i relation till antalet mätningar, jfr Figur 2.74:1.



Figur 2.74:1 Principiellt samband för korrektionsfaktorn K som funktion av antalet mätningar (fåtalsprovning)