

4 MATERIAL, SLAGNINGS- UTRUSTNING, SLAG- NINGSFÖRFARANDE

4.1 Allmänt

4.11 Pålars benämning efter funktionssätt

Historiskt sett och innan kunskap om hur man från data om jorden och slagningsförhållandena kunde beräkna pålars bärförmåga delades pålarna upp i två grupper. Pålars som slogs tills de stoppade eller pålars som slogs tills de tog slut.

Den första gruppen benämns numera spetsburna pålar. Bärförmågan hos dessa pålar beräknas med utgångspunkt från slagningsförhållandena. Den andra gruppen benämns mantelburna pålar och beräkning av bärförmågan görs med utgångspunkt från data om jorden. I Sverige indelar vi de mantelburna pålarna efter den typ av jord i vilken de är slagna. Pålars som slås i friktionsjord benämns friktionspålars och pålars som slås i kohesionsjord benämns kohesionspålars.

4.12 Pålbarhet, slagbarhet, drivbarhet

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

Pålbarhet är ett begrepp som används för att beskriva jordens egenskaper vid pålslagning.

Slagbarhet är en egenskap hos pålelementet. Slagbarheten betecknar möjligheten att slå pålar utan att pålmaterialet skadas.

Drivbarhet används för att beteckna möjligheten slå vald påle ner i den för arbetsplatsen specifika jorden med vald slagningsutrustning. Drivbarheten är en egenskap hos pålsystemet.

4.13 Dimensionering för hantering och slagning

Pålar skall dimensioneras för alla de lasteffekter som uppkommer vid hantering och slagning. Dimensionering för de lasteffekter som påverkar pålarna efter installationen behandlas i avsnitt 6.

I Pålkommisionens rapport 75 beskrivs ett förenklat sätt att beräkna de lasteffekter som uppkommer i betongpålar vid slagning.

4.13.1 Hantering

Dimensionering i brottgränstillstånd

Belastningsfallen lyftning, transport och lagring av pålar skall beaktas vid dimensioneringen av pålelementet. En påle antas påverkad av en dynamisk last på grund av hantering, vars statiskt ekvivalenta karakteristiska värde sätts till minst 1,5 ggr pålens egentyngd och eventuella andra tyngder som påverkar pålen vid lyftning. Den statiskt ekvivalenta lasten betraktas som en variabel och bunden last. Dimensionerande lasteffekt för de laster som påverkar pålen vid lyftning bestäms med hjälp av partialkoefficienter enligt Nybyggnadsreglerna (NR 1) kapitel 6:1 och 6:2.

Dimensionering av ett påltvärsnitt för hantering utförs enligt gällande regler för respektive konstruktionsmaterial (BBK för betong). För betongpålar bör säkerhetsklass 3 väljas vid dimensionering av pålelement för hantering.

Dimensionering i bruksgränstillstånd

För betongpålar skall sprickbredden kontrolleras. Beräknad sprickvidd får vara högst 0,4 mm. Sprickbreddskontroll utförs med vanligt lastvärde på den statiskt ekvivalenta lasten. Denna kan sättas till 1,25 gånger pålens egentyngd och eventuella andra laster, som påverkar pålen vid lyftning.

Hanteringsanvisningar skall finnas upprättade för betongpålar. Vid lyftning med enpunktslyft skall tillåtet område vara markerat på pålen. Den i fabriken ingjutna lyftöglan får ej användas vid pålkranen för att lyfta pålen. Risk finns att lyftöglan kan ha skadats eller deformerats vid tidigare hantering av pålen.

4.13.2 Slagning

Pålar skall dimensioneras för de spänningar som uppkommer vid själva slagningen. Spänningar orsakas av både tryck- och dragkrafter. Spänningarnas storlek är bl a beroende av:

- slagningens utförande (t ex fallhöjd)
- förhållandet påle-slagningsutrustning
- jordlagerföljd på pålningsplatsen

När hejaren träffar pålhuvudet uppkommer en spänning i pålen. Spänningen är beroende av hejarens anslagshastighet, material och dimension hos påle och hejare samt av slagdynans material och utformning. Denna spänning kallas initialspänning.

Initialspänningen utbreder sig i pålen som en våg. Om motståndet mot neddrivning är stort vid pålspetsen kommer en tryckvåg att reflekteras som överlagrar den nedåtgående vågen. Man kan på detta sätt få en högre spänning i pålen än den spänning som hejaren alstrar.

Den uppåtgående tryckvågen träffar hejaren och förskjuter denna uppåt. Hejaren får alltså en uppåtgående rörelse. På grund av tyngdaccelerationen hejdas hejarens rörelse och hejaren faller tillbaka och träffar åter pålen. Detta kan höras på arbetsplatsen och brukar kallas hejarstuds. När hejarstuds uppkommer är alltså jordmotståndet större än den initialkraft, som hejaren alstrar.

Om motståndet däremot är lågt vid pålspetsen (som i lera) uppkommer en dragvåg som fortplantar sig uppåt i pålen. När denna dragvåg kommer upp till hejaren drar den bort pålen från slagdyna och hejare. Dyna och hejare faller sedan åter ned på pålen. Detta ger upphov till ett klapprande ljud. När detta ljud hörs är dragkraften så stor att den drar med sig pålen. För att minska dragkraften (och ta bort det klapprande ljudet) måste fallhöjden minskas. Amplituden för den uppåtgående dragvågen är beroende av den nedåtgående tryckvågens amplitud.

Nedåtgående och uppåtgående stötvågor och vågöverlagringar kan ge upphov till skadliga spänningar i pålen. I betongpålar kan skadliga dragspänningar uppkomma. Skadliga tryckspänningar kan uppkomma i såväl stål- som betongpålar. Skarvar mellan pålelement måste också klara de drag- och tryckspänningar som uppkommer vid slagningen.

Vid slagning av betongpålar i lös jord skall fallhöjden hållas låg (10–20 cm) för att minska risken för skadliga dragspänningar i pålen.

Beräkning av slagspänningar behandlas i avsnitt 5.2. Maximala tryckspänningar i betongpålar kan beräknas enligt BBK. För stålplålar rekommenderas att maximal tryckspänning vid slagning ej överstiger 90 % av stålets flytgräns.

Om en påle för att nå erforderlig bärförmåga måste slås med många slag kan pålmaterialet utmattas. Pålen fungerar då ej som ett fullvärdigt konstruktionselement även om bärförmågan i jord är tillräcklig. En betongpåle som slås med fler än ca 3000 slag löper erfarenhetsmässigt risk att få utmattningsskador. Även stålplålar och skarvar löper risk för utmattningsskador vid stort slagantal.

Idag (1992) finns hjälpmedel i form av datorprogram som kan simulera pålslagning och ge uppgifter om de spänningar som uppkommer vid slagningen. Datorprogrammet WEAP (Wave Equation Analyzes Program) innehåller ca 375 olika typer av hejare inprogrammerade med av fabrikanterna angiven tyngd hos dyna och rekommenderade slagkubbar och dynträ. Resultatet av datorsimulering kan kontrolleras på pålplatsen med hjälp av stötvågsmätning och analys av dessa mätningar.

4.2 Pålmateriäl

Pålar indelas efter material i betongpålar, träpålar (kombination betong/trä) och stålplålar.

4.21 Betong

4.21.1 Standardiserade pålar

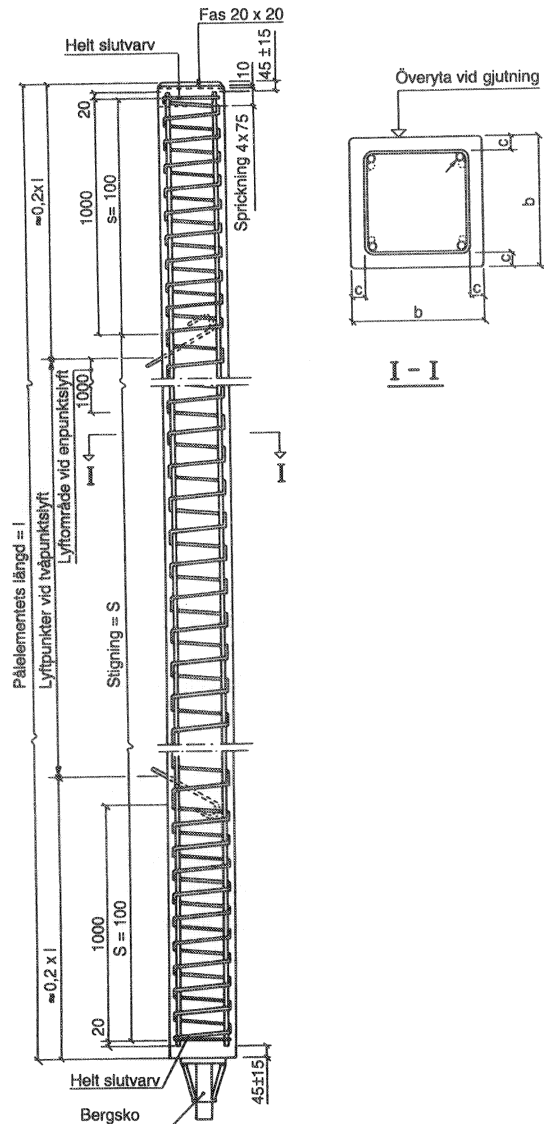
Standardiserade pålar är lagervaror och finns idag att köpa från fabrik i olika längder från 3 meter och uppåt. Maximal elementlängd är 13 meter. Med standardpålar avses pålar som serietillverkas på fabrik med kantmått och materialdata enligt Tabell 4.21:1.

Bygelarmering anordnas runt huvudarmeringen som en spiralbygel av kalldragen ståltråd. Minimikravet för trådens sträckgräns eller 0,2-gräns är 390 MPa. Spiralbygels diameter är

Tabell 4.21:1 Kantmått och materialdata för standardiserade pålelement.

Beteckning enligt Svensk Standard		Kantmått (mm)	Armering	Betong
SP1	SS 811103	235	4 Ø 16, Ks60	K50
SP2	SS 811103	270, 275	8 Ø 12, Ks60	K50
SP3	SS 811103	270, 275	8 Ø 16, Ks60	K50

5 mm och den skall ha 10 varv den första metern i varje ända. Stigningen på spiralen är 200 mm vid 16 mm armering och 160 mm vid 12 mm armering, jfr Figur 4.21:2.

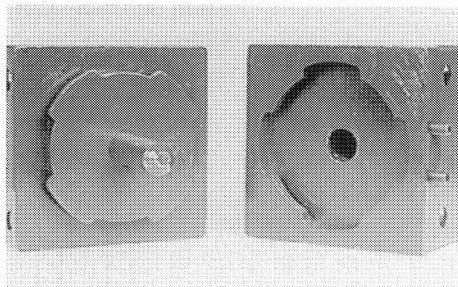


Figur 4.21:2 Standardiserad betongpåle

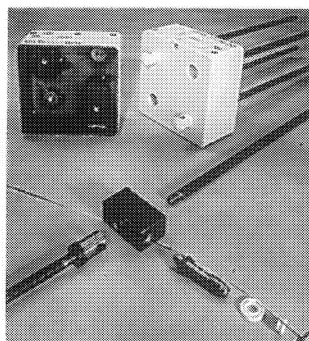
Täckande betongskikt till bygelarmeringen skall vara minst 25 mm. I mycket armeringsaggressiv miljö (definierad enligt BBK) skall täcksiktet ökas till 35 mm.

4.21.2 Skarvar

De vanligaste skarvarna är Herculesskarv och ABB-skarv, jfr Figur 4.21:3 och 4.21:4.



Figur 4.21:3 Herculesskarv



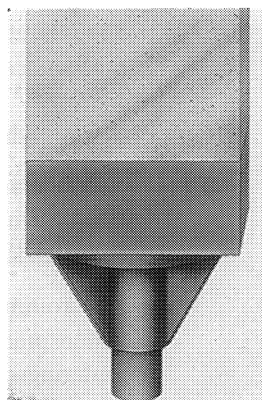
Figur 4.21:4 ABB-skarv

Skarvar skall ingjutas så att pålens vinkeländring efter skarvning ej överstiger 1:75.

4.21.3 Bergsko

Pålspetsar förses normalt med s k fastgjuten bergsko. Slagkraften centreras med hjälp av bergskon. Då minskas risken för skador i pålen på grund av excentrisk belastning. Lös bergsko kan användas i finkorniga friktionsjordar och kohesionsjordar där lasten i huvudsak överförs via pålens mantelyta och pålarnas spetslast är liten.

Utformning av bergsko framgår av svensk standard SS 811196 jfr Figur 4.21:5.



Figur 4.21:5 Bergsko

4.21.4 Specialpålar

För anläggningskonstruktioner, exempelvis kajer där knäckning ofta är dimensionerande för pålarna tillverkas specialpålar med relativt stora tvärsnitt. Kostnaden för dessa pålar blir betydligt större än för standardiserade pålar.

Vid slagning av pålar mot starkt lutande berg finns risk för att pålspetsen ej får fäste. Man kan då använda den s k Göteborgsmetoden, jfr Figur 4.21:6. Pålen förses med ett borrör, med vanligen 57 mm innerdiameter och 1,5 mm godstjocklek. Hålförsedd bergdubb med 100 mm ytterdiameter och 60 mm innerdiametern används. Hålet i bergdubben är fyllt med betong för att förhindra jord att tränga upp i borröret under neddrivningen. Skarvarna har motsvarande hål. När pålen kommer i kontakt med berget avbryts slagningen och borrning påbörjas. Först borrar genom betongen i bergskon och sedan vidare in i berget minst 0,5 m. Därefter förs ett stålämne med 45 mm diameter och minst 1 m längd (stålqualität minst SIS 2172) ned i hålet. Slutligen mejslas pålspetsen in i berget med ca 300 slag med låg fallhöjd. Efter inmejslingen slås 10 slag med högre fallhöjd som funktionskontroll av förankringen.

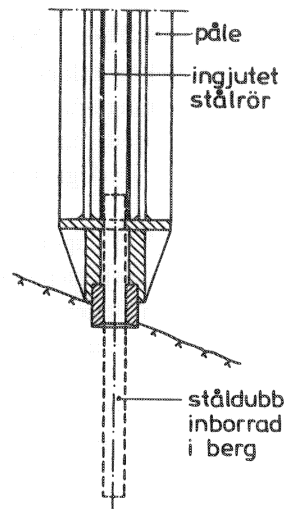
Vid slagning i fasta siltiga jordar, där den elastiska deformationen under drivningen är stor, kan stora dragspänningar uppkomma i pålen vid hård drivning. Om vatten finns runt pålen kan detta sugas in när dragvågen öppnar sprickorna. När tryckvågen från nästa hejarslag kommer sluts sprickorna och vattnet pressas ut med stor kraft. Denna vattenutpressning kan ge upphov till betydande skador i pålen. Standardpålar drabbas

troligen relativt sällan av problem med vattensprängning. Risken för vattensprängning är större för stora påltvärsnitt och om armeringen är förlagd enbart till påltvärsnittets hörn.

För att reducera risken för vattensprängning bör man:

- sprida armeringen i pålens tvärsnitt
- öka armeringsarean
- använda tung hejare och låg fallhöjd

I Pålkommisionens rapport 88 behandlas problematiken med vattensprängning. Riskerna kan värderas med hjälp av datorsimuleringsprogrammet WEAP, där dragkraftens storlek kan beräknas vid slagning med hejare av olika tyngd.



Figur 4.21:6 Infästning i berg enligt "Göteborgsmetoden"

4.21.5 Förspända betongpålar

Förspända betongpålar är ej standardiserade i Sverige. Runda pålar med 340 mm diameter har tillverkats tidigare. Pålarna utfördes i betong K60 och var vanligen armerade med 8 st 7/16" wire förspända med 65 kN per wire.

4.22 Trä, kombination betong/trä

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

Pålar som slås i lera eller lös friktionsjord bör ha en spetsdiameter som är minst 125 mm. Vid slagning i fast friktionsjord bör spetsdiametern dock vara minst 150 mm. Pålarna skall vara jämnt koniska över hela längden. Trämaterialet (gran eller furu) skall vara friskt och utan rötskador eller på djupet gående gångar efter trägnagande insekter.

Skarvning av träpålar kräver stor noggrannhet. Risken för skadlig vinkelavvikelse i skarven är mycket stor eftersom eventuell avvikelse i skarven förstärks av pålens naturliga slankhet och imperfektion. Träpålar som skarvas bör därför vara exceptionellt raka så att de ej styr åt sidan och förstör skarven. Skarvning av träpålar bör göras med hjälp av en skarvhylsa, som slås in till hälften av sin längd i den undre pålens övre ända. Den övre pålens nedre ända placeras på skarvhylsan och påländarna slås därefter ihop. Detta innebär att skarvning utförs rot mot rot.

Träpålar bör ej användas över grundvattennivån. På påltoppen kan i sådana fall en sk påsättare användas. Påsättaren kan bestå av en betongpåle med den typ av skarv som beskrivits ovan i den nedre påländen. Den på detta sätt anordnade pålen kallas kombinationspåle.

4.23 Stål

I Sverige används oftast sk slanka stålpålar. Dessa pålars mantelyta är relativt liten och lasteffekten överförs huvudsakligen via pålspetsen till bärkraftig jord eller berg, dvs pålarnas funktionssätt är i huvudsak som spetsburna pålar.

Grova stålpålar (rör, stora H-profiler) används där höga laster skall överföras och ofta där knäckning är dimensionerande, dvs vid förhållanden där pålen har stor fri längd utan eller med begränsat sidostöd.

4.23.1 Slanka stålpålar

De vanligaste påltyperna är BESAB-pålen, Bjurströms-pålen, G-pålen (egentligen segjärn, ej stål), Stålpastpålen och X-pålen. Till varje påltyp finns skarvar och skor som anbringas på pålen med enkla medel. Många av tillverkarna och entreprenörerna har typgodkännande av Boverket för sina pålar, jämför avsnitt 6.8.

Tabell 4.23:1 Materialdata för några typer av stålpålar

Påltyp	Material	Dimensioner mm	Area mm ²	Vikt kg/m	Impedans kNs/m
BESAB-pålen	Stål SIS 2172	D 76,1 t=4	906	6,4	36,6
Bjurströmspålen	Stål SIS 2172	D 60,3 t=5	869	6,1	35,1
		D 76,1 t=5	1 117	7,9	45,1
		D 88,9 t=5	1 318	9,3	53,2
G-pålen	Segjärn 300 MPa	D 118 t=10	3 393	23,9	111,9
		D 170 t=11	5 495	38,7	181,3
		D 170 t=13	6 412	45,2	211,5
Stålplastpålen	Stål SIS 2172	D 76,1 t=4	906	6,4	36,6
X-pålen	Stål SIS 1412	130×16	3 928	30,6	158,6
		155×23	6 640	51,8	268,2
		180×24	8 106	63,2	327,4
		200×30	11 176	87,2	451,3

Samtliga påltyper i tabellen har rörtvärsnitt utom X-pålen, vars tvärsnitt, som framgår av namnet, är X-format.

I vissa fall används järnvägsräls som pålar. Det är förenat med stor risk att använda begagnade räls, eftersom materialet kan vara sprött på grund av tidigare utmattnings.

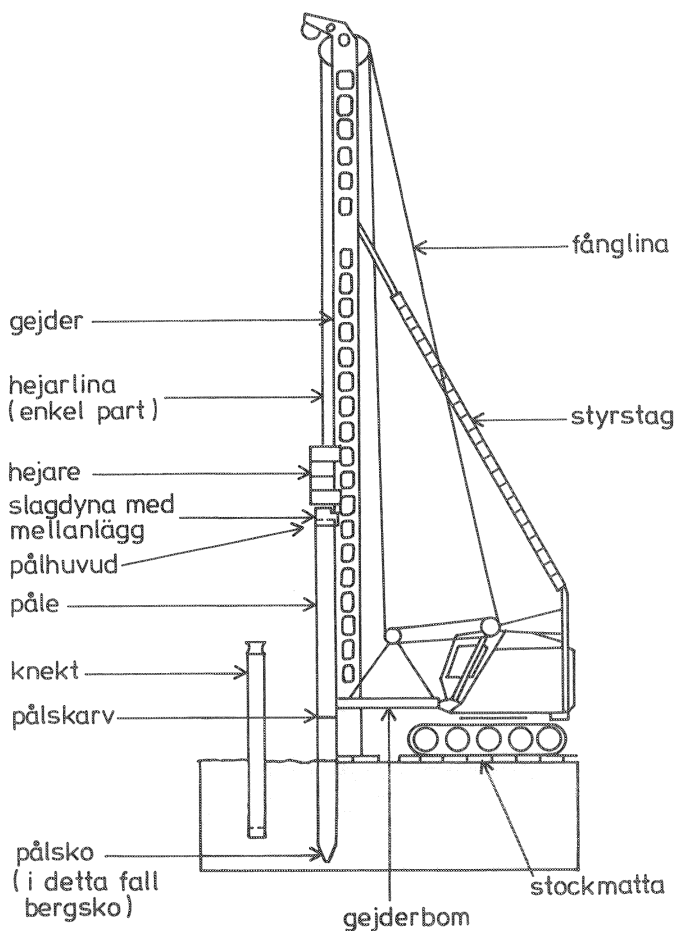
4.23.2 Grova stålrörspålar

I Sverige används mest stålrör som har 400 – 800 mm diameter som pålar. Godstjockleken varierar från 10 mm och uppåt. Pålkommissionen har en arbetsgrupp som arbetar med rekommendationer för dimensionering och utförande av grova stålrörspålar. Gruppen beräknas vara klar under 1993.

4.3 Slagningsutrustning

4.31 Kranar

En pålmaskin består av en basmaskin, som ofta är en ombyggd grävmaskin, jfr Figur 4.31:1. På maskinen är monterat en mast eller ett stöd som håller styrningen för hejaren, den så kallade gejdern. Hejaren slår på en slagdyna, som är placerad mellan hejare och påle. Gejdern är gjord så att den lätt skall kunna anpassas till de lutningar som fordras för pålarna. Maximal lutning är 4:1 framåt och bakåt räknat i maskinens längdriktning. Vid lutande pålar skall beaktas att hejarens effektivitet blir mindre eftersom friktionskrafterna mot hejarens styrning ökar.



Figur 4.31:1 Pålkran, beteckningar

De i Sverige vanligaste pålslaggningsmaskinerna är försedda med lindrivna eller hydrauliskt drivna fallhejare. Hejarnas vikt varierar mellan 3 och 5 ton. För slagning av slanka stålpålar användes ibland speciella typer av hejare, jfr Tabell 4.32:3. Vikten av en pålmaskin inklusive hejare varierar normalt mellan 40 och 50 ton. Markbelastningen (under banden) är 60 à 90 kPa. Man kan normalt ej slå standardpålar närmare en befintlig byggnad än 0,5 meter (räknat från pålens centrum) på grund av hejarnas utformning.

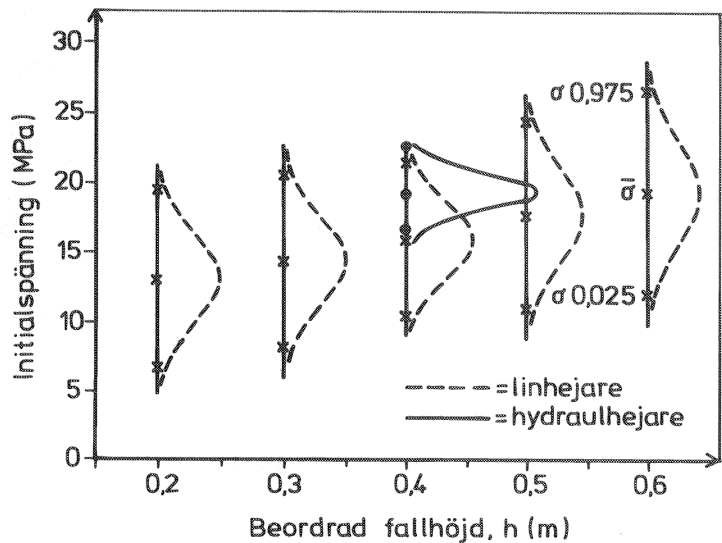
4.32 Hejare

Linhejare

Hejaren lyfts med hjälp av en hejarlina och styrs i fallet av ett gejderrör. Fallhöjden kan varieras med hjälp av bromsar på

lintrumman i basmaskinen. Variationen i hejarens anslagshastighet blir relativt stor, vilket ger upphov till varierande initialpåkänningar i pålen, jfr Figur 4.32:1.

Den till pålen överförda energin varierar och kan sättas till högst ca 60% av produkten av hejarens vikt och fallhöjden. De maskiner som användes i Sverige är från 60- och början av 70-talet. De vanligaste är av typ Åkerman och Landsverk, men dessutom finns ett mindre antal finskbyggda maskiner av typ Lokomo. Åkerman- och Lokomo-maskinerna har styrning på gejdernas nedre del, medan Landsverksmaskinernas gejdrar är hängande.



Figur 4.32:1 Initialspänningar i påle

Hydraulhejare

Under 70-talet utvecklades hydraulhejaren. Behovet av nya pålmaskiner var då stort, eftersom tillverkningen av lindrivna grävmaskiner (som var bas för de äldre pålmaskinerna) upphörde. Den första pålmaskinen med hydraulhejare på den svenska marknaden var av typ Banut. En prototyp av denna maskin började slå pålar i början av 70-talet. De första seriebyggda maskinerna kom 1976.

Principen för Banutmaskinen är att hejarvikten lyfts med en hydraulkolv till önskad fallhöjd. Kolven dras sedan tillbaka snabbare än hejaren faller, dvs hejaren faller fritt. De första maskinerna hade hejarvikter på 3 ton. Utvecklingen har där-

efter gått mot större hejarvikter och idag är 5 ton ej ovanligt. Den maximala fallhöjden för en Banuthejare är för närvarande 0,8 m, men utvecklingsarbete pågår för att åstadkomma ännu högre fallhöjder.

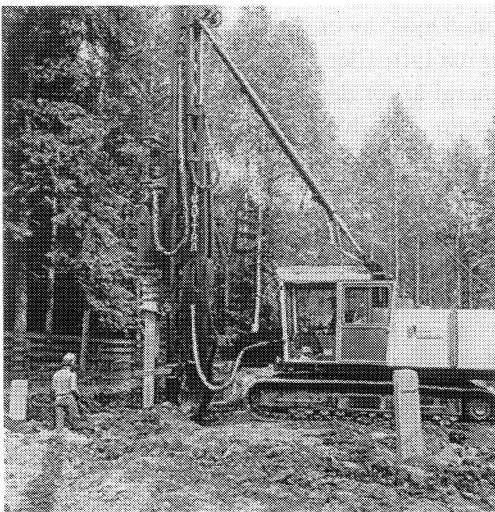
Uddcombhejaren utvecklades också i Sverige efter i princip samma idé. Fallhöjden för denna hejare är högst 1,2 meter.

Junttan, som är en finsk hydraulisk pålmaskin, finns också på den svenska marknaden. Denna hejare är uppbyggd efter en annan princip. Hejaren lyfts med hjälp av oljetryck i en kolv. Trycket minskas och hejaren faller och "skjuter iväg" oljan. Effektiviteten hos hejaren är därför beroende av bl a oljans temperatur. Högsta fallhöjden för Junttan är 1,2 m.

Samtliga här beskrivna hydraulmaskiner har hög (ca 80 %) verkningsgrad. Med verkningsgrad avses till pålen överförd energi i förhållande till den potentiella energin. För Banuthejaren och Uddcombhejaren måste de upplyftande kolvarna hinna undan innan hejaren slår på dynan. Om detta inte sker kommer hejarens anslagshastighet att bromsas av kolvarna. Man kan genom att utföra stötvågsmätningar kontrollera om verkningsgraden är tillfredsställande.

Vibrationshejare

Denna typ av hejare består av ett eller flera par roterande vikter, som drivs av en motor så att det uppstår en pulserande kraft i hejarens längdriktning. Vissa hejartyper har möjlighet att va-



Figur 4.32:2 Pålkrantar typ Junttan och Banut

riera frekvensen. Vibrationshejare användes mest för att driva spontplank eller stålspålar. Hejaren kläms då fast i spanten/pålen. Vibrationshejaren har också använts i Sverige för slagning av betongspålar med hejaren löst placerad ovanpå pålen.

Vibrationshejaren passar bäst i lös till halvfast friktionsjord. Den fungerar mindre bra i lerjord.

Dieselhejare

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

Dieselhejaren är olämplig vid drivning av pålar mot berg eftersom fallhöjden ökar med ökat motstånd, vilket medför risk för skador på pålen. Dieselhejaren kan däremot vara lämplig för drivning av grova pålar i fast jord. Den till pålen överförda energin är högst ca 50% av den potentiella energin. I vissa länder (t ex Singapore) har dieselhejare förbjudits av miljöskäl. Man accepterar ej dieselavgaserna från maskinerna.

Lufthejare

Enkelverkande luft- och ånghejare är en särskild typ av fallhejare. Hejaren lyfts med hjälp av en kolv som drivs av luft eller ånga. Hejaren faller när luft- eller ångtrycket släpps. Maximalt till påle överförd energi är för denna typ av hejare ca 60% av den potentiella energin. Enkelverkande lufthejare har sällan använts i Sverige.

Dubbelverkande lufthejare har en slagkolv där lufttrycket verkar växelvis på hejarens båda sidor. Denna hejartyp används bl a för slagning av slanka stålspålar. Tyngre dubbelverkande lufthejare används för efterslagning av betongspålar, eftersom det vid efterslagning kan vara svårt att nå pålarna med pålmaskiner med fallhejare.

Hejare för slagning av slanka stålrovspålar

Vid slagning av slanka stålrovspålar användes normalt en typ av hydraul- eller tryckluftshejare, som är dubbelverkande.

Slagkolven utsätts växelvis av oljetryck eller lufttryck på kolvens fram- respektive baksida. Frekvensen för dessa hejare varierar mellan 100 och 300 slag per minut. Kolvvikten varierar mellan ca 3 och 300 kg. I Tabell 4.32:3 redovisas de på marknaden vanligast förekommande hejartyperna.

Tabell 4.32:3 Hejare för slanka stålrörspålar (Bygg & Teknik nr 7/84)

Hejar typ	Total vikt kg	Slagkolvens			
		vikt kg	längd mm	diam. mm	anslagshast. m/s
TEP 40	59	2,5	120	58	9,8
TEP 100	180	12,6	320	80	5,2
PH 5	400	55	600	122	3,1
PH 180K	820	116	720	162	3,6
PH 250K	1 700	295	990	220	3,5
MKT 3	305	31	905	75	5,5
MKT 5	680	91	864	131	5,5
MKT 6	1 315	181	864	184	6,1
MONTABERT 125	270	11,4	390	71	11,8
MONTABERT 250	550	15	407	80	13,7
KRUPP 200	400	24	530	86	8,2
KRUPP 600	650	56	727	112	8,2

4.33 Dynor

Dynans uppgift är att verka som en fjäder mellan påle och hejare och centrera slaget i pålen. På dynan placeras en så kallad slagkubb, som antingen består av hårt trä (azobé eller ek) eller något syntetiskt material. Under slagkubben finns en stålplatta med ca 50 mm tjocklek. Om pålen är av trä eller stål placeras denna platta direkt mot pålen. Om pålen är av betong placeras ett dynträ mellan plattan och pålen för att undvika att påltoppen slås sönder. Dynträet består vanligen av 50–75 mm plywood eller ihospikat trä.

Ett nytt dynträ (innan träet har fått några slag) reducerar kraftigt den spänning, som alstras av hejarslaget. Spänningen kan reduceras till enbart 10–20% av den som alstras med ett ihopslaget dynträ. Det är därför viktigt att utföra ca 300 slag på ett nyinlagt dynträ innan sjunkningsmätning utförs och användes för verifiering av pålens bärförmåga.

För ett tiotal år sedan togs den skallriksfjäderdynan fram. Den används för närvarande inte i Sverige.

4.4 Slagningsförfarande

4.41 Arbetsplatsens ordningställande

Innan pålningsarbeten påbörjas måste arbetsplatsen iordningställas så att:

- Pålmaskinen kan monteras.
- Schaktbotten bär pålmaskinen. S k stockmattor kan behöva användas som förstärkning.
- Pålmaskinen kan lyfta upp pålarna till hejaren utan skador på pålarna. Vid djupa schakter skall kran användas för att lyfta pålarna till maskinen. Om pålar dras ner för branta schaktslänter kan pålarna lätt skadas.
- Vägar finns för pålleveranser.
- Upplag för pålar finns högst ca 20 meter från pålmaskinen.
- Arbetsytan är sådan att arbetet kan utföras utan risk för arbetarna. Detta gäller särskilt urschaktade grunder. Arbetsytan kan förbättras genom utläggning av geotextil, avgrusning och/eller gjutning av grovbetong på schaktbotten.
- Släntstabiliteten vid eventuella schakter är acceptabel även efter den påverkan som orsakas av själva pålslagningen.
- Ledningar i marken eller i luften ej hindrar arbetet.

4.42 Restriktioner

Jordlagren påverkas vid pålslagning, vilket kan medföra risk för skador på befintliga byggnader på grund av vibrationer, sättningar och jordundanträngning. Genom att välja lämplig slagningsordning kan man ibland minska skaderisken. I jord som packar sig (löst lagrad friktionsjord) kan det vara lämpligt att slå pålarna närmast skaderiskområdet först. Dessa pålar kommer då att verka som armering av jorden.

I lera åstadkommer pålningen en störning i jorden som minskar dess hållfasthet. Samtidigt innebär pålningen en jordundanträngning, jfr lerproppsdragning, avsnitt 4.44. Undanträngningen av jord sker sannolikt i riktning mot den minst hållfasta jorden. Det kan därför vara lämpligt att påla intill ett skaderiskområde först, och sedan undvika pålslagning under en tid så att

jordens hållfasthet ökar. De först slagna pålarna kommer då att verka som armering av jorden.

4.43 Val av slagingsutrustning

Slagingsutrustning skall väljas så att det möjliggör slagning av pålar till avsedd bärförmåga utan att pålarna skadas. Generellt sett är det bättre att välja en tung hejare och låg fallhöjd. Den låga fallhöjden minskar risken för stora tryck- och dragpå-känningar i pålen och därmed skaderisken, jfr avsnitt 4.13. En tung hejare ökar den tid som spänningen verkar i pålen och effektiviserar därmed slagningsarbetet. Tunga hejare kräver emellertid relativt stora och tunga maskiner, vilka kan vara svåra att arbeta med och förflytta och därför oekonomiska.

För slanka stålrörspålar bör man välja en hejare vars slagkolv har en vikt som är 3 à 5 gånger pålens vikt per meter. Anslags-hastigheten bör vara 5 à 8 m/s.

Ett sätt att få underlag för valet av slagingsutrustning är att genomföra en datorsimulering av pålslagningen, innan arbetena påbörjas.

Datorsimulering av pålslagning

På marknaden finns ett antal datorprogram med vilka man kan simulera pålslagning. Det mest använda programmet har be-teckningen WEAP. Programmet är uppbyggt enligt en princip, som togs fram redan på 50- talet av Smith. Principen innebär att man gör en matematisk modell av slagingsutrustning (he-jare och dyna), påle och jord. På marknaden förekommande slagingsutrustningar finns förprogrammerade.

Datorsimulering används vid projektering av pålningsarbeten för att undersöka om det är möjligt att med de tänkta pålarna i den aktuella jorden och med tillgänglig slagingsutrustning erhålla den bärförmåga som eftersträvas, utan att spänningen blir för hög i pålmaterialet. Pålkommisionen planerar att un-der 1993 publicera en rapport som beskriver datorsimulering och ger riktlinjer för dess användning.

4.44 Val av hjälputrustning

Knektning

Om en påles kapnivå är belägen under pålmaskinens arbetsnivå kan en s k knekt användas. Knekten skall ha minst samma

akustiska impedans som pålen. För en betongpåle, som skall knektas ner med stålknekt, skall knektens tvärsnittsarea vara minst 1/4 av pålens tvärsnittsarea. För stålpålar skall knekten ha samma tvärsnittsarea som pålen. Eftersom det uppstår energiförluster mellan knekt och påle skall fallhöjden ökas med 15–20 % vid stoppslagning om knekt används.

Prylning

Pålar kan ej drivas genom tjocka fyllningar om risk finns att fyllningen skadar pålen. I sådana fall kan en s k pryl användas. Prylen kan bestå av en stål balk eller ett rör. Den kan också vara koniskt formad. Vid mindre svårforcerade fyllningar används hejaren för nedslagning av prylen och pålmaskinens fånglina till att åter dra upp den. I besvärliga fyllningar klarar ej pålmaskinen att dra upp prylen. Man kan då vara tvungen att använda vibrationshejare eller en omvänt verkande tryckluftshejare (luftuppknackare) för att dra upp prylen.

Om prylningen som arbetsmoment riskerar att skada tidigare slagna pålar bör prylningen utföras innan själva pålslagningen påbörjas.

I vissa fyllningar kan hinder (exempelvis sprängstenar) förekomma som prylen ej kan passera. I sådana fall kan förborrning erfordras. Med hjälp av foderrörborrning med ca 140 mm diameter kan stenar oftast spräckas och en vanlig betongpåle kan därefter slås. Om större stenar/block förekommer kan en stålkärna placeras i hålet. Stålkärnan fungerar då som påle.

Lerproppsdragning

Betongpålar har relativt stort "deplacement". Den lera som trängs undan vid pålningen kan medföra skador på intilliggande byggnader, jfr avsnitt 7. I sådana situationer kan det vara lämpligt att ta bort en del av leran före pålslagningen, s k lerproppsdragning.

Lerproppsrör slås eller trycks ned. Leran pressas då in i röret. Rörets nedre ände stängs med en lucka eller också användes tryckluft för att hålla leran kvar när röret åter dras upp. Eventuell friktionsjord över leran bör tas bort innan lerproppsröret ansätts. Svårigheter vid proppdragning kan även uppstå i lerans torrskorpa. Röret får då först ansättas genom torrskorpan. En ny ansättning utförs därefter i hålet genom torrskorpan.

Lerproppsrör har vanligtvis ca 270 mm diameter och ca 12 m längd. Möjligt djup för lerproppsdragning beror av lerans skjuvhållfasthet. Erfarenheter från exempelvis Göteborg visar att längre proppar än ca 8 m normalt ej kan dras upp. Detta motsvarar en uppdragen lervolym av ca 0,5 m³.

Vattenspolning

Vid påslagning i fast lagrad jord eller jord som packas (kompakteras) av själva slagningen kan det vara svårt att driva ned pålar till önskad nivå. Ett hjälpmedel kan då vara vattenspolning. Vid spolning måste dock stor försiktighet iakttas så att vattnet vid spolningen ej skapar hålrum under pålen. Spolningen reducerar pålens mantelbärförmåga och kan även reducera dess spetsbärförmåga och minska bärförmågan hos tidigare slagna närliggande pålar.

Spolmetoden bör endast användas då man av konstruktiva eller geotekniska skäl tvingas att med pålar tränga igenom ett lager av fast friktionsjord.

Banddräner på pålar

I lerjordar kan höga porvattentryck alstras av själva påslagningen. Vid ogynnsamma geotekniska förhållanden kan risk då finnas för skred. För att minska dessa risker kan pålar förses med banddräner på mantelytan. Normalt räcker det att fästa banddränen vid pålskon och sedan låta den "följa pålen" ned i jorden. Dränbandet kan alternativt fästas utefter pålsidan med hjälp av spikpistol.

4.5 Avslutande slagning

4.5.1 Stoppslagning

Det vedertagna begreppet för avslutningen av en påles slagning är "stoppslagning". Det är viktigt att slagningen avslutas när pålen erhållit tillräcklig bärförmåga. För mantelburna pålar beräknas bärförmågan med statiska beräkningsmetoder. Avgörande för bärförmågan är då pålens längd.

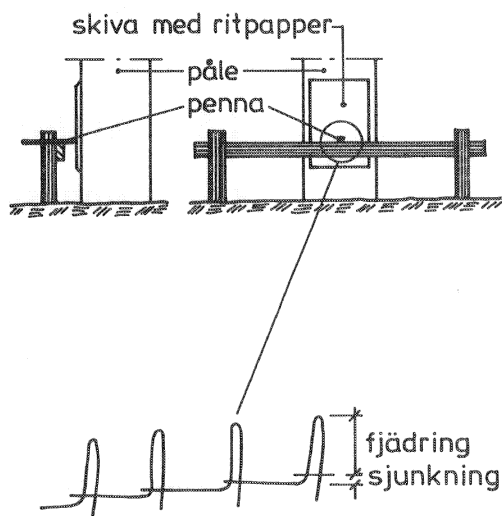
Sjunkningen vid stoppslagning används som verifikation av bärförmågan. För verifieringen tillämpas ibland stoppslagningskrav i form av generella regler (schabloner). Sjunkningen får då ej överstiga vissa erfarenhetsvärden, jfr avsnitt 6.3. Sjunkningen skall vid stoppslagningen alltid ha avtagande ten-

dens. Som regel skall stoppslagningen av en påle omfatta fem serier om tio slag.

Slagningen kan också anpassas efter de förhållanden som råder på platsen, dvs specifika stoppslagningskrav för arbetsplatsen tas då fram. För detta erfordras provpålning och dynamisk provbelastning, jfr avsnitt 9.3.

För att få information om jordens motstånd under en påles drivning kan slagräkning utföras, helst över pålens hela längd. Det finns idag olika utrustningar som automatiskt registrerar data från slagningen. En sådan utrustning är PDD (Påldrivningsdokumenteraren) som registrerar fallhöjd, antal slag och djup med hjälp av en fältdator, som är kopplad till pålmaskinen. Det finns också utrustningar som med hjälp av slagningsljudet registrerar varje slag (Saximeter). Djupet registreras av operatören. De registrerade uppgifterna kan föras över till en persondator och sedan ritas upp med plotter.

För att mäta en påles sjunkning vid stoppslagningen används vanligen ritsmarkeringar på pålen åstadkomna med ett spett. Andra metoder är att använda avvägningsinstrument eller att montera ett papper på pålen och sedan hålla en penna mot papperet under slaget. I det senare fallet registreras pålens och jordens elastiska hoptryckning och pålens permanenta sjunkning för varje slag. Detta kallas fjädringsmätning.



Figur 4.51:1 Fjädringsmätning

Slagräkning och fjädringsmätning ger värdefull information om pålens tillstånd och funktion.

Vid all mätning i samband med slagning av pålar skall stor försiktighet iakttas. I manualen för stötvågsmätningstrustning typ PDA ges följande kloka råd: ”Placera inte ditt huvud eller dina händer mellan hejare och påle. Olyckor kan hända och har hänt. Undvik att stå för nära hejare eller påle vid slagning. Fallande delar kan förorsaka allvarliga skador.”

Om pålspetsen vid slagningen når berg eller förmodat berg skall fallhöjden hållas låg (ca 0,1 m) under 300 slag för att bergdubben vid pålspetsen skall mejslas in i berget. Denna slagning kallas ”inmejsling”.

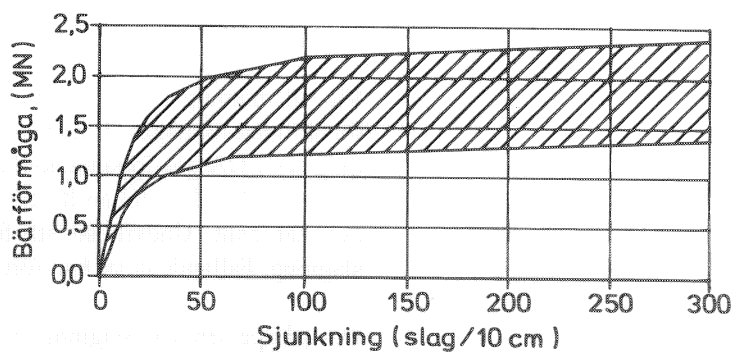
”Falskt pålstopp” är ett begrepp som ibland används när en påle vid efterslagning uppvisar större sjunkning än vid slagningens avslutning. För att begreppet falskt pålstopp skall ha någon innebörd måste man lägga en annan betydelse i ordet stopp än att pålen stannar. Undermeningen är att bärförmågan minskar vid efterslagningen. Sjunkningen är ett grovt mått på bärförmågan. Skillnader i sjunkning kan bero på skillnader i hejarens energiöverföring (kraft) till pålen mer än på variationer i jorden. I vissa jordar kan styvheten (elasticiteten) i jorden variera vid slagning och efterslagning. Om styvheten är mindre vid slagning (med samma energimängd som vid efterslagningen) kommer sjunkningen att vara mindre. Det finns jordar där relaxation (bärförmågeminskning) förekommer. Dessa jordar är dock sällsynta i Sverige. Om sjunkningen ökar vid efterslagning bör stötvågsmätning utföras vid slutet av slagningen och på första efterslaget för att utrona vad som är orsaken.

Hur variation i elastisk deformation och andel mantelfriktion vid pålslagning påverkar bärförmågan redovisas i Figur 4.51:2.

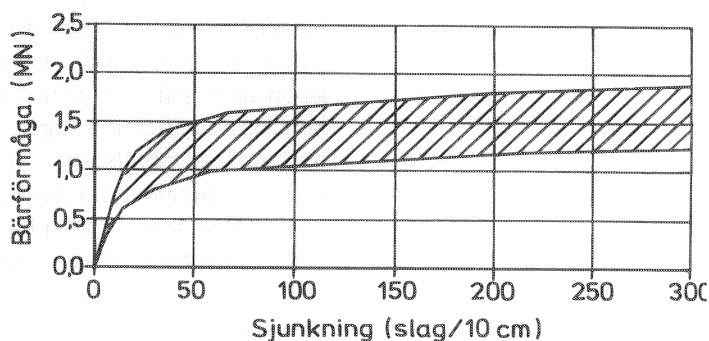
Figur 4.51:3 visar att stor spridning i bärförmåga kan erhållas vid realistiskt antagna variationer i slagningsförutsättningarna. Detta beskrivs mera detaljerat i Pålkommisionens rapport 68.

4.52 Efterslagning

Efterslagning av spetsburna pålar utförs när risk kan finnas att pålspetsen har lyfts. Detta kan inträffa exempelvis då pålarna är slagna i lera som direkt överlagrar berg. Slagning av ytterli-



Figur 4.51:2 Samband mellan bärförmåga och sjunkning vid olika elastisk deformation och andel mantelfriktion (Pålkommissionens rapport 68)



Figur 4.51:3 Samband mellan bärförmåga och sjunkning vid olika anslagshastighet, styvhet på dynrä och glapp i dyna (Pålkommissionens rapport 68)

gare pålar kan då medföra att tidigare slagna pålar lyfts. Detta kan kontrolleras genom avvägning av pålskallen dels direkt efter slagningen och dels efter det att närliggande pålar har slagits. Om pålens topp då rört sig uppåt bör pålen efterslås. Efterslagningen utförs som förnyad stoppslagning.

Pålens topp kan också röra sig uppåt på grund av såväl elastiska som plastiska deformationer i pålmaterialet. Om en påle har sprickor, säg 0,2 mm sprickvidd per meter, som är slutna vid avslutad slagning och pålen senare blir dragbelastad (på grund av hävning), motsvarar sprickorna en rörelse uppåt av 4 mm om 20 m av pålens längd är dragbelastad.

Kontroll av att jorden vid spetsen ej har relaxerat kan också utföras genom efterslagning. Om pålens sjunkning ökar vid efterslagningen bör stötvågsmätning utföras för att kontrollera om relaxation förekommer. Vid provpålning och bestämning av stoppslagning villkor för arbetsplatsen bör efterslagning utföras tidigast ett dygn efter slagningen.

Efterslagning utförs normalt vid provpålning för att kontrollera att pålens bärförmåga då ej är mindre än vid själva slagningen. Det kan också vara av ekonomiskt intresse att efterslå provpålar i friktionsjord, eftersom bärförmågan ofta växer till med tiden. Mätning vid efterslagning medför då en gynnsammare bedömning av pålens slutliga bärförmåga. Friktionspålar efterslås också för att kontrollera att slagningen av närstående pålar ej minskat dess spetsbärförmåga. Detta gäller om närstående pålar slås djupare än avståndet mellan pålarna.

4.53 Kontrollslagning

Kontrollslagning utförs i omedelbar anslutning till själva pålslagningen utan förflyttning av pålmaskinen. Denna slagning utförs för att kontrollera att pålens spets ej har rört sig vid slagning av närbelägna pålar. Speciellt gäller detta om en närbelägen påle är slagen djupare. Kontrollslagning utförs normalt med 10 slag med den för stoppslagningen aktuella fallhöjden.

