CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för geoteknik

Särtryck och preliminära rapporter
nr 6.

OM STOPPSLAGNING AV STÖDPÅLAR

Lars Hellman 1967 Omtryck 1968

INGENIÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
PÅLKOMMISSIONEN

Särtryck och preliminära rapporter
nr 6.

OM STOPPSLAGNING AV STÖDPÅLAR

Lars Hellman 1967 Omtryck 1968

Civilingenjör LARS HELLMAN:

Om stoppslagning av stödpålar

Sedan några år tillbaka har studier rörande pålslagning och pålbärighet utförts inom Ingenjörsvetenskapsakademiens pålkommitté med anslag från Statens råd för byggnadsforskning, andra statliga, kommunala och enskilda företag. I nedanstående artikel lämnar kommittens sekreterare, civ.ing. Lars Hellman, några synpunkter på ett alltid aktuellt pålslagningsproblem, stoppslagningsreglers utformning.

Allmänt

Med stödpålar avses pålar som överför huvudparten av lasten till undergrunden genom pålens spets. Friktions- och kohesionspålar, ofta benämnda "svävande pålar", överför lasten huvudsakligen genom friktion eller kohesion mot pålens mantelyta.

När man talar om stoppslagning av pålar avser man slutskedet av pålslagningen under vilket pålens beteende skall följa ett visst uppställt mönster. Vid användning av hejare av viss vikt som får falla med viss fallhöjd får pålen varaktigt sjunka ett visst maximalt belopp och ibland föreskrivs att pålens fjädring skall beaktas. Stoppslagningsregler av detta slag brukar tillämpas för stödpålar och sådana friktionspålar, som i fråga om lastöverföringssättet gränsar till stödpålar. Renodlat svävande pålar brukar slås till visst djup som i regel bestäms genom statisk provbelastning.

Konventionella slagformler

När man skall bestämma stoppslagningsregler använder man sig ofta av en s. k. slagformel som anger ett samband mellan pålbärighet, pålvikt, hejarvikt, fallhöjd, pålsjunkning och ev. pålens fjädring. Detta samband bygger i regel på en energibetraktelse:

Tillförd energi = inträngningsenergi + fjädringsenergi

$$Q_H \cdot H = P_{brott} \cdot e + P_{brott} \cdot \frac{c}{2}$$

varur

$$P_{brott} = \frac{H}{e + \frac{c}{2}} \cdot Q_H \qquad (1)$$

där

P_{brott} = den kraft som måste övervinnas för att pålen skall tränga ned i jorden = pålens brottbärighet.

H = hejarens fallhöjd.

e = pålens kvarstående inträngning per slag.

c = slagdynans, ev. knekts, pålens och jordens elastiska hoptryckning (fjädring) av hejarslaget.

För att få en praktiskt användbar slagformel måste ovan visade samband kompletteras med vissa erfarenhetsmässigt bestämda korrektionsfaktorer:

$$P_{brott} = \frac{Q_H + 0{,}25\ Q_P}{Q_H + Q_P} \cdot \frac{kH}{e + \frac{c}{2}} \cdot Q_H \qquad (2)$$

I ovanstående slagformel, den s. k. Kreügers formel, som är den hittills mest använda slagformeln i Sverige (1), har tillfogats uttrycket:

$$\frac{Q_H + 0{,}25\ Q_P}{Q_H + Q_P} \qquad (3)$$

som är baserat på rörelseenergiens fördelning efter sammanstötning av två fria elastiska kroppar (exv. biljardkulor). Eftersom pålen inte är en sådan fri kropp är det tveksamt om uttryckets uppbyggnad är lämpligt i detta sammanhang. Man har emellertid erfarenhetsmässigt funnit att slagformeln, ekv. 2, ger någorlunda god överensstämmelse med verklig bärighet om $Q_H \geqq Q_P$. Också en korrektionsfaktor för fallhöjden, k, har införts för att korrigera bruttofallhöjden H till den nettofallhöjd, kH, som vid fritt fall ger samma anslagshastighet som det bromsade fallet med bruttofallhöjden H. I Väg- och vattenbyggnadsstyrelsens bronormer anges följande värden.

k = 1,0 vid fritt fall

k = 0,8 när hejaren är upphängd i enkel medlöpande part

k = 0,5 när hejaren är upphängd i dubbel medlöpande part

Man har funnit att uppmätt fjädring i påle och jord överensstämmer relativt väl med fjädring beräknad på följande sätt när hejarvikten är större än pålens vikt:

$$c = P_{brott} \left[\left(\frac{L}{EA} \right)_{knekt} + \left(\frac{L}{EA} \right)_{påle} \right] \qquad (4)$$

där

L = pålens resp. knektens längd

E = pålens resp. knektens elasticitetsmodul
100 000 kp/kvcm för trä
300 000 kp/kvcm för betong
2 100 000 kp/kvcm för stål

A = pålens resp. knektens tvärsnittsarea

Vidare har man funnit att beräknad bärighet bäst överensstämmer med den verkliga om fallhöjden avpassas så att pålens inträngning per slag blir 0,2 à 0,3 cm för betongpålar och ca 0,5 cm för träpålar.

Kreügers formel har således under lång tid använts på ovanstående sätt med i stort sett godtagbart resultat när tillåten påkänning $\frac{P_{till}}{A_P} \approx 50$ kp/kvcm. När man under det senaste årtiondet börjat tillåta högre påkänningar och använda avsevärt längre pålar än tidigare och på dessa pålar försökt använda de gamla beprövade slagformlerna har resultatet blivit otillfredsställande. Kravet på hejarvikt $\geqq$ pålens vikt har inte kun-

nat uppfyllas och därför har alltför hög fallhöjd erhållits vid beräkning enligt slagformeln. Hög fallhöjd har emellertid lett till hög bortslagningsprocent. Man har också på empirisk väg genom provbelastningar och jämförande slagningar funnit att pålar kan slås med måttlig fallhöjd till tillfredsställande bärighet trots att hejaren väger avsevärt mindre än pålen och trots att bärigheten enligt slagformeln blir otillfredsställande. Det kan därför vara på sin plats att med ledning av framkomna resultat inom svensk pålforskning försöka förklara varför slagformeln inte fungerar bra i vissa fall och anvisa lämpliga stoppslagningsregler. Det måste då genast framhållas att de här lämnade uppgifterna är delresultat som torde komma att modifieras när kunskapen om det dynamiska beteendet hos jorden ökar.

Stötvågsteori

För att få klarare överblick över vad som händer i en påle när den träffas av ett hejarslag behövs en kort introduktion i den s. k. stötvågsteorien (2).

Med mätutrustning som kan mäta snabba förlopp har man mätt de krafter som uppstår i pålen av hejarslaget. Kraften i påltoppen av hejarens anslag orsakas av den hoptryckning som uppstår i påltoppen när hejarens rörelse bromsas upp. Man har funnnit att storleken av *den kraft som alstras i påltoppen genom hejarens anslag är i stort sett oberoende av hejarens vikt* (åtminstone när hejaren är kort och tjock). Man har också funnit att *kraften per ytenhet i pålen är i stort sett oberoende av hejarvikten.* Kraftens storlek är proportionell mot hejarens anslagshastighet, dvs. mot kvadratroten ur hejarens nettofallhöjd. För konventionell betongpålning med 3 à 4 ton hejare gäller:

$$\sigma_{\text{påltopp}} \approx 30\sqrt{kH} \qquad (5)$$

Om fallhöjden sätts in i cm, erhålls σ uttryckt i kg/kvcm. Slår man exv. med konventionell 3 ton hejare med 40 cm nettofallhöjd på en 400, 600 eller 900 kvcm påle blir spänningen i påltoppen

$$\sigma_{\text{påltopp}} \approx 30\sqrt{40\ \text{cm}} = 190\ \text{kp/kvcm}$$

Den hoptryckning som uppstår i påltoppen vid hejarens anslag fortplantas nedåt i pålen med ljudets hastighet, i betong ca 3 000 m/s och i stål ca 5 000 m/s. Hejarens hastighet bromsas inte ögonblickligt upp och därför pågår kraftöverföring mellan hejare och påle under en viss tid. Man har konstaterat vid mätningar att den tid under vilken kraft överförs mellan påle och hejare är i stort sett proportionell mot hejarvikten. Vid exv. ett slag av 3 ton hejare mot 625 kvcm betongpåle varar kraftöverföringen i ca 20/1 000 sekund. Under denna tid hinner kraften fortplantas nedåt i pålen ca 60 m. Man kan här introducera uttrycket "initialstötvågens längd" som den längd av pålen som samtidigt är belastad av krafter inducerade av ett hejarslag när kraftöverföringen mellan hejare och påle är avslutad. Initialstötvågens längd har således inte något med pålens längd att göra utan är ett mera påtagligt uttryck för stötförloppets varaktighet i en viss påltyp vid slag av en viss hejare. Initialstötvågens längd kan för betongpålar slagna med 2—5 ton hejare anges till:

$$L_{\text{stötväg}} \approx 3\ \frac{Q_H}{q_P} \qquad (6)$$

där q_p = pålens vikt per längdenhet.

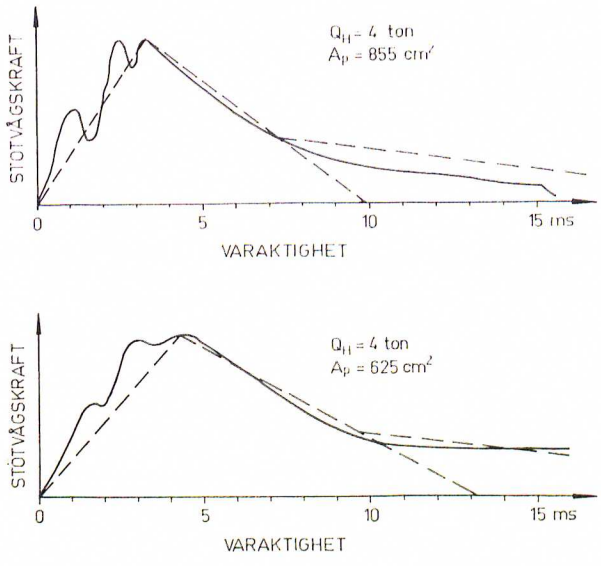

FIG 1
INITIALSTÖTVÅGENS FORM ENLIGT UPPMATNINGAR I LÅNGA PÅLAR
STRECKAD LINJE ANGER APPROXIMERAD VÅGFORM, JÄMFÖR FIG 3

Kraftens fördelning i stötvågen framgår av utvalda karakteristiska exempel från mätningar i mycket långa pålar, fig. 1. I figuren har också lagts in en schematisk initialstötvågsform som används i fortsättningen.

Stötvågen fortplantar sig ned genom pålen och når pålspetsen. Beroende på spetsmotståndet kan stötvågen reflekteras som dragvåg (litet spetsmotstånd) eller tryckvåg (stort spetsmotstånd). Däremellan finns ett motstånd som är just så stort att "stötvågen inte känner att den lämnar pålen och går ut i jorden" och i det fallet uppstår ingen reflexion. Fig. 2 visar schematiskt vilken typ av reflexionsvåg som erhålls i olika jordlagertyper när man slår en betongpåle med ca 50 cm fallhöjd med 3 à 4 ton hejare. För att förtydliga figuren visas initialstötvågen med rektangulär form. Minskas fallhöjden ändras beteendet åt höger och ökas den ändras det åt vänster på grund av minskningen resp. ökningen i stötvågens maximala kraft. Reflekteras stötvågen som tryckvåg erhålls tydlig hejarstuds om reflexvågen är tillräckligt kraftig. Hejarstudsen ger således en värdefull indikation på hur stort spetsmotståndet är.

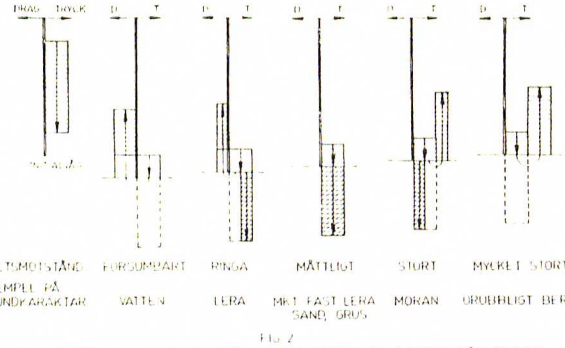

FIG 2
STÖTVÅGENS REFLEXION VID OLIKA GRUNDFÖRHÅLLANDEN UNDER PÅLSPETSEN VID NORMAL SLAGNING (CA 50 cm FALLHÖJD)

Granskning av slagformel ur stötvågsteoretisk synpunkt

Låt oss återgå till slagformeln och beräkningen av fjädringen, ekv. 4. Vid beräkningen antas att kraften är jämnt fördelad längs hela pållängden. Om pålvikten är större än hejarvikten blir den beräknade fjädringen större än den verkliga. I sådana fall bör man därför

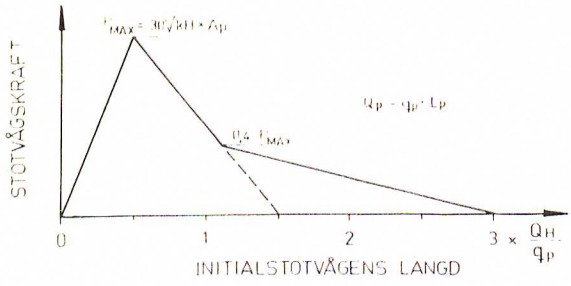

FIG 3a
SCHEMATISERAD STÖTVÅGSFORM

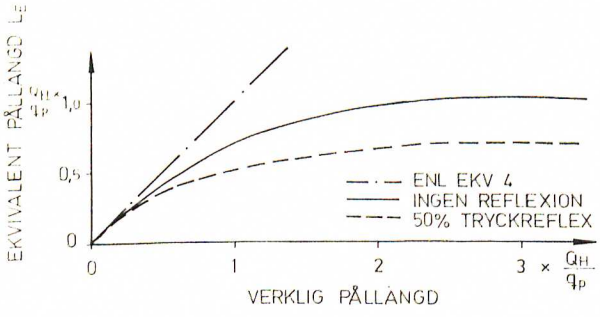

FIG 3b
SAMBAND MELLAN EKVIVALENT OCH VERKLIG PÅLLÄNGD FÖR BERÄKNING AV FJÄDRINGEN I PÅLE AV HEJARSLAG

mäta fjädringen och sätta in det uppmätta värdet i slagformeln. Man kan också beräkna fjädringen enligt ett modifierat förfarande som visas nedan.

Antag att stötvågsformen överensstämmer med den schematiska som visas i fig. 3 a. Beräkna fjädringen i pålen för den lastfördelning i pålen som ger maximal fjädring och antag till att börja med att ingen reflexion sker vid pålspetsen. Beräkna den ekvivalenta pållängd, L_E, som får samma fjädring när belastningen på längden L_E, är lika med pålens spetslast, dvs. maximal stötvågskraft. Resultatet av sådana beräkningar framgår av fig. 3 b, heldragen linje. Man kan se att relativt god överensstämmelse erhålls för pålar vilkas vikt är mindre än 0,75 à 0,5 Q_H. *För pålar med större vikt* går L_E mot ett konstant värde $\approx \frac{Q_H}{q_P}$ dvs. man skall *beräkna fjädringen på en ekvivalent pållängd, vars vikt är lika med hejarens vikt.*

Om man i stoppslagningsberäkningen bestämmer sig för en låg fallhöjd och därför en liten kvarstående sjunkning per slag uppstår sannolikt en tryckreflex vid pålspetsen. Antag t. ex. att spetskraften är 50 procent större än stötvågens maximalkraft. I fig. 3 b visas sambandet mellan ekvivalent och verklig pållängd med detta antagande, streckad linje. Man ser att överensstämmelsen med beräkning enligt ekv. 4 är mycket dålig. I detta fall borde en ekvivalent pållängd $\approx \frac{2}{3}\frac{Q_H}{q_P}$ användas för påle med stor vikt. Eftersom det är svårt att avgöra hur stor reflexen blir, blir tillämpningen av slagformeln i detta fall osäker. Det är därför som det föreskrivs i bronormerna att sjunkningen vid stoppslagningen skall väljas till 0,2 à 0,3 cm/slag, dvs. en ganska stor sjunkning så att förhållandena mera överensstämmer med fallet att ingen reflex erhålles, heldragen linje i fig. 3 b.

Uttrycket 3 i Kreügers formel ligger mellan 0,9 och 0,7 i det område där slagformeln lämnat bäst resultat. Vid stor pålvikt ger uttrycket 3 alltför stor dämpning av utförda stötvågsmätningar att döma. Dämpningsfaktorn 0,8 $\left(1-0{,}1\frac{Q_P}{Q_H}\right)$ har visat sig vara lämpligare.

Förslag till modifierad slagformel för friktions-stödpålar

I avvaktan på fortsatt forskning inom detta område föreslås att följande modifierade slagformel används med nedanstående begränsningar

$$P_{brott} = 3 \cdot P_{till} = 0{,}8\frac{kH}{c+\frac{c}{2}} Q \left(1-0{,}1\frac{Q_P}{Q_H}\right) \quad (7)$$

För betongpålar slagna med 3 à 4 ton hejare bör c väljas större än 0,2 à 0,3 cm/slag. Fjädringen c, beräknas ur uttrycket

$$c = P_{brott}\left[\left(\frac{L}{EA}\right)_{knekt} + \left(\frac{L_E}{EA}\right)_{påle}\right] \quad (8)$$

där $L_E = \frac{Q_H}{q_P}$

och $q_P = \frac{Q_P}{L_P}$

Värdet L_E insättes vid beräkningen av c oberoende av pållängden, således även för pålar med längd mindre än L_E .Skälet härtill är att säkerhetsfaktorn

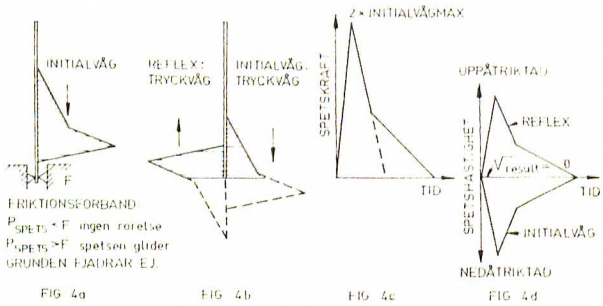

FIG 4a BERÄKNINGSMODELL
FIG 4b REFLEXION
FIG 4c KRAFT-TIDDIAGRAM FÖR PÅLSPETSEN
FIG 4d HASTIGHETS-TIDDIAGRAM FÖR PÅLSPETSEN

FIG 4a–d SLAGNING MOT OBRUBBLIGT UNDERLAG

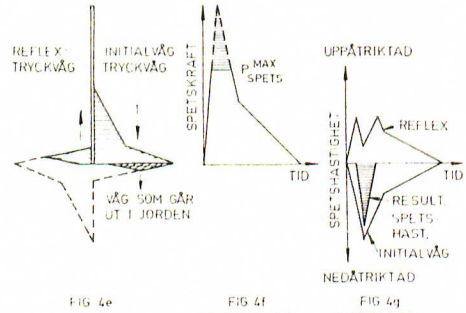

FIG 4e REFLEXION
FIG 4f KRAFT-TIDDIAGRAM FÖR PÅLSPETSEN
FIG 4g HASTIGHETS-TIDDIAGRAM FÖR PÅLSPETSEN

FIG 4e–g SLAGNING I FAST JORD

bör vara högre för korta pålar, vilka överför pållasten till grunden enbart genom pålspetsen till skillnad från långa pålar som i regel har en extra säkerhet i mantelbärighet.

Slagformel bör således endast användas för pålar i gränsområdet mellan friktions- och stödpålning. För renodlade stödpålar med hög tillåten last måste andra regler tillämpas.

Utkast till stoppslagningsregler enligt stötvågsteori

I det följande redovisas kortfattat en på stötvågsteorien baserad beräkningsmetod för stoppslagningsbestämning. En starkt förenklad modell används där fjädringen i jorden under pålspetsen ses bort från dvs. spetsmotståndet antas vara idealplastiskt, fig. 4 a. Stötvågen antas ha den schematiserade form som visas i fig. 3 a. Dämpningen av stötvågen har antagits vara 0,5 procent av stötvågskraften per meter som vågen fortplantas i pålen.

Stötvågsteorien grundar sig på att direkt proportionalitet råder mellan spänningen i pålen och partikelhastighetsändringen som orsakas av hejarslaget

$$\sigma = \triangle v_P \left(\frac{E}{c} \right)_{\text{påle}} \qquad (9)$$

där $\triangle v_P$ = partikelhastighetsändringen

E_P = pålens elasticitetsmodul

$\approx$ 300 000 kg/kvcm i betong

c = stötvågens fortplantningshastighet

$\approx$ 300 000 cm/s i betong

dvs. $\sigma = \triangle v_P$ för betongpåle

Pålspetsens inträngning per slag blir

$$s = \int_{t=t_1}^{t=t_2} v_P^{\text{spets}} \, dt \qquad (10)$$

där $t_2 - t_1$ är den tidrymd under vilken pålspetsen tränger in i jorden.

Spänningen i pålspetsen kan skrivas

$$\sigma_{\text{spets}} = \sigma_{\text{initialvåg}} + \sigma_{\text{reflex}} \qquad (11)$$

Eftersom initialvågens partikelhastighet är riktad nedåt och reflexens partikelhastighet riktad uppåt vid tryckreflex blir inträngningen

$$s = \int_{t=t_1}^{t=t_2} \left(v_{P\ \text{initialvåg}} - v_{P\ \text{reflex}} \right) dt$$

I fig. 4 visas hur pålspetsens inträngning per slag bestäms, fig. 4 a antagen initialvågform liksom i fig. 3 a, fig. 4 b reflexion mot orubbligt underlag där reflexvågen får samma form som initialvågen, fig. 4 c resulterande spetskrafts variation med tiden. Spetskraften är summan av initialvåg och reflexvåg (max. spetskraft = 2 × max. initialvågskraft). I fig. 4 d visas samband mellan tid och spetsens resulterande hastighet som i detta fall blir noll eftersom initialvågens nedåtriktade partikelhastighet kompenseras av reflexvågens uppåtriktade partikelhastighet. Denna hastighet är lika stor som initialvågens partikelhastighet.

I fig. 4 e—g är spetsmotståndet mindre än 2 × max. initialvågkraft, vilket medför att toppen kapas på den reflekterade vågen, fig. 4 e och f. Resulterande spetshastighet, fig. 4 g, blir skillnaden mellan nedåt riktad partikelhastighet hos initialvågen och uppåtriktad partikelhastighet hos reflexvågen. Triangeln som representerar storlek och varaktighet av den nedåt riktade resulterande spetshastigheten är likformig med den avkapade toppen i fig. 4 f. Den skuggade ytan i fig. 4 g är lika med spetsens totala rörelse av hejarslaget enligt ekv. 10, dvs.

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v_{\text{spets}} \cdot dt = \frac{2\sigma^{\max}_{\text{initialvåg}} - \sigma^{\max}_{\text{spets}}}{2} (t_2 - t_1)$$

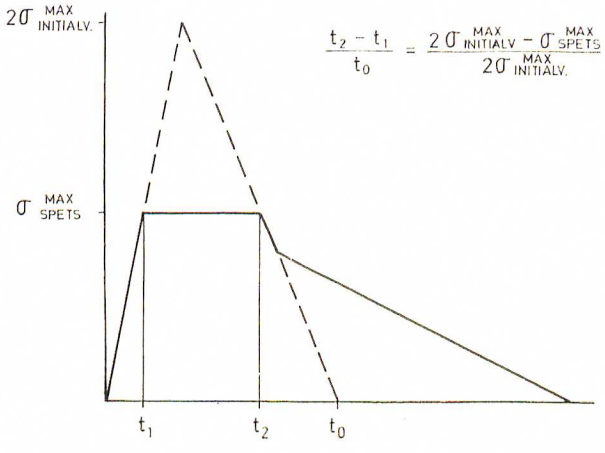

FIG 5
HJÄLPFIGUR FÖR BERÄKNING AV PÅLES SJUNKNING

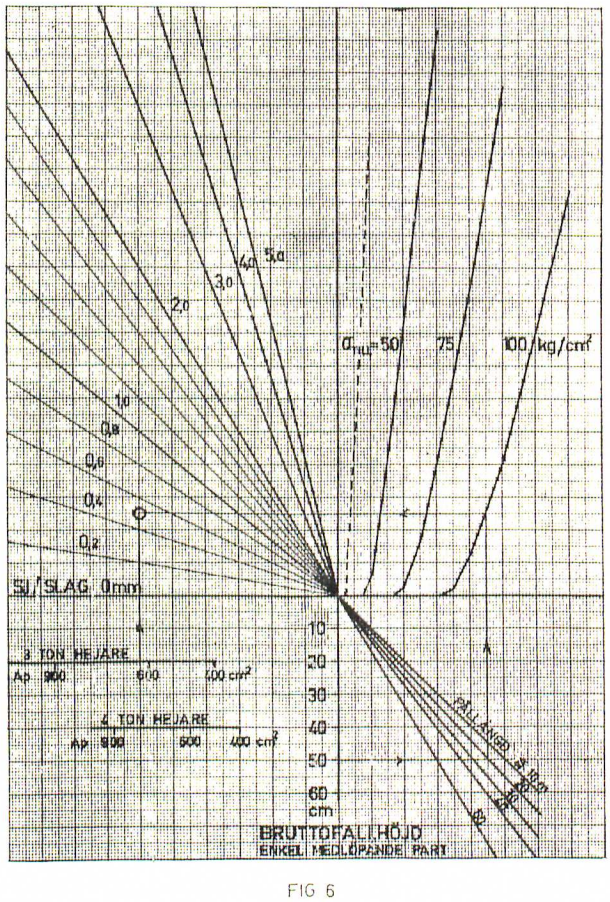

FIG 6
STOPPSLAGNINGSDIAGRAM FÖR STODPÅLAR AV BETONG (PRINCIPSKISS).

Med hjälp av likformiga trianglar i fig. 5 kan uttrycket omskrivas till

$$s = \frac{t_o}{2} \frac{(2\ \sigma^{max}_{initialväg} - \sigma^{max}_{spets})^2}{2\ \sigma^{max}_{initialväg}} \qquad (12)$$

välj $\sigma^{max}_{spets} = 3\ \sigma_{till}$ (13)

Enligt ovan är $t_o = \frac{1{,}5\ Q_H}{q_p\ 300000} = 5 \cdot 10^{-6} \frac{Q_H}{q_p}$

$$\sigma^{max}_{initialväg} = 30\sqrt{kH}$$

Dessa värden ger

$$s = 1{,}25 \cdot 10^{-6} \frac{Q_H}{q_p} \frac{(60\sqrt{kH} - 3\sigma_{till})^2}{30\sqrt{kH}} \qquad (14)$$

Innebörden av ekv. 14 visas i ett nomogram, se fig. 6.

I nedanstående tabell 1, hämtad från material som diskuterats i pågående pålnormarbete (febr. 1967) anges lämpliga stoppslagningsregler för stödpålar i husbyggnader. Det bör noteras att stoppslagningsreglerna avses gälla för betongpålar oberoende av pålarnas tvärsnittsarea.

TABELL 1
STOPPSLAGNINGSKRAV FÖR STÖDPÅLAR AV BETONG VID SLAGNING MED FALLHEJARE UPPHÄNGD I ENKEL NEDLÖPANDE PART

Tillåten last Mp	*Max. tillåten sjunkning i mm per 10 slag vid hejarvikt* 3 ton	4 ton	*Fallhöjd i cm vid pållängd ca* 10 m	25 m	50 m
30	15	20	30	40	—
45	10	13	40	50	60
60	5	7	50	50	60

Motsvarande stoppslagningsregler enligt nomogrammet fig. 6 framgår av tabell 2.

I vidstående tabeller 3 och 4 visas en jämförelse mellan äldre och nya stoppslagningsregler. Tabell 3 upptar stoppslagningsvillkor för grova pålar (A_p = 900 kvcm) enligt BABS 1960 och tabell 4 stoppslagningsvillkor för pålar med förhöjd last (jämfört med BABS 1960) enligt Byggnadsstyrelsens "provisoriska anvisningar för stödpålar av betong K 500" sept. 1963 och "Provisoriska normer för inom Göteborgs stad slagna speciella stödpålar av betong", mars 1964. Mot dessa gällande normer ställs normförslaget, tabell 1, och värden erhållna ur nomogrammet. fig. 6.

TABELL 3
JÄMFÖRELSE MELLAN STOPPSLAGNINGSVILLKOR ENLIGT OLIKA KÄLLOR
900 cm betongpåle, 3 ton hejare, 45 Mp tillåten last

Pållängd m	*Sjunkning mm/10 slag*	*Fallhöjd, cm, enligt BABS 1960*	*Normförslag (tabell 1)*	*Nomogram (fig. 6)*
15	15	50		25
	10		~ 45	20
30	15	(90)		30
	10	—	~ 50	25

TABELL 4
JÄMFÖRELSE MELLAN STOPPSLAGNINGSVILLKOR ENLIGT OLIKA KÄLLOR
625 kvcm betongpålar, 3 ton hejare, 40 Mp tillåten last

Pållängd m	*Sjunkning mm/10 slag*	*Fallhöjd, cm, enligt Prov.anv. 1963*	*Göteborgs-norm.*	*Normförslag (tabell 1) (till last 45 Mp)*	*Nomogram (fig. 6)*
15	10			40	30
	5	40			25
	4		~35		20
30	10			50	30
	5	75			25
	4		~35		25

Tabellerna visar att en utveckling sker mot lägre fallhöjder speciellt för långa pålar och mot mildare stoppslagningsregler för grova pålar jämfört med slankare pålar.

Väljer man en låg fallhöjd måste man emellertid vara medveten om att fallhöjden normalt inte kan hållas noggrannare än på ca 10 cm när. Inverkan av osäkerheten i fallhöjden på pålens bärförmåga kan belysas av fig. 7 och tabell 5, som är uppbyggd på nomogrammet i fig. 6.

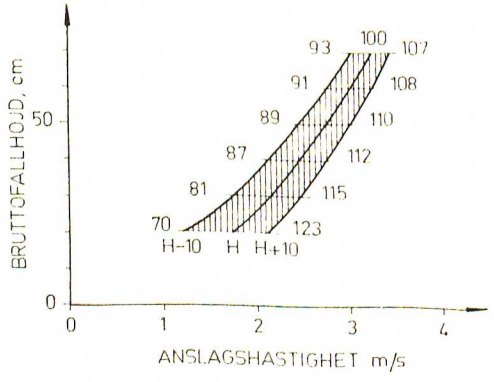

FIG 7
SAMBAND MELLAN FÖRESKRIVEN FALLHÖJD OCH VERKLIG ANSLAGSHASTIGHET OM k = 0,8 OCH VERKLIG FALLHÖJD AVVIKER ± 10 cm FRÅN FÖRESKRIVEN FALLHÖJD. SIFFERVÄRDENA ANGER VERKLIG BÄRIGHET UTTRYCKT I PROCENT AV AVSEDD BÄRIGHET NÄR FALLHÖJDEN AVVIKER ± 10 cm OM SAMMA SJUNKNINGSKRAV TILLÄMPAS

TABELL 2

Tillåten last Mp	*Max. tillåten sjunkning mm/10 slag vid hejarvikt* 3 ton	4 ton	*Fallhöjd, cm, vid pållängd, m, och tvärsnittsarea, kvcm* *pållängd 10* 400	600	900	*25* 400	600	900	*50* 400	600	900 kvcm
30	15	20	30	20	—	45	20	—	50	30	—
45	10	13	(50)	30	20	(60)	40	20	(80)	50	30
60	5	7	—	45	25	—	50	30	—	(65)	40

TABELL 5

INVERKAN AV 10 CM ÖKNING RESP. MINSKNING AV FALLHÖJDEN PÅ SJUNKNINGEN PER SLAG VID SLAGNING MED 3 TON HEJARE PÅ KORT 625 KVCM PÄLE ENLIGT FIG. 6 NÄR VISS BÄRIGHET EFTERSTRÄVAS

Föreskriven fallhöjd cm	*Sjunkning/slag, mm vid föreskriven fallhöjd*			*föreskriven fallhöjd — 10 cm*			*föreskriven fallhöjd + 10 cm*		
	σ till 50	75	100	σ till 50	75	100	σ till 50	75	100
60			1,60			0,84			2,60
50			0,84			0,24			1,60
40			0,24			0			0,84
30		0,80			0,04			1,92	
20	1,68			0,12			3,50		

Av tabell 5 framgår att en måttlig variation i fallhöjden leder till väsentligt större variation i påles sjunkning per slag om viss bärighet eftersträvas. I fig. 7 visas effekten av en systematisk avvikelse i fallhöjden med ± 10 cm på pålens bärförmåga om avvikelsen inte uppmärksammas. Föreskrivs exv. 30 cm fallhöjd men verklig fallhöjd i stoppslagningsskedet blir 20 cm, får pålen bara ca 80 procent av avsedd bärighet om kravet på pålens sjunkning inte förändras, dvs. säkerhetsfaktorn sjunker från exv. 3 till 2,4. Systematiska fel kan uppstå om exv. kranunderhållet eftersätts eller om massträgheten i lina och lintrumma ökar exv. genom att extra lång lina insättes. Av ovanstående framgår att ett av de för närvarande mest angelägna behoven på pålningsområdet är en lämplig anslagshastighetsmätare för hejaren så att maskinist och kontrollant kan kontrollera att effektiv fallhöjd under stoppslagningen svarar mot uppställda krav.

En annan faktor av betydelse för bärigheten hos en stödpåle är slagdynans och mellanläggets egenskaper under stoppslagningsskedet. Genom byte av hårt slaget mellanlägg till nytt mjukt (exv. 3 lag 1″ furubrädor) kan pålens sjunkning minska till 1/4 à 1/5 av sjunkningen när hårt mellanlägg används under i övrigt identiska förhållanden. I avvaktan på lämpligare utformade slagdynor bör man föreskriva att det mellanlägg som används vid stoppslagningen får bestå av max. 3 lag 1″ furubrädor och att mellanlägget innan stoppslagningens början erhållit minst 300 slag med minst ca 40 cm fallhöjd.

Som framgår av ovan finns det angelägna forskningsuppgifter och apparatutvecklingsarbeten inom stödpålningsområdet. Tack vare intresserad medverkan genom insats av arbete eller kontanta medel har en i förhållande till nedlagda kostnader avsevärd forskningsinsats utförts inom Ingenjörsvetenskapsakademiens pålkommitté. Man kan hoppas att insikten om betydelsen av pågående pålforskning är så klar att insatserna inte minskas när nu byggnadsbranschen drabbas av ett kärvare klimat.

Litteratur

(1) Väg- och vattenbyggnadsstyrelsens bronormer.

(2) *Hans Chr. Fischer* & *Lars Hellman*. Pålslagningen och stötvågsteorin. Väg- och vattenbyggaren 9 (1963) nr 1.