



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

No. 41

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA RAPPORTER

REPRINTS AND PRELIMINARY REPORTS

Supplement to the "Proceedings" and "Meddelanden" of the Institute

**Stålpålars bärförmåga. Resultat av fält-
försök med lätta slagdon**

Gunnar Fjelkner



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

No. 41

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA RAPPORTER

REPRINTS AND PRELIMINARY REPORTS

Supplement to the "Proceedings" and "Meddelanden" of the Institute

Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon

Gunnar Fjelkner

Inom pålningstekniken har stålplålar använts i relativt liten omfattning, bl a beroende på avsaknaden av normer. För att vidga kunskapen inom detta område har IVA:s pålkommission tagit upp hithörande frågor på sitt program inom en speciell arbetsgrupp, benämnd "Lätta slagdonsgruppen". En av intressenterna är Statens Geotekniska Institut som tillsammans med några andra företag ställt resurser till förfogande för genomförande av undersökningsprogrammet.

I föreliggande publikation presenteras resultaten av fältförsök för bestämning av stålplålar bärformåga. Författaren till rapporten, civilingenjör Gunnar Fjelkner, har vid institutet varit sysselsatt med arbetet sedan 1967. Arbetet inom nämnda grupp skall fortsättas med undersökningar för betongplålar slagna med lätta slagdon.

Det är institutets förhoppning att de erhållna resultaten skall ge impuls till ökad användning av stålplålar, varigenom ytterligare erfarenheter inom detta område kan erhållas.

Stockholm i maj 1971

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

FÖRORD

På uppdrag av IVA:s pålkommission har undertecknad utfört föreliggande utredning, vars avsikt varit att undersöka bärförmågan hos stålpålar slagna med lätta slagdon, t ex lätta dubbelverkande trycklufthejare. Under utredningen, som pågått med vissa avbrott sedan år 1967, har undertecknad fått råd och vägledning av en arbetsgrupp, den s k lätta slagdonsgruppen vid IVA:s pålkommission. Gruppen har bestått av överdirektör Bengt B. Broms, Statens geotekniska institut, professor Hans Christian Fischer, Fysikum, Uppsala, civilingenjör Lars Hellman, Orrje & Co - Scandiaconsult samt civilingenjör Carl Helmer Silfwerbrand, Stockholms Stads Gatukontor. Databehandlingen av resultaten har utförts av civilingenjör, fil.lic. Lennart Vilander, Fysikum, Uppsala.

Följande företag har bidragit till försöken genom att upplåta arbetsplatser, maskiner, personal etc

- Atlas Copco AB
- Nya Asfalt AB
- Stockholms Stads Gatukontor
- Stabilator AB
- Statens Geotekniska Institut.

Till ovannämnda personer och företag framför undertecknad sitt varma tack.

Stockholm i april 1971

Gunnar Fjellner

III

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sid
SAMMANFATTNING	VII
SYMBOLER	IX
INLEDNING	1
TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR	3
BESKRIVNING AV FÄLTFÖRSÖK VID HOVSTA, ÖREBRO LÄN	5
Allmänt	5
Grundförhållanden på försöksplatsen	5
Anordningar på försöksplatsen	9
Utrustning för stötvågsmätning	10
Utrustning för sjunkningsmätning	15
Tryckluftkoppling samt utrustning för mätning av luftflöde, lufttryck och slagtal	17
Utrustning för provbelastning	18
Pålar	21
Hejare	25
Slagning och uppdragning av pålar	30
Kalibreringar	36
RESULTAT AV FÄLTFÖRSÖK VID HOVSTA, ÖREBRO LÄN, OCH TEGELBACKEN, STOCKHOLMS STAD	38
Slagningsdiagram och slagningsdata	38
Allmänt om stötvågor	39
Digitalisering av stötvågor	40
Databehandling av stötvågor	41
Sammanställning av stötvågsdata	42
Resultat av stötvågsmätningar	44
Resultat av provbelastningar vid Hovsta	51
PÅLFORMEL FÖR LÄTTA SLAGDON PÅ STÅLPÅLAR	54
Allmänt	54
Härledning av pålformel	55

IV

	Sid
BESTÄMNING AV PARAMETRARN I PÅLFORMELN	65
Allmänt	65
Bestämning av dämpningen P_d	65
Bestämning av koefficienten k_v	67
Bestämning av initialenergin W_i	67
Bestämning av återfjädringen f_c	69
Bestämning av effektiva anslagshastigheten $\eta \cdot v_o$	70
Bestämning av spetsmotståndskvoten α	72
SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	74
ÖNSKVÄRDA FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	83
LITTERATURFÖRTECKNING	84
BILAGA 1	Kalibreringar
BILAGA 2	Slagningsdiagram från försöksplatsen vid Hovsta
BILAGA 3	Sammanställning av slagningsdata från försöksplatsen vid Hovsta
BILAGA 4	Exempel på resultatutskrift från dator
BILAGA 5	Sammanställning av stötvågsdata från försöksplatserna vid Hovsta och Tegelbacken
BILAGA 6	Provbelastningsdiagram
BILAGA 7	Sammanställning av provbelastningsresultat
BILAGA 8	Uppmätta värden på dämpningen P_d
BILAGA 9	Uppmätta värden på koefficienterna k_v och f_c
BILAGA 10	Uppmätta värden på koefficienterna W_i och $\eta \cdot v_o$
BILAGA 11	Samband mellan beräknade och uppmätta värden

CONTENTS	Page
SUMMARY	XI
SYMBOLS	XIII
INTRODUCTION	1
PREVIOUS INVESTIGATIONS	3
DESCRIPTION OF FIELD TESTS AT HOVSTA, ÖREBRO COUNTY	5
General	5
Geotechnical description of test site	5
Description of test set-up	9
Apparatus for stress wave measurements	10
Apparatus for settlement measurements	15
Pneumatic connections and apparatus for air flow, air pressure and blows per minute measurements	17
Description of load tests	18
Piles	21
Hammers	25
Driving and extraction of piles	30
Calibrations	36
RESULTS FROM FIELD TESTS AT HOVSTA, ÖREBRO COUNTY, AND TEGELBACKEN, CITY OF STOCKHOLM	38
Driving diagram and data	38
General comments about stress waves	39
Digitalising of stress waves	40
Stress wave computations	41
Compilation of stress wave data	42
Preliminary interpretation of stress wave measurements	44
Results of load tests at Hovsta	51
PILING FORMULA FOR LIGHT HAMMERS ON STEEL PILES	54
General	54
Derivation of piling formula	55

VI

	Page
CALCULATION OF THE PARAMETERS IN THE PILING FORMULA	65
General	65
Calculation of the damping P_d	65
Calculation of the coefficient k_v	67
Calculation of the initial energy W_i	67
Calculation of the recovery f_c	69
Calculation of the net striking velocity $\eta \cdot v_o$	70
Calculation of the point-resistance quotient α	72
CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	74
SUGGESTIONS FOR FURTHER RESEARCH	83
REFERENCES	84

APPENDIX	1	Calibrations
APPENDIX	2	Ramming diagram from the test site at Hovsta
APPENDIX	3	Compilation of ramming data from the test site at Hovsta
APPENDIX	4	Example of computer output
APPENDIX	5	Compilation of stress wave data from the test sites at Hovsta and Tegelbacken
APPENDIX	6	Diagrams from load tests
APPENDIX	7	Compilation of results from load tests
APPENDIX	8	Measured values of the damping P_d
APPENDIX	9	Measured values of the coefficients k_v and f_c
APPENDIX	10	Measured values of the coefficients W_i and $\eta \cdot v_o$
APPENDIX	11	Correlation between calculated and measured values

SAMMANFATTNING

I föreliggande publikation redovisas resultat av stötvågsmätningar på stålpålar slagna med lätta slagdon, t ex lätta dubbelverkande trycklufthejare. Sammanlagt har 11 stålpålar undersökts på två försöksplatser. Pålarna hade 35 och 121 cm² tvärsnittsarea och slogs med 7 olika typer av trycklufthejare med kolvikter varierande mellan 35 och 363 kg. Som en jämförelse slogs även en påle med en 2,2 tons fallhejare.

I vanliga fall beräknar man en påles brottlaster med hjälp av pålformler som bygger på energibetraktelser, som t ex Kreügers formel. Föreliggande undersökning har visat att man med dessa formler väsentligt underskattar spetsmotståndet när slagdonet har låg vikt. Därför har en ny pålformel föreslagits. Formeln baserar sig på stötvågsteorien under antagande av idealiserade stötvågor. För de stålpålar och trycklufthejare som studerats i föreliggande undersökning har formeln visat sig ge god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta värden.

Förutom stötvågsmätningar har undersökningen även omfattat ett antal provbelastningar för att söka finna ett samband mellan de statiska och dynamiska spetsmotstånden. I vanliga pålformler antar man att det statiska spetsmotståndet är lika stort som det dynamiska. Provbekastningarna har emellertid visat att så ej alltid är fallet. Vid hård slagning (sjunkning ca 5 mm/min) av stålpålar med lätta trycklufthejare har vid undersökningarna erhållits statiska spetsmotstånd som är mer än 50% högre än de dynamiska.

SYMBOLER

A_h	=	hejarens (slagkolvens) tvärsnittsarea i nederdelen
A_p	=	pålens tvärsnittsarea
c_h	=	ljudhastighet i hejaren
c_p	=	ljudhastighet i pålen
E_h	=	hejarens elasticitetsmodul
E_p	=	pålens elasticitetsmodul
e	=	uppmätt sjunkning hos pålen under slagning
f_c	=	återfjädring av påspetsen mellan två slag
g	=	jordaccelerationen
h	=	bruttofallhöjd
k	=	faktor beroende på fallhejarens upphängningssätt
k_v	=	förlängning av reflexvågen i förhållande till initialvågen
l_j	=	pålens längd i jord
M_d	=	dämpmodul
O_p	=	pålens omkrets
P_{brott}	=	statiskt spetsmotstånd (brottlast)
P_d	=	dämpning av initialvågens amplitud
$P_{i, sk}$	=	maximal kraft i initialvågen vid pålskallen
$P_{i, sk, teor}$	=	maximal kraft i initialvågen vid pålskallen beräknad enligt stötvågsteorin
$P_{i, sp}$	=	maximal kraft i initialvågen vid påspetsen
$P_{r, d, sk}$	=	maximal dragkraft i reflexvågen vid pålskallen
$P_{r, d, sp}$	=	maximal dragkraft i reflexvågen vid påspetsen
$P_{r, t, sk}$	=	maximal tryckkraft i reflexvågen vid pålskallen
$P_{r, t, sp}$	=	maximal tryckkraft i reflexvågen vid påspetsen
P_{sp}	=	dynamiskt spetsmotstånd, dvs amplitud hos stötpulsen vid påspetsen

$p_{i,sk}(t)$	= kraft i initialvågen vid pålskallen som funktion av tid
$p_{i,sp}(t)$	= kraft i initialvågen vid påspetsen som funktion av tid
$p_{r,sk}(t)$	= kraft i reflexvågen vid pålskallen som funktion av tid
$p_{r,sp}(t)$	= kraft i reflexvågen vid påspetsen som funktion av tid
$p_{sp}(t)$	= dynamiskt spetsmotstånd som funktion av tid
$p_{sp}(t)_{MN, etc}$	= dynamiskt spetsmotstånd under sträckan MN, etc, som funktion av tid
Q_h	= hejarens (slagkolvens) vikt
q	= lufttillförsel till trycklufthejaren
$s_{sp}(t)$	= påspetsens rörelse som funktion av tid
S_{sp}	= påspetsens totala rörelse under stötpulsen
$S_{sp,ST, etc}$	= påspetsens rörelse under sträckan ST, etc
t	= tid
t_i	= varaktighet hos initialvågen
$t_{r,d}$	= varaktighet hos reflexvågens dragvåg
$t_{r,t}$	= varaktighet hos reflexvågens tryckvåg
v_o	= hejarens (slagkolvens) anslagshastighet
$v_{i,sk}(t)$	= partikelhastighet i initialvågen vid pålskallen som funktion av tid
$v_{sp}(t)$	= partikelhastighet vid påspetsen som funktion av tid
$v_{sp}(t)_{ST, etc}$	= partikelhastighet vid påspetsen som funktion av tid under sträckan ST, etc
W_i	= energi i initialvågen
η	= dämpning av initialvågens maximala kraft beroende på förluster i slagdyna etc
α	= kvot mellan statiskt och dynamiskt spetsmotstånd

SUMMARY

BEARING CAPACITY OF STEEL PILES

Result of field tests with light hammers

Gunnar Fjellkner, civil engineer, Swedish Geotechnical Institute

This bulletin reports the results of stress wave measurements on steel piles driven with light hammers, i. e., light double-acting air hammers. A total of 11 steel piles were investigated at two sites. The piles had cross sectional areas of 35 and 121 cm² (5.6 and 19.4 in.²) and were driven with 7 different air hammers with piston weights varying between 35 and 363 kg (77 and 800 lb). In addition, one pile was driven with a 2.2 metric ton drop hammer.

The usual way to calculate the bearing capacity of a pile is to use driving formulas based on the energy principle. The investigation indicates that these formulas considerably underestimate the point resistance when the weight of the ram or the piston is small. Thus a new driving formula which is based on the stress wave theory is proposed. The point resistances calculated by the proposed formula are in good agreement with the measured values.

Besides stress wave measurements the investigation also involved a number of load tests in an attempt to find the relationship between the static and the dynamic point resistances. In the usual driving formulas it is assumed that the static and dynamic point resistances are equal. However, the load tests have shown that this is not the case. When driving steel piles with light air hammers to a small penetration (approximately 5 mm/min or 0.2 in/min) the results indicate that the static point resistance is more than 50% higher than the dynamic point resistance.

XIII

SYMBOLS

A_h	= cross sectional area of lower part of the ram
A_p	= cross sectional area of the pile
c_h	= velocity of sound in the ram
c_p	= velocity of sound in the pile
E_h	= Young's modulus of the ram
E_p	= Young's modulus of the pile
e	= measured settlement of the pile during driving
f_c	= recovery of the pile point between successive blows
g	= acceleration of gravity
h	= gross height of fall
k	= energy loss coefficient for the height of fall
k_v	= extension of the reflexion wave compared to the initial wave
l_j	= lenght of the pile in soil
M_d	= damping modulus
O_p	= circumference of the pile
P_{brott}	= ultimate bearing capacity
P_d	= damping of amplitude of the initial wave
$P_{i,sk}$	= maximum compression force of the initial wave at the pile top
$P_{i,sk,teor}$	= maximum compression force of the initial wave at the pile top calculated according to the stress wave theory
$P_{i,sp}$	= maximum compression force of the initial wave at the pile point
$P_{r,d,sk}$	= maximum tension force of the reflexion wave at the pile top
$P_{r,d,sp}$	= maximum tension force of the reflexion wave at the pile point
$P_{r,t,sk}$	= maximum compression force of the reflexion wave at the pile top

XIV

$P_{r,t,sp}$	= maximum compression force of the reflexion wave at the pile point
P_{sp}	= dynamic point resistance
$p_{i,sk}(t)$	= force of the initial wave at the pile top as a function of time
$p_{i,sp}(t)$	= force of the initial wave at the pile point as a function of time
$p_{r,sk}(t)$	= force of the reflexion wave at the pile top as a function of time
$p_{r,sp}(t)$	= force of the reflexion wave at the pile point as a function of time
$p_{sp}(t)$	= dynamic point resistance as a function of time
$p_{sp}(t)$ MN, etc	= dynamic point resistance in the distance MN, etc, as a function of time
Q_h	= weight of the ram
q	= air flow to the hammer
$s_{sp}(t)$	= movement of the pile point as a function of time
S_{sp}	= total movement of the pile point during the stress wave
$S_{sp,ST}$, etc	= movement of the pile point in the distance ST, etc
t	= time
t_i	= duration of the initial wave
$t_{r,d}$	= duration of tension part of the reflexion wave
$t_{r,t}$	= duration of compression part of the reflexion wave
v_o	= striking velocity of the ram
$v_{i,sk}(t)$	= particle velocity during the initial wave at the pile top as a function of time
$v_{sp}(t)$	= particle velocity at the pile point as a function of time
$v_{sp}(t)$ ST, etc	= particle velocity at the pile point as a function of time in the distance ST, etc
W_i	= energy of the initial wave
η	= damping of maximum compression force of the initial wave due to losses in cap etc
α	= quotient of dynamic and static point resistances

STÅLPÅLARS BÄRFÖRMÅGA

Resultat av fältförsök med lätta slagdon

Civilingenjör Gunnar Fjellmer, Statens Geotekniska Institut

INLEDNING

Enligt IVA:s Pålkommissions pålningsstatistik slogs 160.000 m stålplålar i Sverige under år 1968, vilket utgjorde ca 5% av det totala antalet slagna pål-meter. Uppskattningsvis motsvarar detta en årlig kostnad på ca 5 miljoner kronor. Att andelen stålplålar av den totala pålningsvolymen är så liten beror till stor del på att de tillåtna lasterna är relativt låga.

Trots detta används stålplålar ofta vid mindre byggnader eftersom metoden att slå stålplålar med lätta slagdon^{x)} innebär relativt låga etableringskostnader, vilket blir utslagsgivande när pålningsvolymen är liten. Förutom ovannämnda huvudsakliga användningsområde förekommer stålplålar även på platser där man vill begränsa massundanträngningen kring pålarna för att därigenom minska risken för skador på intilliggande byggnader, samt minska risken för skred i slänter där säkerheten är otillfredsställande på platser där man har besvärliga grundförhållanden med blockig jord, som orsakar en hög bortslagningsprocent vid pålning med betongplålar vid provisoriska byggnader eftersom man där ofta ansett sig kunna tillåta högre påkänningar än vid permanenta byggnader bl a beroende på att man ej i samma utsträckning behöver ta hänsyn till korrosion.

I Sverige förekommer många olika typer av stålplålar med högst varierande form och storlek hos tvärsnittsytan. Tvärsnittet kan vara runt, fyrkantigt,

x) Definition på lätta slagdon: slagkolvens vikt är mindre än pålens vikt — vid trycklufthejare är kolvvikten av storleksordningen en tiondel av pålens vikt.

massivt, ihåligt, format som balk, räls etc. Arean är vanligen mellan 30 och 50 cm². I några fall har man använt stålplåtar med endast 8 cm² tvärsnittsarea, vilket emellertid visat sig vara riskabelt om inte kontrollen på arbetsplatsen varit mycket noggrann. Även grövre stålplåtar bestående av massiva valsämnen med upp till 150 cm² tvärsnittsarea är ej ovanliga.

Stålplåtar skarvas antingen genom svetsning eller med skarvjärn, det senare speciellt vid rälsplåtar. Det har ofta diskuterats vilken metod som är att föredra; vissa anser att den svetsade skarven är bäst – andra anser att det i praktiken ofta slarvas vid svetsningen, varför det är bäst att använda skarvjärn, där detta är möjligt.

Stålplåtar slås antingen med lätta dubbelverkande tryckklufthejare eller med lätta fallhejare. Slagningen görs vanligen så att pålspetsen tränger ner i fasta bottenlager och pålen fungerar då som stödpåle. Normalt avbryts slagningen vid sjunkningen 3 à 5 mm/min vid tryckklufthejare eller ca 10 mm/10 slag vid lätta fallhejare och ca 40 cm fallhöjd.

Den tillåtna påkänningen räknat på stålplåtens bruttoarea är vanligen 200 à 300 kp/cm² vid pålning för permanenta byggnader. Vid provisorier har man i vissa fall haft påkänningar på upp till 1000 kp/cm² och vid pålning för VA-ledningar har tillåten påkänning ofta varit 600 à 700 kp/cm². Det kan här vara av intresse att nämna att man i Norge tillåtit 1000 à 1200 kp/cm² på stålplåtar. Dessa plåtar har dock normalt varit försedda med bergspets som innejslats i berget.

TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Vid ombyggnaden av Centralstationen i Stockholm i slutet av 1950-talet utfördes de första stötvågsmätningarna på stålpålar i Sverige /23, 38/. Pålarna slogs vid dessa försök med dubbelverkande trycklufthejare och med fallhejare. Stötvågsmätningarna, som utfördes med trådtöjningsgivare limmade på pålarna, gav ett förvånansvärt resultat. De registrerade krafterna blev ungefär tio gånger högre än de brottlaster som beräkningsmässigt erhålls med vanliga pålformler, som t ex Kreügers formel. Den teoretiska förklaringen till den dåliga överensstämmelsen har givits av Fischer och andra /8-17, 34, 44/.

Under 1960-talet utfördes i Sverige ett flertal undersökningar över trycklufthejares förmåga att driva ned betong- och stålpålar. Dessa undersökningar utfördes som s k jämförande slagningar, dvs man skiftade mellan tryckluft- och fallhejare under nedslagningen av pålarna. Därvid får man en viss jämförelse mellan sjunkningarna för de olika hejartyperna. Försök har gjorts att utvärdera resultat från de jämförande slagningarna. Det visar sig emellertid att man får mycket stor spridning hos mätvärdena även om man håller sig till en och samma försöksplats och ej ändrar slagningssätt (hejarvikt, fallhöjd, lufttryck) vid de olika hejartyperna. Som exempel kan nämnas en försöksplats där 41 betongpålar stoppslogs till 15 mm/10 slag med 3 tons fallhejare och 50 cm fallhöjd och sedan efterslogs med en trycklufthejare Atlas Copco PH 250 K (1700 kg totalvikt). Med trycklufthejaren erhöll man då sjunkningar som varierade mellan 0 och 100 mm/min (medelvärde 20 mm/min)! Förklaringen till den stora spridningen är förmodligen att den jord vari pålarna stoppslagits har varierande fasthet även vid små förändringar i djupet.

Metoden med jämförande slagningar har på grund av svårigheten att utvärdera resultat därför ej ansetts vara en framkomlig väg för att utreda stoppslagningsregler. Man kan dock dra vissa allmänna slutsatser av de jämförande slagningarna. Resultaten tyder t ex inte på att trycklufthejare skulle ha en sämre neddrivningsförmåga än fallhejare. Vid stålpålar visar det sig snarare att trycklufthejare har bättre neddrivningsförmåga än fallhejare.

För att utreda stoppslagningsregler för stålpålar som slås med lätta slagdon, valdes vid föreliggande utredning en mätteknik som i princip liknar den som användes vid de ovan omtalade försöken vid Centralstationen i Stockholm. Kraf-

terna i pålarna mättes vid trådtöjningsgivare som limmades på pålarna. Det är med denna metod möjligt att bestämma det dynamiska kraft-deformations-sambandet vid pålspetsen. Primärt är man emellertid intresserad av att finna motsvarande statiska samband. Det visar sig då att översättningen från dynamiskt till statiskt motstånd är mycket komplicerad och för att få någon vägledning i denna fråga har litteraturen från ett närliggande ämnesområde studerats, nämligen s k fallviktsförsök. Där har man mätt de dynamiska krafterna mot bottenplattan på en vikt som efter några centimeters fall träffar en packad friktionsjord. Sådana undersökningar har utförts av ett flertal författare /1, 6, 7, 18, 22, 33, 40, 42, 51, 56/. Det visar sig emellertid att man vid fallviktsförsöken haft väsentligt lägre packningsgrad på jorden jämfört med packningen framför spetsen på en stoppslagen stålpåle. Resultaten kan därför inte användas direkt vid föreliggande undersökning, men ger dock en viss bild av hur jorden uppför sig.

Som ett underlag för föreliggande utredning har även i litteraturen studerats ett antal undersökningar av kraft-deformationssamband och jordens rörelser kring pålar och modellpålar /3, 5, 21, 26, 27, 28, 39, 49/. Det visar sig även i detta fall att jorden varit alltför lös, dvs pålarna och modellpålarna har erhållit alltför stora sjunkningar för att resultaten skall vara direkt applicerbara på stålpålar som stoppslås med lätta slagdon.

BESKRIVNING AV FÄLTFÖRSÖK VID HOVSTA, ÖREBRO LÄN

Allmänt

Föreliggande utredning bygger i huvudsak på tre fältförsök. De två första försöken utfördes i april och september 1967 vid Tegelbacken i Stockholms stad /19, 20/. Dessa försök är att betrakta som förberedande försök. De förberedande försöken gav en god uppfattning av vad man bör mäta och hur dessa mätningar bör utföras. Programmet för huvudförsöket omfattade därför mätning av följande faktorer under nedslagningen av pålarna:

de dynamiska krafterna i pålen
pålens sjunkning per tidsenhet
pålspetsens djup under markytan
lufttillförseln till trycklufthejaren
lufttrycket intill trycklufthejaren
trycklufthejarens slagtal.

Eftersom utredningen siktar till att finna en metod att bedöma pålens statiska brottlast omfattade även programmet för huvudförsöket ett antal provbelastningar för att få en uppfattning om sambandet mellan jordens statiska och dynamiska motstånd vid pålspetsen.

Beträffande val av försöksplats var det önskvärt att man på platsen hade tillgång till en kran. Dessutom skulle försöksplatsen naturligtvis ha lämpliga grundförhållanden, dvs ett inte alltför mäktigt lager lera på friktionsmaterial. Därigenom skulle provpålarna kunna slås utan att behöva skarvas. Genom välvilligt tillmötesgående från Nya Asfalt AB kunde en mycket lämplig försöksplats erhållas på pålfabriken i Hovsta, ca 1 mil norr om Örebro. Asfaltbolaget erbjöd sig att kostnadsfritt tillhandahålla såväl mobilkran som pålmaterial och viss arbetskraft. Huvudförsöket utfördes under tiden juni - september 1968.

Grundförhållanden på försöksplatsen

Försöksplatsen var belägen omedelbart intill norra änden av spårbanan för den större av pålfabrikens båda rälskranar (se fig. 1). Intill denna plats hade man tidigare pålat och då med betongpålar fått pålstopp på ca 7 m djup.

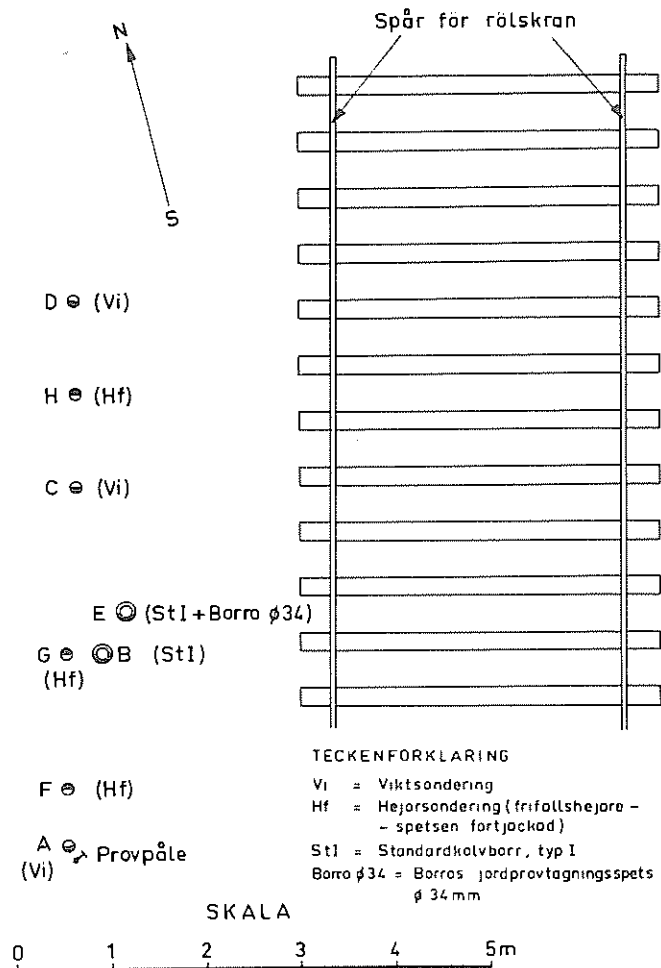
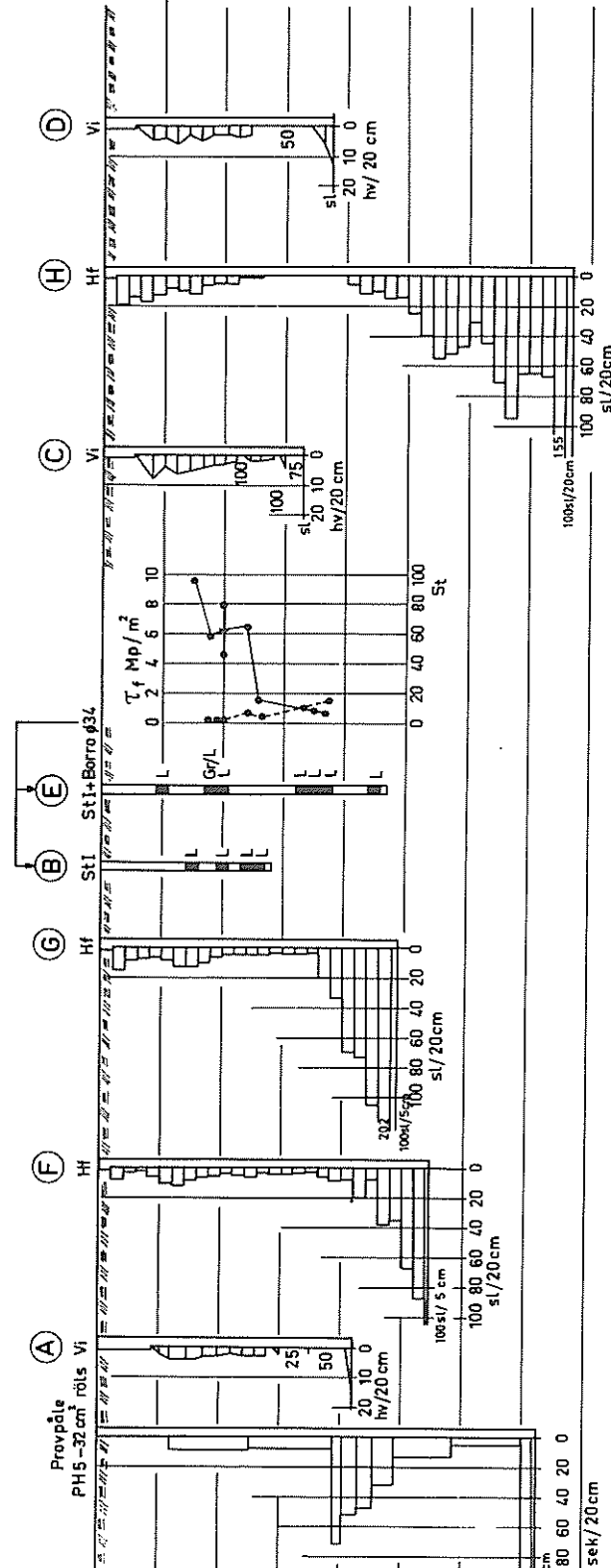


FIG. 1. PLAN ÖVER FÖRSÖKSPLATSEN

Plan of the test site

För att kontrollera djupet till fast botten slogs på ett tidigt stadium en provpåle med en trycklufthejare Atlas Copco PH 5. Provpålen erhöll stopp på 7,3 m djup under markytan (se fig. 1 och 2).

I ett senare skede gjordes en relativt omfattande grundundersökning bestående av viktsondering, hejarsondering och provtagning (se fig. 1, 2 och 3). Viktsonderingen utfördes med konventionell viktsondutrustning. Hejarsonderingen gjordes med frifallshejare typ "Borro" med 45 cm fallhöjd och provtagningen utfördes dels med standardkolvborr (StI), dels med Borros jordprovtagningsspets ($\phi 34$).



TECKENFÖRKLARING

PH5 = tryckluftshjare Atlas Copco PH 5; Vi = Viktsöndering; Hf = frifallshejare typ Borro med 45 cm fallhöjd och 63 kg hejare-sandstängen försedd med fyrkantspets; St1 = Standardkolbarr; St2 = Borro ø 34 = jordprov-togare typ Borro för ø 34 mm prover; L = Lera; Gr = Grus; ρ = Skjuvhållfasthet; ρ' = Sensitivitet enl. Konprov

FIG. 2. RESULTAT AV GRUNDUNDERSÖKNING

Result of subsoil exploration

Sektion/borrhål Djup/nivå	Benämning	Densitet	Vattenhalt	Finklekt	Sensitivitet	Skjuvhållfasthet		Provtagare (x)	Övriga undersökningar**)	Anm.
		Y	w	tel	ent.	T _f (Mp/m ²)				
		kN/m ³	%	w _p %	konprov St	Tryckprov	Konprov			
B	1,5 Brungrå lera med rottrådnar	1,85	28	50	-	-	9,5	S		Fyller dåligt
	2,0 Brungrå lera	1,70	36	60	1,4	-	4,7	S		
	2,4 Grå varvig lera	1,71	47	60	7,4	-	6,5	S		
	2,6 Grå varvig lera	1,73	46	44	5,0	-	1,5	S		
E	1,0 Grå lera med enstaka grus och sandkorn	-	-	-	-	-	-	B		
	1,8 Kontakt. Grått sandigt grus (kalksten) och brungrå lera med rostfläckar	1,92	35	58	1,3	5,3	5,9	S		
	1,9 Brungrå lera med rostfläckar	1,84	36	60	1,7	-	7,9	S		
	3,3 Grå lera	-	-	-	-	-	-	S		
	3,5 Grå lera med enstaka gruskorn samt växtrester, sulfidfläckig	1,65	54	49	9,9	0,7	0,9	S		
	3,7 Grå lera med enstaka sandkorn, sulfidfläckig	1,73	45	42	14	1,1	1,3	S		
	3,8 Grå varvig lera med enstaka gruskorn	-	35	-	-	-	-	B		
	4,5 Grå lera med skarpkantade gruskorn	-	-	-	-	-	-	B		
(x)										
S = Provtagning med standardkolvborr St I										
B = Provtagning med jordprovtagare typ "Porro Ø 34"										

FIG. 3. RESULTAT AV LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

Results of laboratory investigations

Inom försöksplatsen är markytan horisontell. Jorden består överst av ca 1 m utfyllt material av sand och grus. Därunder finns ett ca 3 m tjockt lager lera som sträcker sig ned till ca 4 m djup. Denna leras fasthet avtar med djupet - från skjuvhållfastheten ca 10 Mp/m² på 1 m djup till ca 1 Mp/m² på 4 m djup. Lerans sensitivitet enligt konprov är högst 14, dvs leran är att betrakta som lågsensitiv. På ca 4 m djup vidtar ett ca 1 m tjockt lager av en fast jord. I detta lager har endast ett jordprov tagits och detta visade på en mycket fast lera med skarpkantade gruskorn. Detta fasta skikt underlagras av ett ca 2 m lager av lösare jord i vilken ingen provtagning gjorts. På ca 7 m djup vidtar ett mycket fast material, förmodligen en fast lagrad bottenmorän.

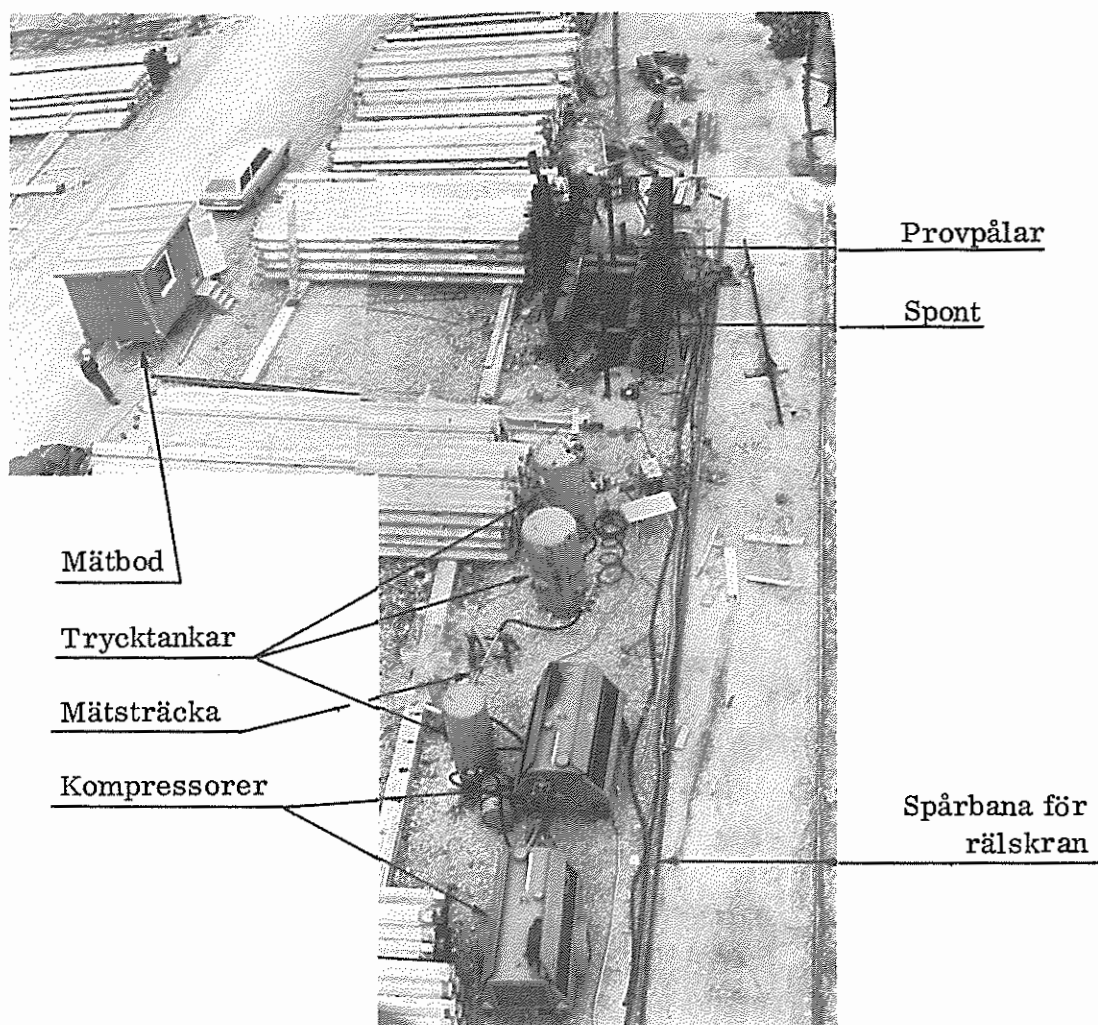


FIG. 4. VY ÖVER FÖRSÖKSPLATSEN VID HOVSTA

View of the test set up at Hovsta

Anordningar på försöksplatsen

På fig. 4 visas en vy över försöksplatsen och försöksanordningarna. På fotografiets nedre del syns kompressorerna, tryckluftslangarna samt trycktankarna. Rakt ovanför trycktankarna syns sponten som användes som mothåll vid provbelastningarna. Mellan de två sponstraderna nedslogs provpålarna. Vid det tillfälle då fotografiet togs pågick en provbelastning (två kraftiga balkar är anbringade på var sin sida om en av pålarna). Till vänster om sponten ligger mätboden i vilken mätutrustningen var placerad.

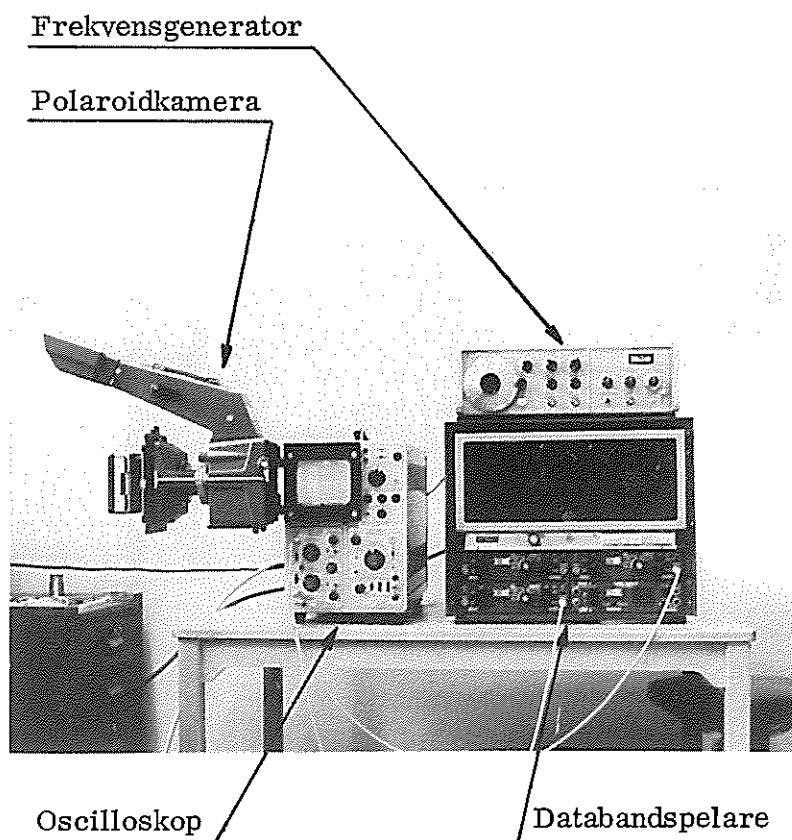


FIG. 5. OSCILLOSKOP OCH DATABANDSPELARE
Oscilloscope and data tape recorder

Utrustning för stötvågmätning

Stötvågorna som fortplantas i pålarna under slagningen mättes med trådtöjningsgivare som limmades fast på pålarna. När trådtöjningsgivarna utsätts för en mekanisk spänning sker en motståndsförändring i givarna. Med en elektrisk koppling, en s k bryggkoppling, överförs motståndsförändringen till en variation i elektrisk spänning. Denna kan registreras på ett oscilloskop och avfotograferas från oscilloskopets bildskärm (se fig. 5).

Vid mätningarna användes en databandspelare (se fig. 5) som var kopplad till oscilloskopet. På banden lagrades samtliga mätsignaler. Detta har gjort det möjligt att i efterhand rekonstruera hela slagningen samt bearbeta stötvågorna med dator.

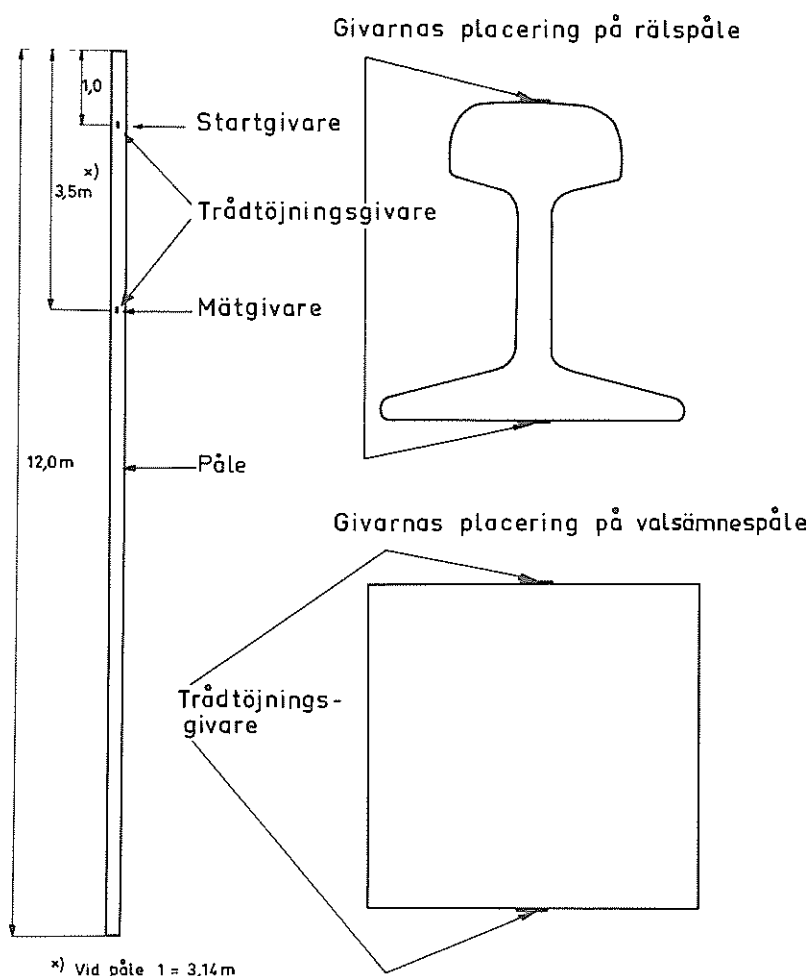


FIG. 6. PLACERING AV TRÅDTÖJNINGSGIVARE PÅ RÄLS-
OCH VALSÄMNESPÅLE

Location of strain gauges on rail- and billet pile

I mätsystemet var även en elektronikenhet inkopplad. Denna hade konstruerats och tillverkats av Atlas Copco AB speciellt för dessa mätningar. Enheten hade till uppgift att alstra en extremt kortvarig puls på bandet (en s k triggpuls), som vid avspelningen kunde användas för att starta digitalvoltmetern vid digitaliseringen.

Trådtöjningsgivare

På varje påle limmades två par trådtöjningsgivare enligt fig. 6. Det övre givarparet alstrade triggpulsen och det undre givarparet gav själva mätsigna-

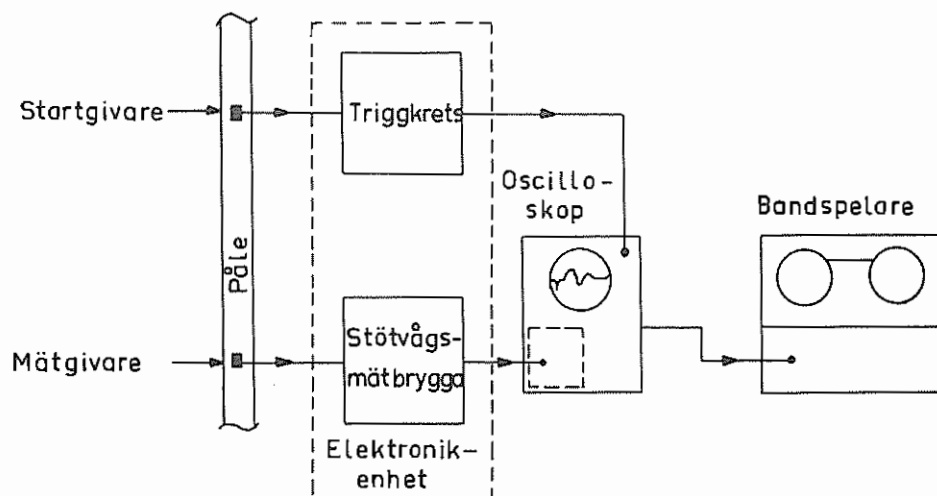


FIG. 7. PRINCIPSKISS ÖVER UTRUSTNING FÖR STÖTVÅGSMÄTNING

Schematic diagram of instrumentation for the stress wave measurements

len. De övre givarna var placerade 1,0 m och de undre givarna 3,5 m från pålskallen (vid samtliga pålar utom påle 1 där mätgivarna satt 3,14 m från pålskallen).

Av trådtöjningsgivarna krävs att de ska kunna motstå höga dynamiska belastningar och därför valdes givare av fabrikat Hottinger-Baldwin med typbeteckningen 6/120 LP31 och med följande data:

Totallängd 10 mm

Mätlängd 6 mm

Motstånd 118,4 ohm

Givarfaktor 2,05.

Appliceringen av givarna utfördes på vedertaget sätt med renslipning av stål-
ytan, fuktisolering etc. Givarna var kopplade i en fullbrygga där de passiva
givarna, som hade 180 ohms motstånd, var placerade i elektronikenheten.
Mätbryggan balanseras med potentiometerkopplingen på elektronikenheten.

Elektronikenhet

Elektronikenheten har konstruerats av ingenjör Leif Hoel vid Atlas Copco och finns beskriven i en intern rapport från Atlas Copco (meddelande nr ZE 8.50). Elektronikenhetens kopplingsschema framgår av fig. 7, 8 och 9. Enheten består i huvudsak av en stötvågsmätbrygga och en triggkrets som får sina signaler från mätgivarna respektive startgivarna. Signalen från startgivarna passerar först två förstärkare som ger 500 - 5000 ggr spänningsförstärkning (se fig. 8 och 9). Därefter går signalen till en grind som styrs av utpulsen från en monostabil vippe. I normaltillståndet är grinden öppen varför signalen från den första stötvågen vid varje slag går fram till vippan. Denna slår då om och blockerar grinden. Blockeringstiden väljs så att hela stötvågen har klingat ut innan vippan åter öppnar grinden.

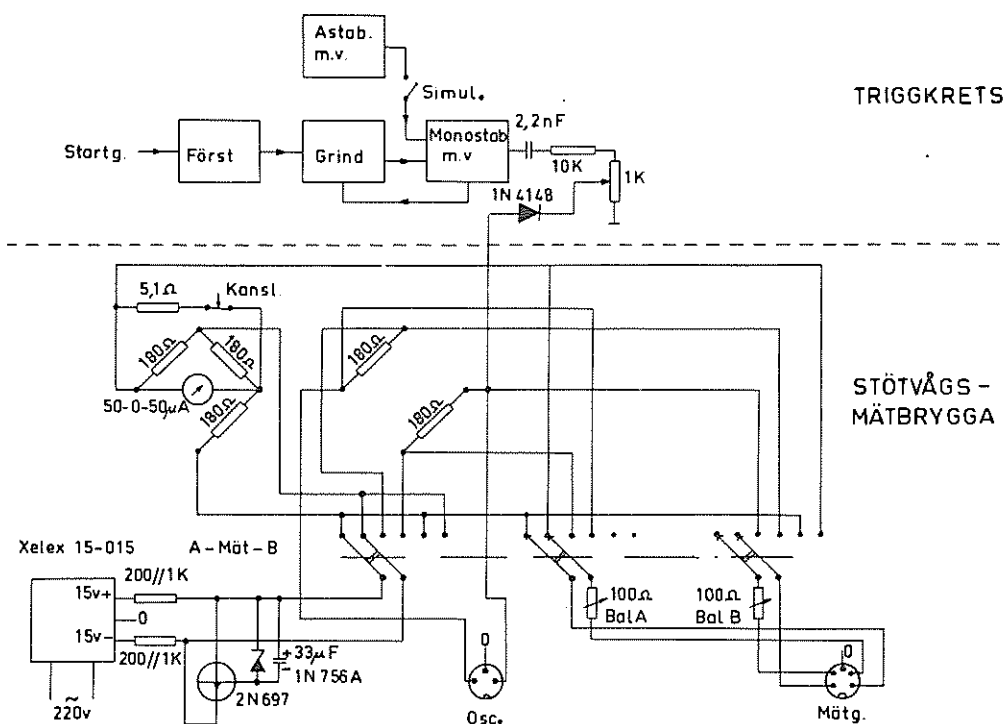


FIG. 8. KOPPLINGSSCHEMA FÖR ELEKTRONIKENHETEN

Schematic diagram for the electronic unit

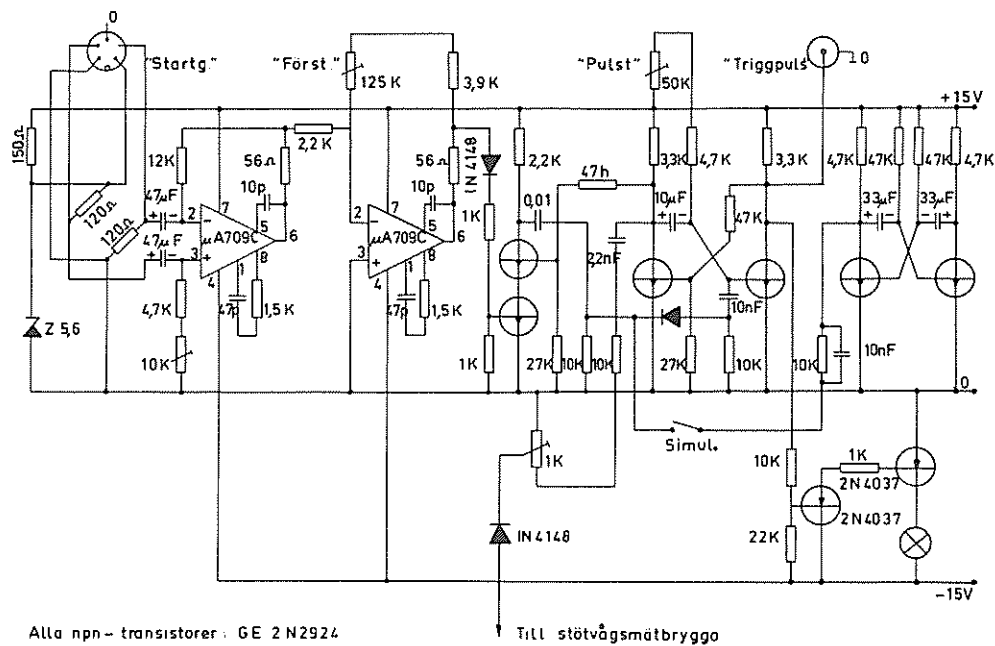


FIG. 9. KOPPLINGSSCHEMA FÖR TRIGGKRETSEN

Schematic diagram for the trigger circuit

Kantvågen från vippan förs också ut till ett differentieringsnät där man via en diod får ut en mycket kortvarig triggpuls (varaktighet 0,05 ms), som blandas med mätsignalen. Vid den aktuella placeringen av givarna kommer mätsignalen ca 0,3 millisekunder efter den tidpunkt då triggpulsen klingat ut varför någon risk ej föreligger för att triggpulsen blandas med mätsignalen.

Oscilloskop

Vid försöken fördes signalen från elektronikenheten in på ett minnesoscilloskop av typ Tektronix 564 (se fig. 5). På oscilloskopet var en polaroidkamera monterad, vilket gjorde att man direkt kunde fotografera stötvågorna. Oscilloskopet var vid försöken försett med en förstärkare typ 3A3.

Databandspelare

Signalen fördes från oscilloskopet vidare in på en av kanalerna i en fyrakanals databandspelare av typ Precision Instrument 6200 (se fig. 5). Under slagningen gjordes inspelningen med bandhastigheten 37,5 in/s, vilket ger en god återgivning vid avspelning, dvs även mycket högfrekventa signaler kan registreras.

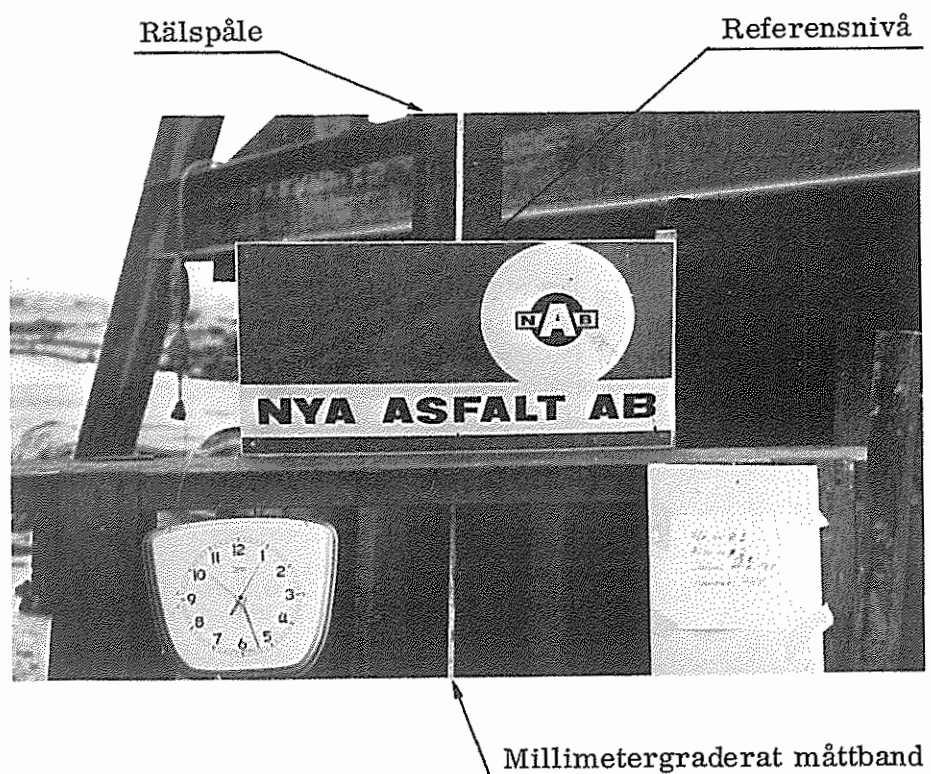


FIG. 10. ARRANGEMANG VID SJUNKNINGSMÄTNINGEN

Arrangement of settlement measurement during driving

Bandspelaren var även försedd med en talkanal så att man kunde tala in uppgifter under slagningen av pålarna. Denna kanal användes bl a för att tala in tidpunkter för att därigenom få en korrelation till de samtidigt pågående sjunkningsmätningarna på pålen.

Utrustning för sjunkningsmätning

Vid de förberedande undersökningarna fann man att det är mycket viktigt att pålens sjunkning per tidsenhet bestäms noggrant. Sjunkningsmätningen utfördes därför genom att med jämna tidsintervall (vanligen 30 sek) fotografera pålen med en kamera som var uppställd på ca 3 m avstånd från pålen. På denna var ett millimetergraderat måttband fastlimmat och pålens nivå erhöles relativt en referensnivå, se fig. 10. Intill pålen var även en klocka och en tavla uppsatt med uppgifter om påle, slagningsdatum etc.

Genom att förstora upp den negativa filmen i en stillbildsprojektor kan man bestämma pålens nivå med ett fel som uppskattningsvis är mindre än 0,5 mm. Som referens till stötvågsmätningen användes klockslaget som under hela slagningen även talades in på bandspelaren.

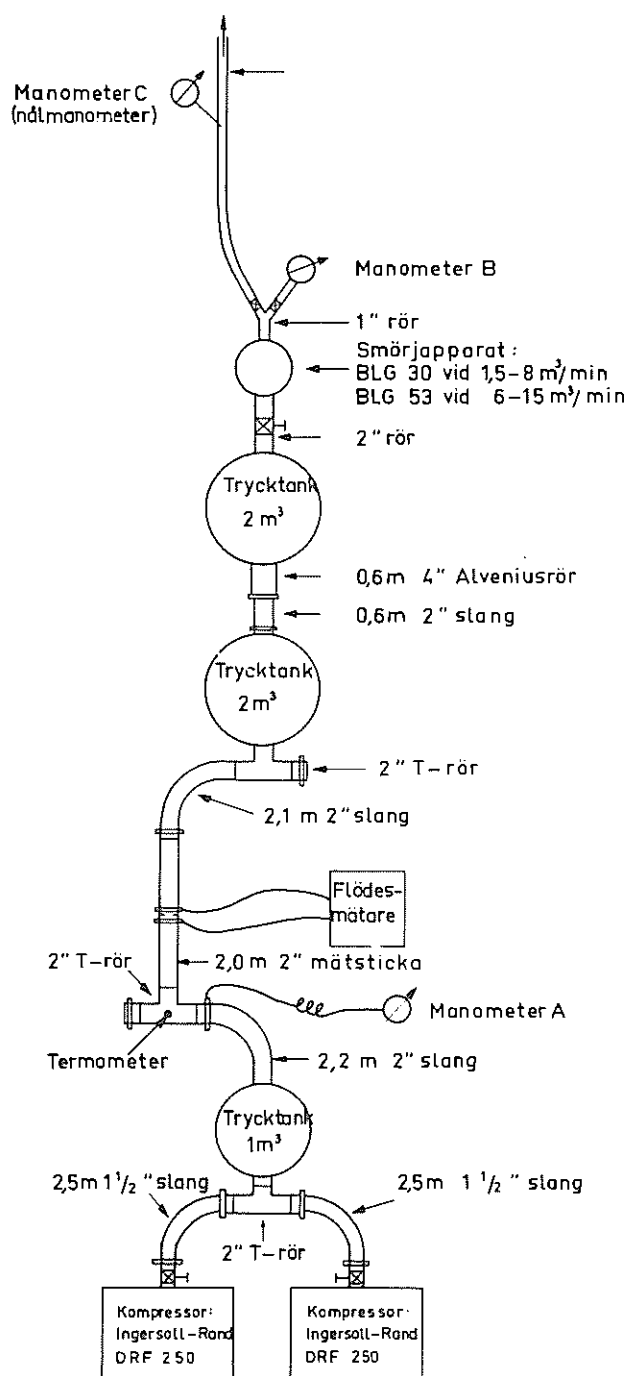


FIG. 11. KOPPLINGSSCHEMA FÖR TRYCKLUFTANSLUTNINGEN
Pneumatic connections

Tryckluftkoppling samt utrustning för mätning av luftflöde, lufttryck och slagtal

Kopplingsschema för tryckluften framgår av fig. 11. Tryckluften alstrades av två Ingersoll-Rand-kompressorer av typ DRF 250, som vardera nominellt gav maximalt $7,1 \text{ m}^3/\text{min}$. Denna typ av kompressor har den fördelen ur försöks-synpunkt, att tryckregleringen sker genom att motorns varvtal regleras steglöst. Man får således inga plötsliga ändringar i flödet, vilket skulle ha försvårat mätningen.

Vid de förberedande försöken vid Tegelbacken i Stockholm mättes endast lufttrycket intill trycklufthejaren med en nålmanometer. Det visade sig emellertid att det var nödvändigt att även mäta luftflödet till hejaren för att bättre kunna bedöma hur denna slår.

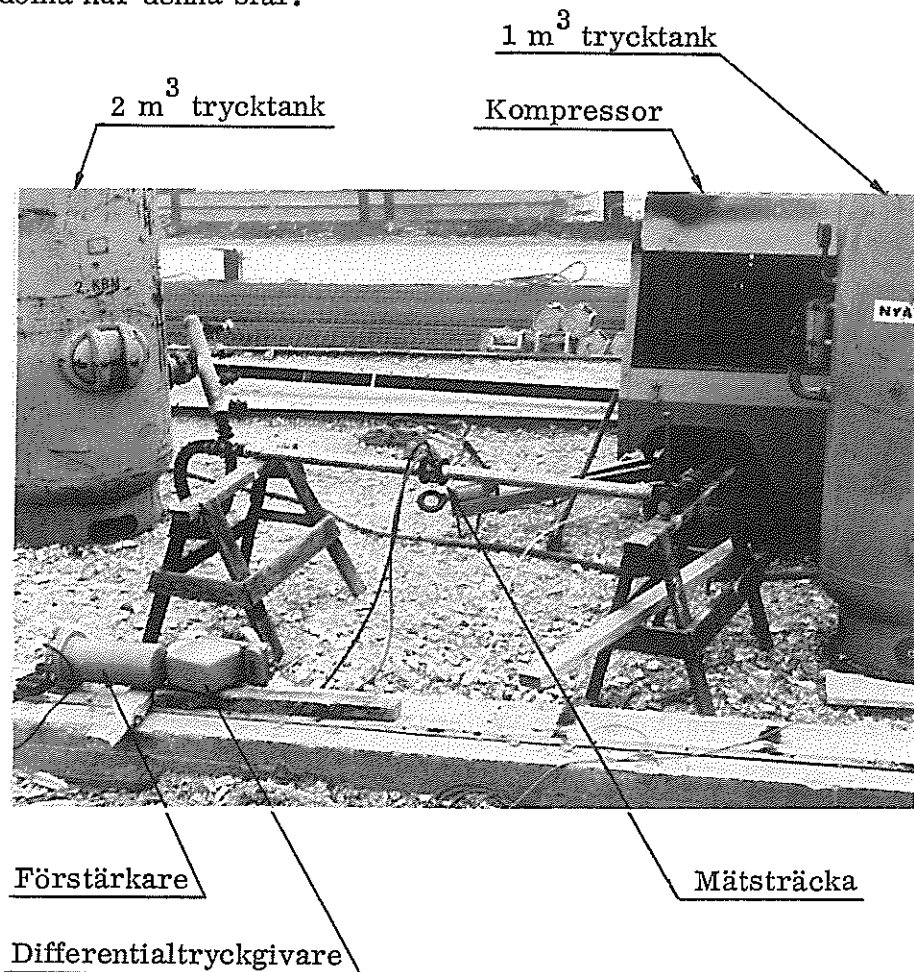


FIG. 12. ARRANGEMANG FÖR FLÖDESMÄTNING

Arrangement of air flow measurements

Vid flödesmätningen utnyttjades principen att mäta tryckfallet över en strypfläns /57/, som var monterad mitt i ett 2,0 m långt stålrör med innerdiametern 53 mm (se fig. 12). Beroende på luftflödets storlek insattes strypflänsar med olika diameter (20, 28 och 35 mm). Differentialtrycket över strypflänsen mättes med en givare av typ Siemens R80-008, som i princip består av en Bartoncell. Utsignalen från givaren går till en förstärkare och signalbehandlare av typ Siemens K 119-002, vari signalen behandlas matematiskt (rotutdragning görs etc). Signalen från förstärkaren matades sedan in på databandspelaren via en voltmeter, vilket möjliggjorde en bestämning av flödet även under försökets gång.

Under slagningen uppstår kraftiga tryckvariationer nära trycklufthejaren och detta påverkar flödesmätningen. För att minska variationerna insattes trycktankar i tryckluftanslutningen; en tank på 1 m^3 mellan kompressorerna och mätsträckan och två tankar på vardera 2 m^3 mellan mätsträckan och hejaren.

Lufttrycket mättes med manometrarna A, B och C (se fig. 11). Manometern A var placerad inne i mätboden och ansluten till mätstället med en tunn plastslang. Denna manometer var försedd med en givare, som gav en elektrisk signal, som spelades in på databandspelaren. De övriga manometrarna (B och C) avlästes på platsen och värdena talades in på talkanalen.

Trycklufthejarens slagtal kunde mätas i efterhand på bandspelaren eftersom hela slagningsförloppet inspelades. För att underlätta räkningen av slagen växladess bandhastigheten ned 10 gånger.

Utrustning för provbelastning

Avsikten med provbelastningarna var att söka ett samband mellan de dynamiska och statiska spetsmotstånden i pålen. Önskemålet var att kunna göra så många provbelastningar som möjligt och därför utformades utrustningen så att varje påle kunde provbelastas på flera nivåer med nedslagning däremellan. För att kunna göra stötvågsmätningar mellan provbelastningarna måste utrustningen dessutom utformas så att pålens längd ovan mark hela tiden var minst 3,5 m.

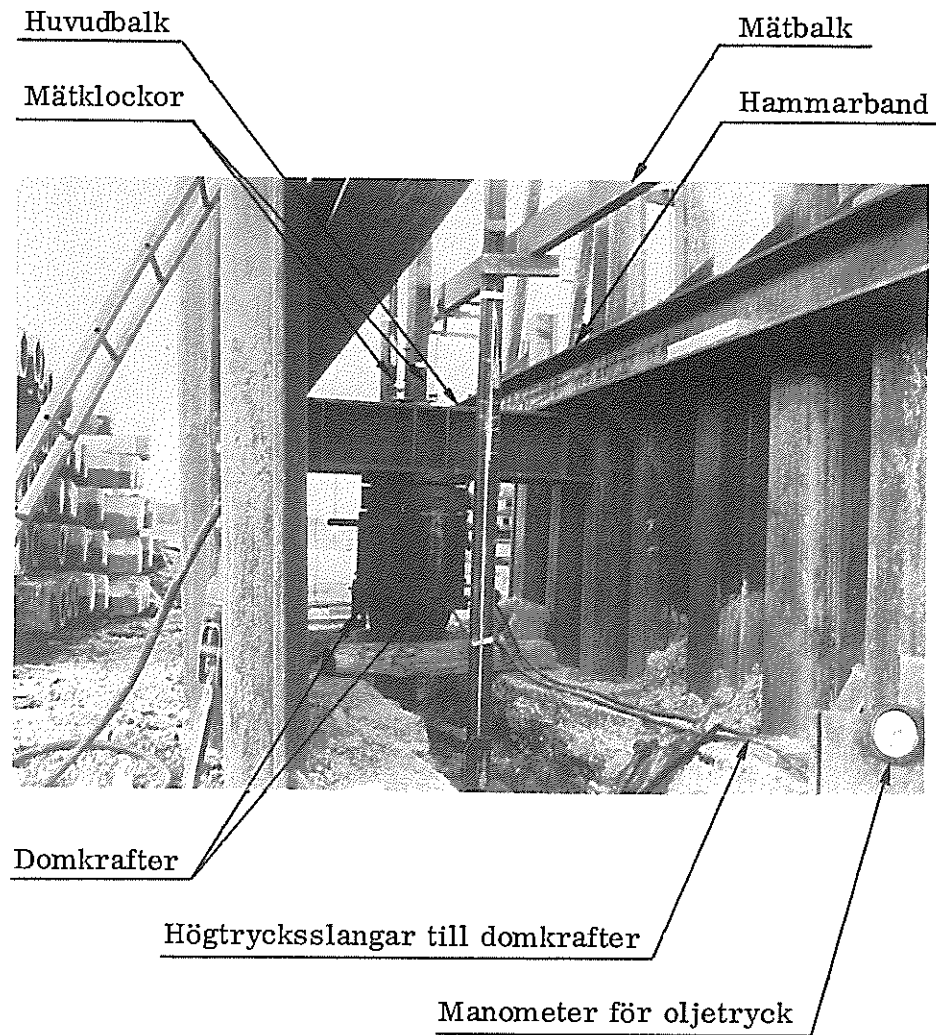


FIG. 13. UTRUSTNING FÖR PROVBELASTNINGAR
Equipment for load tests

Mothållet vid provbelastningarna utgjordes av två parallella spontrader på ca 2 m avstånd från varandra (se fig. 4 och 13). Sponten, som var av typ Larssen II ny, kunde ej neddrivas genom det hårda jordlagret på ca 4 m djup. På grund av det ringa nedslagningsdjupet erhöles ej mer än ca 70 Mp mothåll vid spontens ytterkanter och ca 100 Mp vid spontens mitt.

Till de två spontraderna var hammarband av DIP30-balkar fastsvetsade. Provpålarna slogs i en rad emellan dessa hammarband. Sedan pålarna slagits till lämpligt stopp fastsvetsades på pålen en 300 x 300 x 25 mm stålplatta i vilken pålens profil hade skurits ut (se fig. 14). På svetsen, som utfördes som käl-

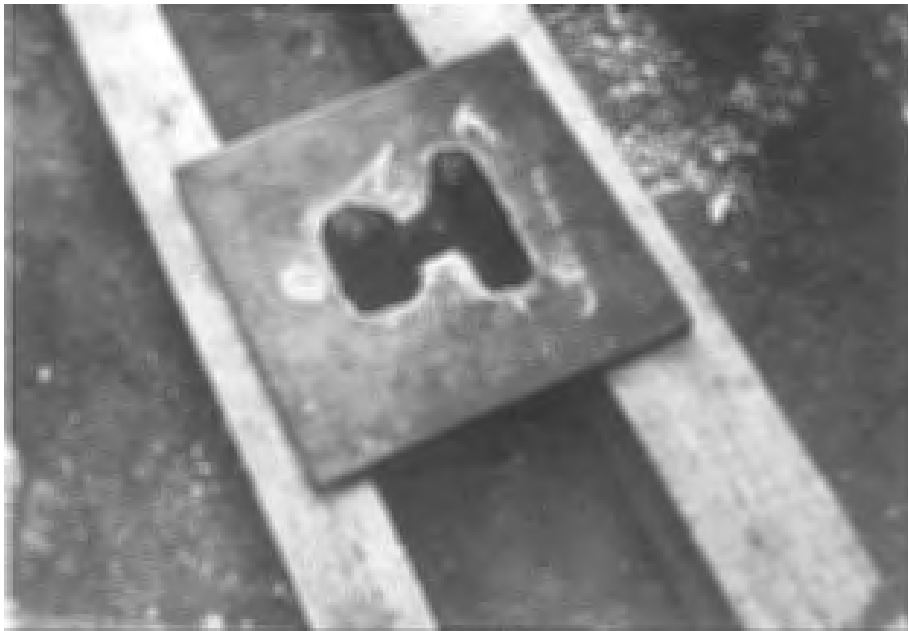


FIG. 14. STÅLPLATTA FÖRE FASTSVETSNING VID RÄLSPÅLE

Steel plate before welding to a rail-pile

svets, ställdes mycket höga krav eftersom man dels har mycket stora krafter under provbelastningen, dels har ett besvärligt material att svetsa i. Rälspålar-
na var nämligen av begagnad räls och därför kallvalsade av trafiken och spröda på "ovansidan".

På stålplattan placerades ett ok som bestod av två korta balkar, en på var sida om pålen, som framgår av fig. 15. På oket placerades två 100 Mp domkrafter diametralt och på lika stora avstånd från pålens neutrala lager. Domkrafterna hade utlånats av Stabilator och var littrerade SCG 19 och 20. Ovanpå vardera domkraften, och instuckna under hammarbanden, placerades två DIP40-balkar med livavstyvningar. Dessa balkar passades in noggrant så att excentriciteter ej uppstod.

Domkrafterna drevs av ett pumpaggregat som utlånats av Statens Geotekniska Institut och som gav en konstant oljemängd per tidsenhet och därmed även en konstant nedpressning av pålskallen per tidsenhet. Under försöken reglerades pumpen så att skallens rörelsehastighet blev ca 0,25 mm/min. Mellan pumpen och domkrafterna var en precisionsmanometer inkopplad på vilken oljetrycket och därmed belastningen på pålen kunde mätas.

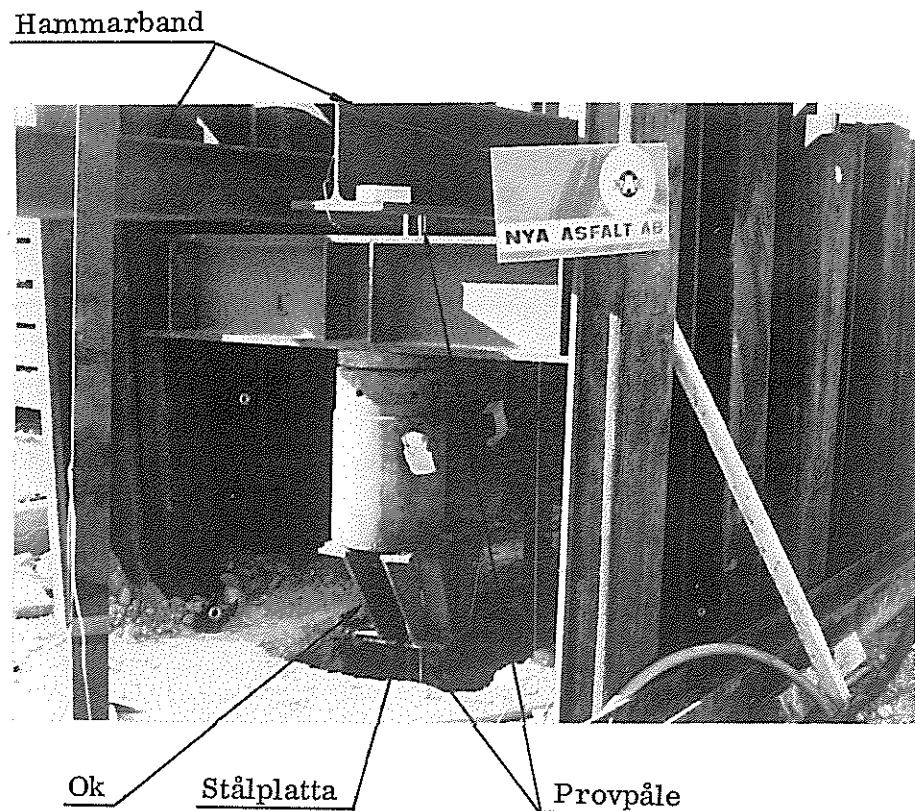


FIG. 15. UTRUSTNING FÖR PROVBELASTNINGAR
Equipment for load tests

Pålens sjunkning under provbelastningen avlästes på två diametralt placerade mätklockor. Klockorna var placerade över domkrafterna och fästade vid en mätbalk, som var svetsad till två av de tidigare slagna provpålarna.

Pålar

Försöken utfördes på två typer av stålpålar, dels sex begagnade rälpålar med tvärsnittsarean 35 cm^2 (vikt 27 kg/m), dels en ny valsämnespåle med tvärsnittsarean 121 cm^2 ($11 \times 11 \text{ cm}^2$). Vid försöken användes således sammanlagt sju pålar, benämnda 1 till 7. Av dessa pålar var påle 6 valsämnespåle och de övriga rälpålar. Rälpålarna var av modell "S.J. 1878 n" med ursprungliga höjden 108 mm och bredden 102 mm . Enligt märkning på pålarna var dessa tillverkade år 1926. I tabell 1 redovisas pålarnas uppmätta längd (L), höjd (H) och bredd (B). Värdena H och B utgör medelvärden av mätningar på fyra punkter längs pålen.

Påle nr	1	2	3	4	5	6	7
Påltyp	Räls	Räls	Räls	Räls	Räls	Vals- ämne	Räls
L mm	12007	12003	12004	12003	12005	12005	12006
H mm	107	107	106	106	106	110	106
B mm	101	100	101	100	102	110	101

Tabell 1. Uppmätning av provpålar vid Hovsta.

Measurement of test piles at Hovsta.

Pålarnas initialkrokighet mättes genom att lägga pålarna på två upplag med rälsens livplåt i vertikalt (se fig. 16) och i horisontellt läge (se fig. 17). Mellan pålens ändar spändes en lina och det horisontella avståndet mellan påle och lina mättes. Med denna mätmetod inverkar böjmomenten i pålen ej på mätresultaten.

Rälspålarne visar sig ha ända upp till 30 mm initialkrokighet på 12 m längd när mätningen görs med livplåten i horisontellt läge (se fig. 17). Mätningen företogs en solig dag varför man eventuellt skulle kunna misstänka att pålarna utsatts för ensidig solbelysning. Mätningen gjordes därför om en mulen dag på en av pålarna och man erhöll därvid samma resultat som tidigare.

Förklaringen till initialkrokigheten enligt fig. 17 torde med all sannolikhet vara att rälsens "ovansida" under trafikens tyngd blivit utvalsad och därigenom förlängts. Rälsen har även en relativt betydande initialkrokighet i den andra riktningen (max 13 mm). Denna initialkrokighet beror sannolikt på hanteringsskador.

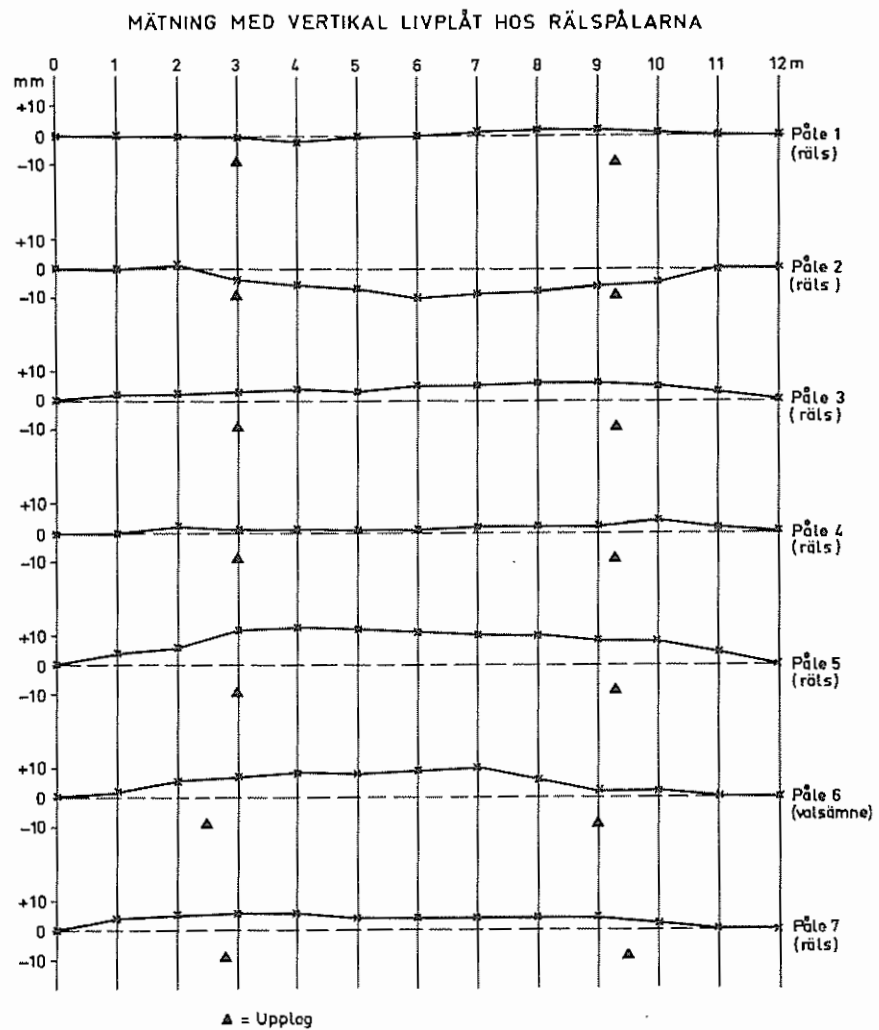


FIG. 16. INITIALKROKIGHET HOS PROVPÅLAR
Curvature of test piles before driving

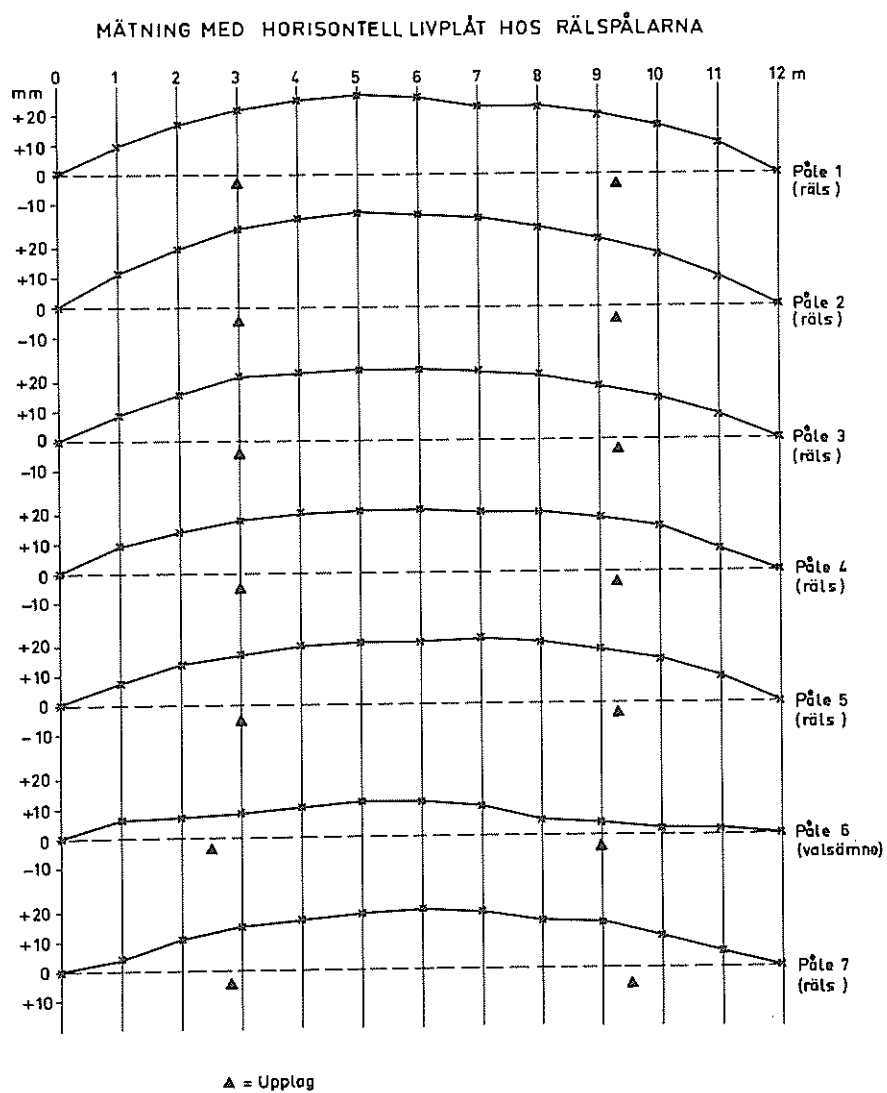


FIG. 17. INITIALKROKIGHET HOS PROVPÅLAR
Curvature of test piles before driving

Hejare

Vid huvudförsöket i Hovsta användes följande sex slagdon, med data enligt tabell 2.

Hejare	Totalvikt kg	Kolvvikt kg	Kolvarea cm ²	Kolvlängd mm
PH 5	390	55	104	600
TEP 400	ca 400	35	50	610
PH 180	800	116	177	720
PH 250	1700	295	336	990
BSP 700	2270	363	435	1030
2,2 tons fallh.	2200	2200	2580	1160

Tabell 2.

Data för tryckluft- och fallhejare

Data for air and drop hammers.

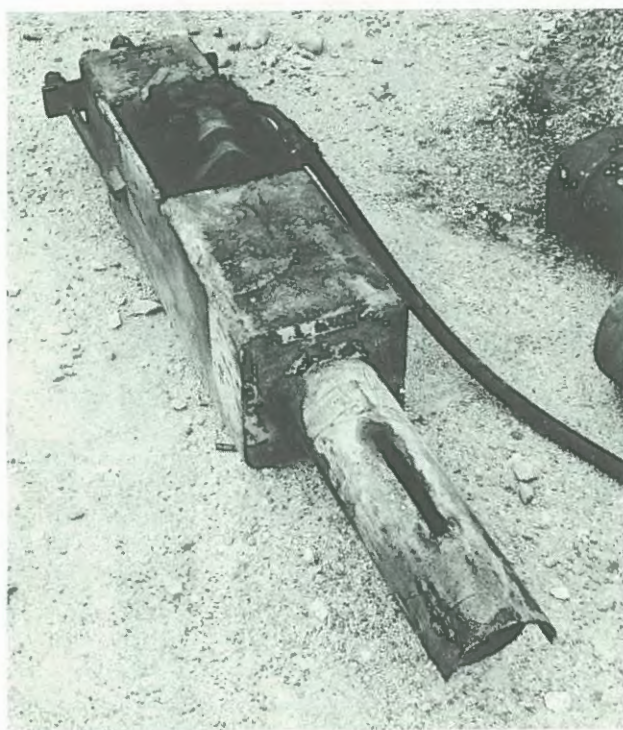


FIG. 18. TRYCKLUFTHEJARE ATLAS COPCO PH 5

Air hammer Atlas Copco PH 5

- a) Atlas Copco PH 5 (se fig. 18). Denna hejare var begagnad (utlånad av Nya Asfalt AB). Hejarens ursprungliga inloppsmunstycke (försedd med smörjanordning) hade emellertid bytts ut mot ett munstycke som används på nytillverkade PH 5-maskiner. Styrningen (mellan hejare och påle) bestod av ett ca 0,6 m långt rör. Glappet mellan styrning och påle var ca 5 mm (styrningens innerdiameter ca 137 mm, pålens största tvärmått ca 132 mm) vilket motsvarar en vinkel mellan hejarens och pålens längdriktning på ca 1:120.
- b) Atlas Copco TEP 400 (se fig. 19). Denna hejare var en prototyp till en ny hejartyp som utvecklats vid Atlas Copco. Det är ännu ej bestämt om maskinen kommer att serietillverkas och i så fall under vilken benämning. TEP 400 är en lätt maskin med mycket hög anslagshastighet hos kolven och därmed även hög slagfrekvens. På prototypen bestod styrningen av en balkanordning. Glappet mellan påle och styrning var endast ca 1 mm (vinkelmått ca 1:1000).



FIG. 19. TRYCKLUFTHEJARE ATLAS COPCO TEP 400
Air hammer Atlas Copco TEP 400

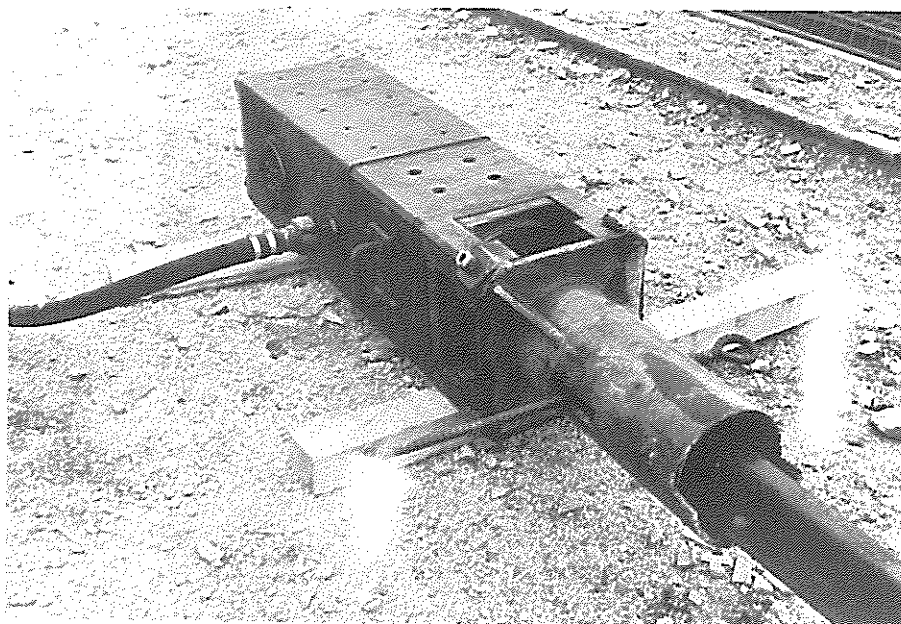


FIG. 20. TRYCKLUFTHEJARE ATLAS COPCO PH 180 K
Air hammer Atlas Copco PH 180 K

- c) Atlas Copco PH 180 K ny (se fig. 20). Från och med tillverkningsnummer 500 998 är trycklufthejaren PH 180 K upptrimmad. Tillverkaren har dock ej gjort någon ändring av benämningen i samband härmed. För att skilja den upptrimmade versionen av PH 180, som användes vid Hovstaförsöken, från den äldre maskin, som användes vid Tegelbacksförsöken, har den förra här kallats PH 180 K ny. Enligt tillverkaren har slageffekten genom trimningen ökats från 38 till 88 kpm/slag och kolvens maximala anslags-hastighet från 2,54 till 3,70 m/s. Den upptrimmade versionen har något större luftförbrukning än den gamla och den rekommenderade slangdimensionen har därför ökats från 1" till 1 1/4". Det provade exemplaret var fabriksnytt.

Under en del av slagningen av påle 4 (serierna 37 - 54) gjordes, med en hejare typ PH 180 K ny, en undersökning över styrningens inverkan på stötvågskraften. Vid denna undersökning bestod styrningen av ett ca 0,5 m långt rör med innerdiametern ca 175 mm, dvs glappet var hela ca 43 mm (vinkelmått ca 1:12). Vid den fortsatta slagningen av påle 4 vid senare datum samt vid slagningen av påle 5 hade styrningen gjorts om så att glappet endast var ca 5 mm (vinkelmått ca 1:60).

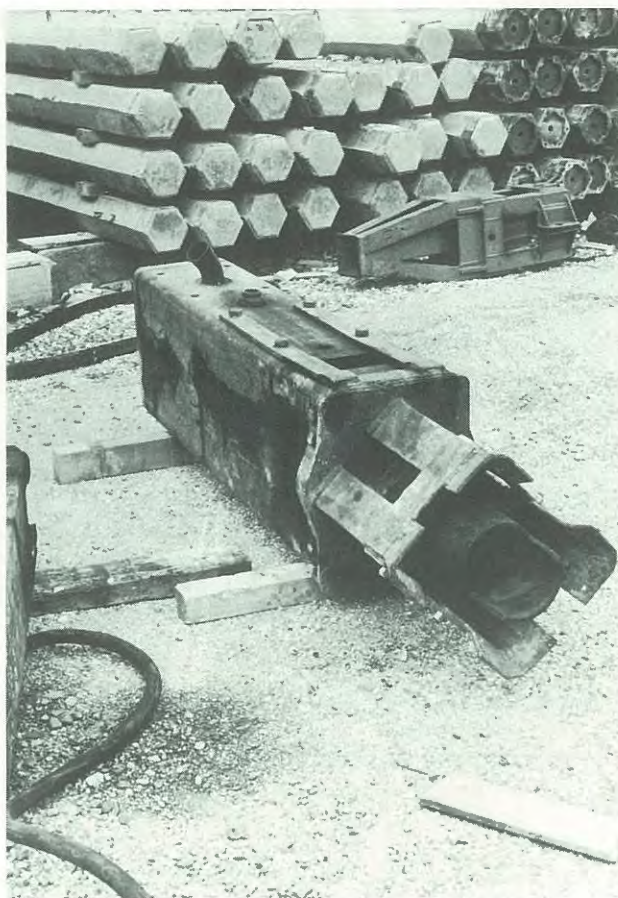


FIG. 21. TRYCKLUFTHEJARE ATLAS COPCO PH 250 K

Air hammer Atlas Copco PH 250 K

- d) Atlas Copco PH 250 K (se fig. 21). Denna hejare var begagnad och hade utlånats av Nya Asfalt AB. Styrningen bestod av ett ca 0,5 m långt rör och vid slagning på räls-pålarna var två ringar fastsvetsade i röret. Vid räls-pålen var glappet i styrningen ca 3 mm (vinkelmått ca 1:170) och vid vals-ämnespålen ca 25 mm (vinkelmått ca 1:20).
- e) British Steel Piling Company - BSP 700. Denna trycklufthejare gick tidi-gare under benämningen Mc Kiernan-Terry nr 7. Eftersom tillverkningen överlåtits på British Steel Piling Co har namnet ändrats till BSP. Nummer-beteckningen är densamma som förut men med två nollor efter. Den under-sökta maskinen var utlånad av Stockholms Stads Gatukontor. Styrningen var ett ca 0,5 m långt rör med ca 5 mm glapp (vinkelmått ca 1:100).

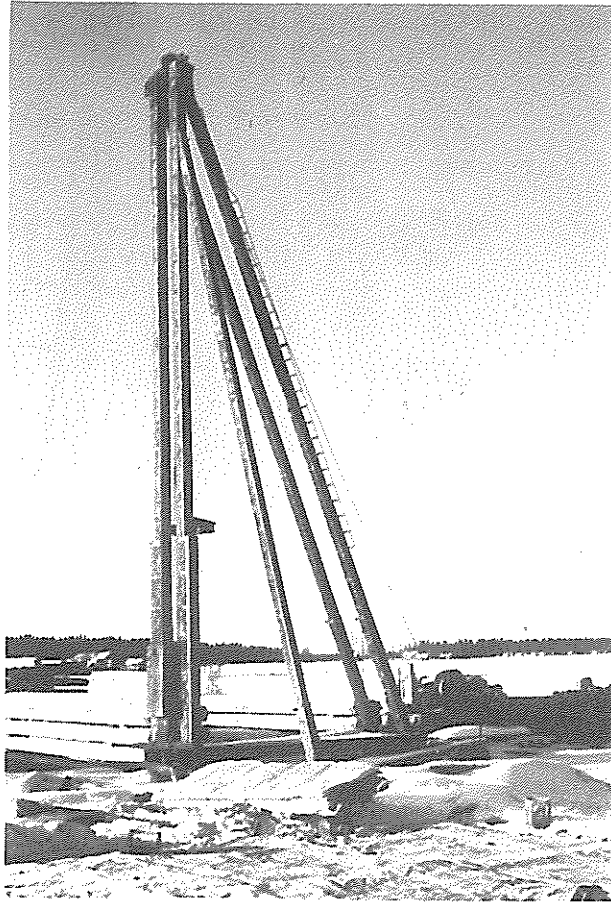


FIG. 22. PÅLKРАН AV ÄLDRE MODELL SOM ANVÄNDES
VID FALLHEJARSLAGNINGEN

Older model piling frame used for driving with
drop hammer

- f) 2,2 tons fallhejare (se fig. 22 och 23). Fallhejaren var monterad på en pålkran av äldre typ och upphängd i dubbel part. Hejarens yttermått var 450 x 620 x 1160 mm med ursparingar för gejder och block. Dynan var av stål och vilade direkt på pålskallen. Dynan var på ovansidan försedd med ett ca 10 cm tjockt dynträ av stående ekträ.



FIG. 23. FALLHEJARE OCH SLAGDYNA

Drophammer and cap

Slagning och uppdragning av pålar

Pålarna slogs enligt pålplanen i fig. 24 och i den ordningsföljd som anges i fig. 25. Under nedslagningen av pålarna registrerades stötvågor, sjunkning etc med de metoder som nämnts ovan.

När pålens sjunkning avtog, dvs när pålspetsen kom ner i fastare bottenlager avbröts slagningen och pålen provbelastades. Därefter nedslogs pålen ytterligare ett stycke och en ny provbelastning utfördes. Pålarna erhöll slutligt stopp på 7 till 9 m djup under markytan utom påle 5, som vid tre försök stoppade på ett block på ca 3,5 m djup under markytan.

I praktiken kan det ofta inträffa att en trycklufthejare ej får tillräcklig lufttillförsel beroende på alltför klana tilloppsslangar eller en underdimensionerad kompressor. För att undersöka vad som händer i ett sådant fall har mätningar gjorts vid varierande lufttillförsel till hejarna. För varje hejartyp har mätningar gjorts vid 3 à 4 olika luftflöden, på pålar som stoppslagits till nollsjunkning.

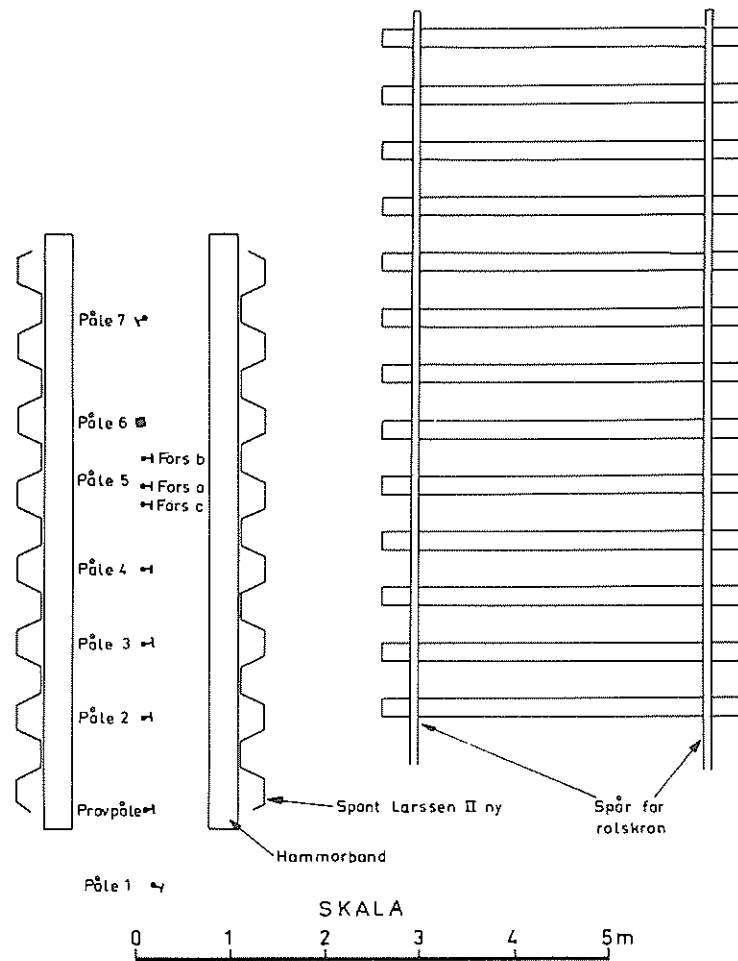


FIG. 24. PÅLPLAN

Piling plan

BETECKNINGAR : PH5 = 5 ; TEP 400 = 400 ; PH 180K ny = 180 ; PH 250K = 250 ; BSP 700 = 700
 2,2 tons fallhöjdare = 2,2 ; Slagning = 0 Provb belastning nr 00 = 00

Datum	25/8	13/8	14/8	15/8	16/8	19/8	20/8	21/8	22/8	23/8	26/8	27/8
Påle 1	5											
" 2				5					1	5	2	5 5 3
" 3					400							
" 4								180				
" 5								180		250		
" 6												
" 7												
Datum	28/8	29/8	30/8	9/9	10/9	11/9	12/9	13/9	16/9	17/9	18/9	19/9
Påle 1 (skorvad)										5		
" 2												
" 3	5 5 5		5 7									
" 4					250 180 250 180		250 180					
" 5				250	8 9 10 11 12		13					
" 6								250		700 250		
" 7								5	14		22	15

FIG. 25. TIDSSCHEMA FÖR SLAGNING OCH PROVBELASTNINGAR VID HOVSTA, 1968

Time schedule for driving and load tests at Hovsta, 1968

Efter slagningen och provbelastningarna drogs pålarna 3, 4 och 5 upp. Uppdragningen gjordes med en mobilkran vars maximala lyftkapacitet var ungefär 4 Mp. Av fig. 26, 27 och 29 syns att såväl påle 3 som 4 erhållit typiska knäckningskurvor. På båda pålarna låg knäckningskurvans minsta krökningsradie 5,4 m från pålspetsen. Detta har vid sista provbelastningarna på pålarna 3 och 4 motsvarat 3,0 respektive 3,3 m djup under markytan.

På fig. 28, 30 och 31 visas de tre uppdragna pålarnas spetsar. Påle 3 och 4 har stoppslagits i vad som förmodligen är en bottenmorän, vilket förklarar de kraftigt stukade och avslagna spetsarna. Påle 5 stoppade vid tre försök på ett block på ca 3,5 m djup och spetsen har därför ej blivit stukad i samma utsträckning som på de två andra uppdragna pålarna.

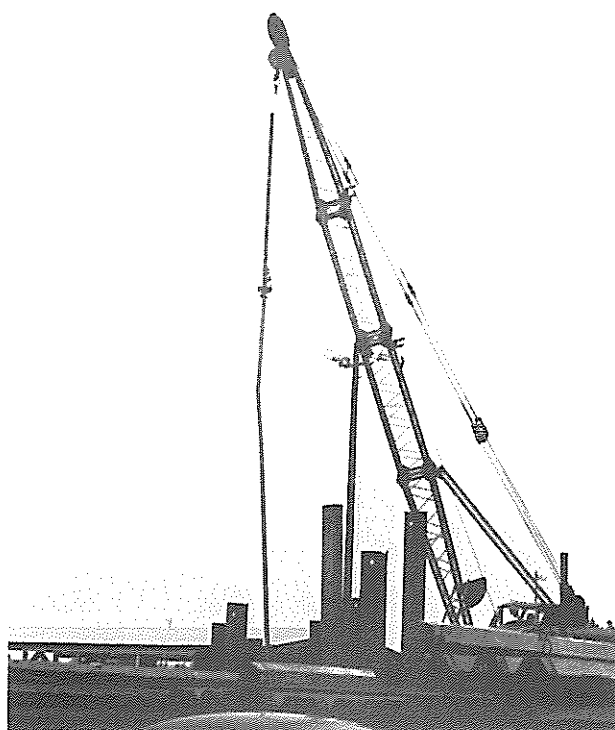


FIG. 26. PÅLE 3 EFTER UPPDRAGNING
Test pile 3 after pulling

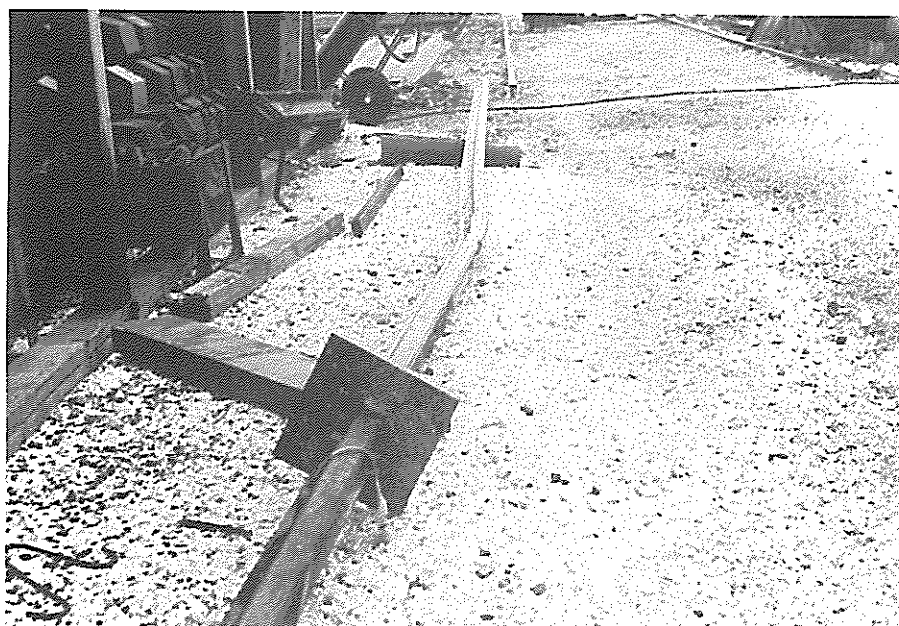


FIG. 27. PÅLE 3 EFTER UPPDRAGNING
Test pile 3 after pulling

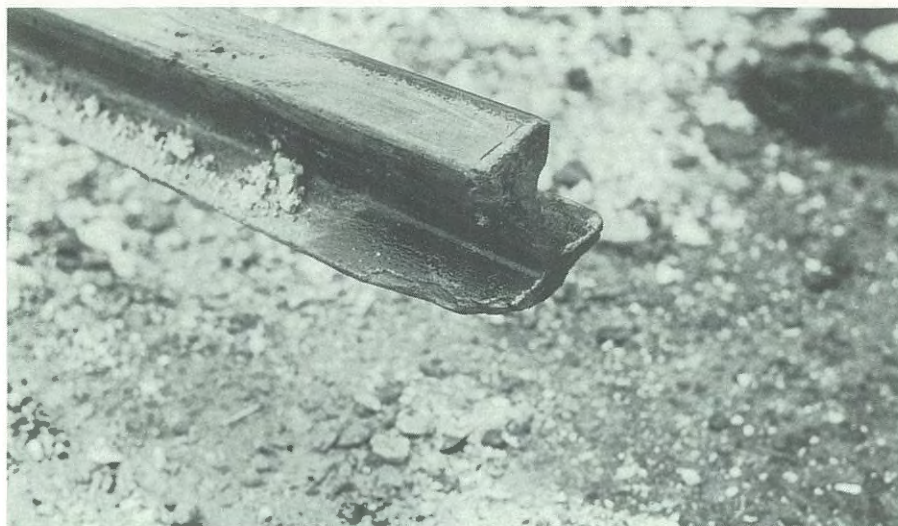


FIG. 28. PÅLSPETSEN PÅ PÅLE 3 EFTER SLAGNING OCH
UPPDRAKNING

The point of pile 3 after driving and pulling



FIG. 29. PÅLE 4 EFTER UPPDRAGNING

Test pile 4 after pulling

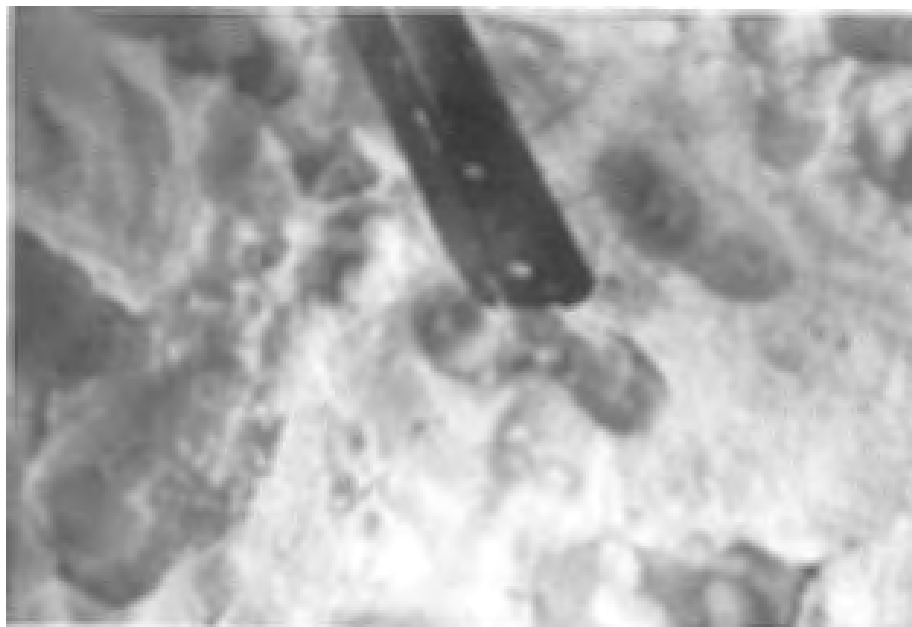


FIG. 30. PÅLSPETSEN PÅ PÅLE 4 EFTER SLAGNING OCH
UPPDRAKNING

The point of pile 4 after driving and pulling



FIG. 31. PÅLSPETSEN PÅ PÅLE 5 EFTER SLAGNING OCH
UPPDRAKNING

The point of pile 5 after driving and pulling

Kalibreringar

Följande kalibreringar av mätutrustningen har gjorts:

a Stötvågsmätning

Vid varje nytt band som användes i databandspelaren (totalt användes 13 band) inspelades en våg med känd amplitud. Denna våg alstrades av kalibreringsenheten på oscilloskopet. När bandet senare spelades upp kunde man kontrollera att signalerna hade lika stor amplitud som vid inspelningen.

Som kontroll utfördes ytterligare en kalibrering. Ungefär en gång per inspelningsavsnitt togs med polaroidkameran på oscilloskopet ett fotografi av ett antal stötvågor i följd. Tidpunkten när bilden togs intalades på bandspelarens talkanal. Ur bilden kan man direkt utläsa stötvågornas maximala amplitud eftersom förstärkningen på oscilloskopet är känd. Ett exempel på en sådan kalibreringsbild visas i fig. 32. Vid avspelningsen från bandet kan man uppsöka tidpunkten då kalibreringsbilden togs och kontrollera att amplituderna är lika stora.

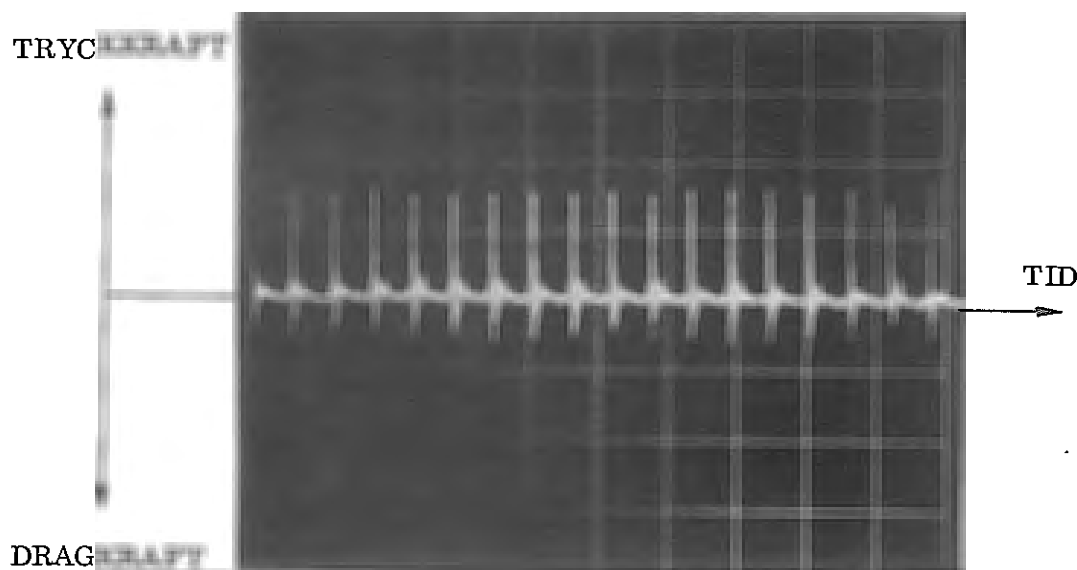


FIG. 32. EXEMPEL PÅ KALIBRERINGSBILD FRÅN OSCILLOSKOPET
(Påle 5; Hejare PH 250 K; Förstärkning 2 mV/ruta; Tidsskala 0,5 s/ruta)

Example of calibration picture from the oscilloscope during driving with air hammer

Utslaget (i mV) på oscilloskopskärmen kan därefter räknas om till töjning i pålen. Omräkningsfaktorn erhöles genom statiska belastningar av bitar av rälspåle och valsämnespåle. Denna kalibrering utfördes i geotekniska institutets 50 Mp-press. Pålelementen var försedda med trådtöjningsgivare applicerade såsom vid fältförsöket. 47,5 Mp kraft gav 3,9 mV spänningsändring på oscilloskopet.

b Flödesmätning

Vid Atlas Copco utfördes en kalibrering av flödesmätaren (se bilaga 1:1). Ur kalibreringsdiagrammet kan man beräkna luftmängden per tidsenhet, om lufttryck och temperatur vid mätsträckan är kända.

c Tryckmätning

Lufttrycket mättes med tre manometrar (se fig. 11) benämnda A, B och C. Manometrarna A och B var precisionsmanometrar och någon kalibrering av dessa har ej utförts. Manometer C var en nålmanometer, som tillhör IVA:s Pålkommission. Nålmanometern kalibrerades genom att jämföra den med precisionsmanometer B. Vid kalibreringen stacks nålmanometern in i slangen omedelbart intill manometer B. Resultatet framgår av bilaga 1:2.

d Provbelastning

De två domkrafterna, som användes vid provbelastningarna, kalibrerades på Institutionen för Byggnadsteknik vid Tekniska Högskolan i Stockholm. Kalibreringen utfördes i institutionens hydrauliska LOS-press och redovisas i bilaga 1:3.

Vid kalibreringen erhöles alltid SCG-domkrafterna en uppåtriktad kolvrörelse, således även vid avlastning. Kolvens hastighet varierade och det visade sig då att kalibreringsvärdena varierade. Friktionskrafterna mot kolven synes sålunda vara en funktion av denna rörelsehastighet. Uppskattningsvis är friktionskraften vid maximal rörelsehastighet hos kolven 1 à 2 Mp per domkraft.

RESULTAT AV FÄLTFÖRSÖK VID HOVSTA, ÖREBRO LÄN, OCH TEGELBACKEN, STOCKHOLMS STAD

Slagningsdiagram och slagningsdata

Nedslagningen av de sju pålarna vid Hovsta har redovisats i slagningsdiagrammen på bilaga 2:1 - 10. I diagrammen har pålspetsens djup under markytan avsatts som funktion av den sammanlagda tiden exklusive avbrott för provbelastningar och andra uppehåll. Vid slagningen med fallhejare på påle 7 har pålspetsens djup avsatts som funktion av summerat antal slag. I diagrammen har uppehåll för provbelastningar etc angivits, samt även vilken typ av hejare som använts under slagningen.

På bilaga 2:10 har samtliga slagningsdiagram för trycklufthejarna sammanställts för att få en jämförelse mellan de olika hejarnas neddrivningsförmåga. Jämförelsen kan i viss mån tyda på att de tyngre hejarna (PH 180 K ny och PH 250 K) har en bättre neddrivningsförmåga än de lättare (PH 5 och TEP 400) när djupet understiger 4 à 5 m. Skillnaden kan dock till stor del förklaras av variationer hos jordens egenskaper. Som framgår av grundundersökningen, varierar dessa relativt mycket inom försöksplatsen. Slagningsdiagrammen från de tre pålarna 1, 2 och 7, som samtliga nedslogs med trycklufthejare PH 5, tyder också på att variationerna är stora.

Uppgifter om hejartyp, pålnummer, pålspetsens djup under markytan, pålens sjunkning per slag samt trycklufthejarens slagtal, lufttryck och luftflöde har sammanställts i bilaga 3. Dessa slagningsdata har redovisats vid de tillfällen som ansetts vara intressanta ur utvärderingssynpunkt och vid varje sådant tillfälle har stötvågorna från tio slag (i vissa fall färre) studerats. Dessa slagserier (serier) har numrerats i kronologisk ordning. Serierna har även angivits i slagningsdiagrammen på bilaga 2.

Beträffande slagningsdiagram och slagningsdata från försöksplatsen vid Tegelbacken, se /20/.

Allmänt om stötvågor

När en slagkolv slår an mot en pålskalle alstras en stötvåg, en sk initialvåg, som rör sig nedåt i pålen. Tryckspänningar råder alltid i denna. Fortplantningshastigheten är lika stor som ljudhastigheten i pålmaterialet ifråga, som för stål är ca 5100 m/s. När initialvågen kommit ned till pålspetsen reflekteras den och fortsätter uppåt i pålen. Om spetsmotståndet är litet, som t ex i lera, reflekteras vågen huvudsakligen som en dragvåg och om spetsmotståndet är stort, som t ex i morän, reflekteras vågen huvudsakligen som en tryckvåg. Följande två ytterlighetsfall för reflektion kan existera:

- Om spetsen är fri blir reflexvågen en dragvåg med samma utseende och varaktighet som initialvågen. Skillnaden är att dragkrafter råder i reflexvågen medan tryckkrafter råder i initialvågen.
- Om spetsen står på ett oändligt hårt underlag blir reflexvågen en tryckvåg som är identisk med initialvågen.

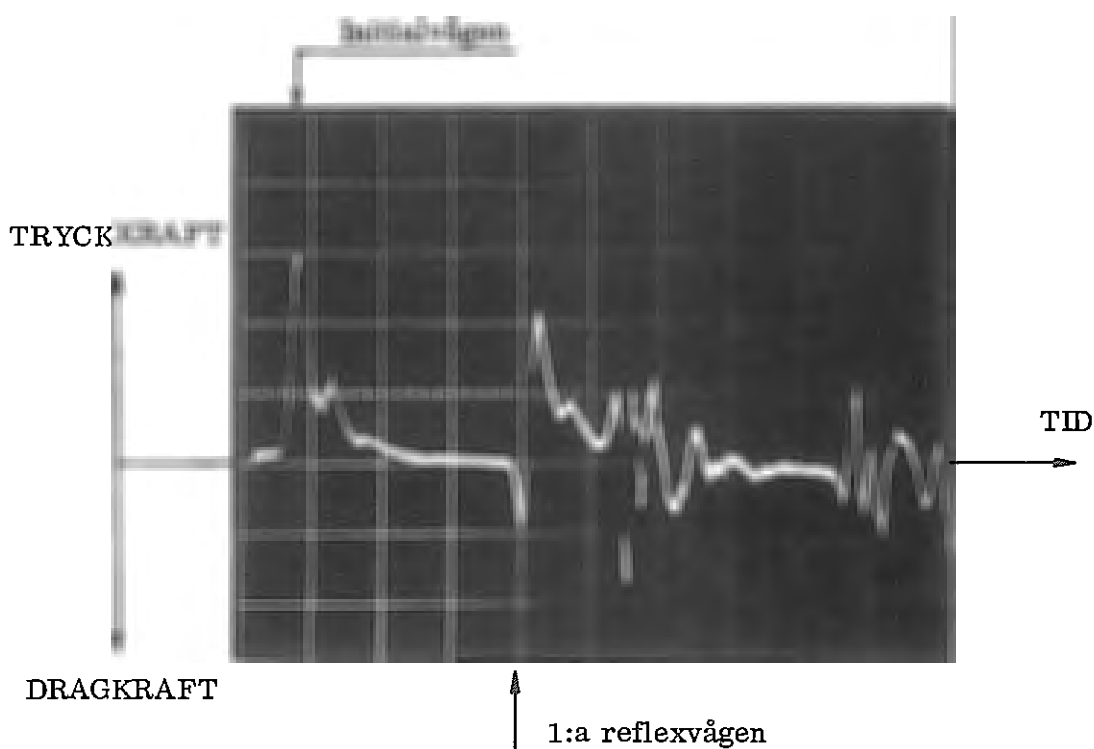


FIG. 33. EXEMPEL PÅ STÖTVÅGSBILD FRÅN OSCILLOSKOPET
(Hejare PH 5; Pålängd 12 m; Givarna 3,5 m från pålskallen;
Kraftskala 12,5 Mp/ruta; Tidsskala 1 ms/ruta)

Example of stress wave picture from the oscilloscope during driving with air hammer

Stötvågorna kan registreras med trådtöjningsgivare som limmas på pålens sida. Trådtöjningsgivarna "känner av" längdändringarna i pålen och översätter dessa till elektriska signaler, som kan registreras på ett oscilloskop. Fig. 33 visar ett exempel på en sådan stötvågsbild som registrerats av givare placerade 3,5 m från pålskallen på 12 m stålpåle. I det redovisade exemplet består reflexvågen (1:a reflexvågen) först av en kort dragvåg och sedan en längre tryckvåg, vilket tyder på att motståndet vid spetsen varit relativt stort. Som framgår av figuren sker efter den första reflexen ett flertal därpå följande reflexer ömsom mot pålskallen ömsom mot pålspetsen. Så småningom klingar stötvågen ut.

Digitalisering av stötvågor

Beräkningen av kraftförloppet vid pålspetsen kan enligt stötvågsteorin /8-17/ utföras genom att summera initialvåg och reflexvåg. Därvid måste stötvågorna förskjutas tidsmässigt så att deras starttider sammanfaller. Summeringen av stötvågorna samt utvärderingen av slagenergi, inträngningshastighet etc, har av praktiska skäl utförts i en dator. En dator kan emellertid inte läsa av de elektriska spänningarna på bandet från bandspelaren utan det är nödvändigt att digitalisera stötvågorna, dvs att översätta spänningarna på bandet till sifvervärden. Vid digitaliseringen låter man en digitalvoltmeter avläsa spänningen med mycket korta tidsmellanrum och får således en rad mätvärden (punkter) som tillsammans beskriver en stötvåg.

I detta fall har digitalvoltmetern vid institutionen för reglerteknik vid Tekniska Högskolan använts. Digitaliseringen har gjorts på serier med tio slag i följd. Digitaliseringsintervallet har varit 0,05 millisekunder och digitaliseringen har avbrutits 6 millisekunder efter startpulsens.

Resultatet från digitaliseringen har erhållits på hålremsor, som överförts på hålkort för vidare behandling i en dator. Metoden att digitalisera stötvågor har beskrivits av Vilander /52/. Sammanlagt har vid föreliggande undersökning ca 1200 slag digitaliserats.

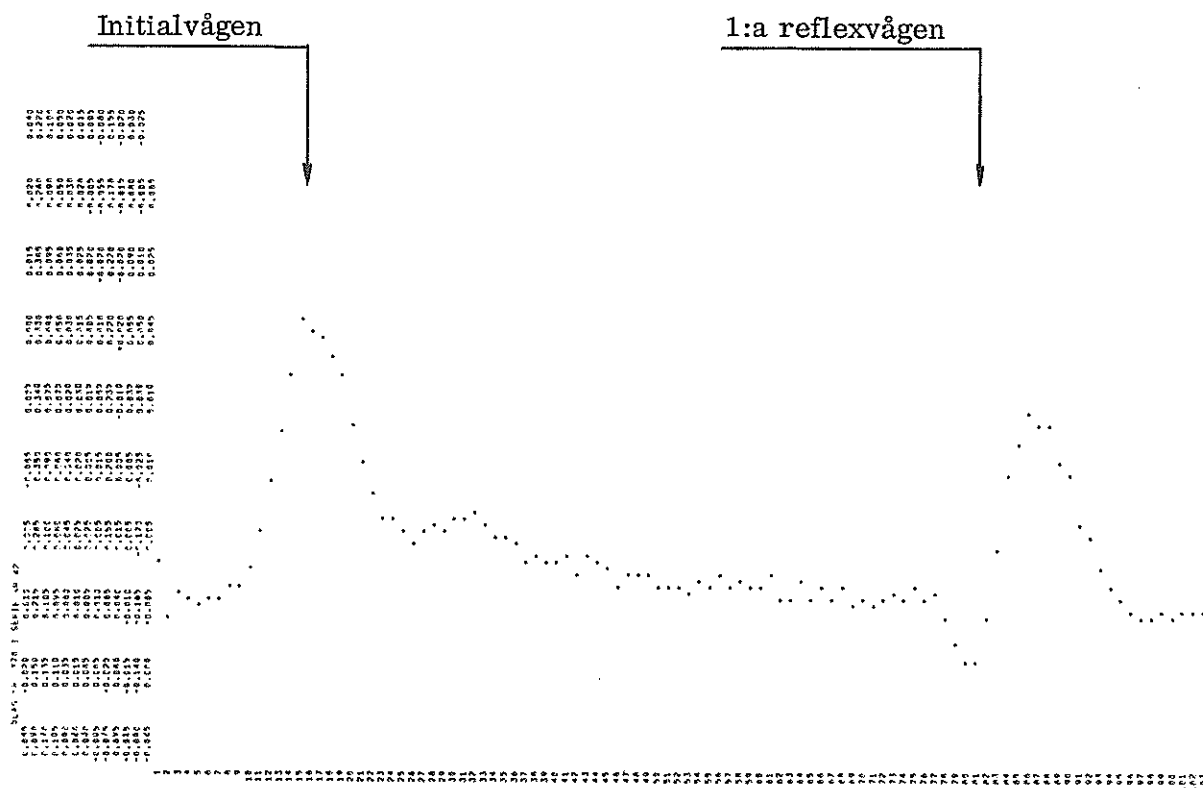


FIG. 34. EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV STÖTVÅG PÅ RADSKRIVARE
Example of stress wave as printed by computer

Databehandling av stötvågor

All databearbetning har utförts på Uppsala Datacentrals dator av typ Control Data 3600 och bearbetningen har gjorts i följande tre steg.

Det första steget består i att låta datorns radskrivare skriva ut de digitaliserade stötvågorna och ett exempel på detta visas i fig. 34. Stötvågen har som synes i princip samma utseende som i fig. 33. Avsikten med utskriften är att ge en möjlighet att sortera bort stötvågor, som av någon anledning blivit felaktiga, t ex genom att digitaliseringen ej startat på triggpulsen utan på stötvågen själv.

Nästa steg består i en medelvärdesberäkning av de stötvågor som är acceptabla i varje slagserie. Denna medelvärdesberäkning, som således sker på max. 10 stötvågor, utförs i datorn och resultatet erhålls även nu i form av en utskrift på maskinens radskrivare. De fortsatta beräkningarna görs på dessa medelvärdeskurvor.

Tredje och sista steget består i en beräkning av bl a kraftförloppet vid påspetsen. Beräkningen utförs enligt ett program utarbetat av Kvickers /30/. Resultatet av hela beräkningen erhålls på tio blad, och som exempel har på bilaga 4 resultatet från databehandlingen av serie 42 redovisats.

Nedan följer en närmare beskrivning av de tio bladen.

- 1) Det första bladet innehåller de ingångsdata som behövs för att man skall kunna utföra beräkningen enligt programmet.
- 2) Här redovisas i digital form de mekaniska spänningarna i initialvågen samt energiinnehållet i densamma. Värdena är redovisade i exponentiell form med 10 som bas (ex 4,500 - 003 utläses som $4,500 \cdot 10^{-3}$).
- 3) För första reflexvågen redovisas motsvarande värden som för initialvågen.
- 4) På detta blad har spänningsförloppet vid påspetsen beräknats genom att summera spänningarna i initialvågen och reflexvågen med sina respektive tecken. Dessutom har påspetsens inträngningshastighet och inträngning beräknats. Inträngningshastigheten är enligt stötvågsteorin proportionell mot skillnaden mellan spänningarna i initialvåg och reflexvåg (med respektive tecken).
- 5) Här ges en sammanfattning av resultaten från de utförda beräkningarna.
- 6) På detta och följande blad redovisas grafiskt vissa kombinationer mellan de på de föregående bladen beräknade parametrarna. På blad 6 visas den från stötvågen till jorden avlämnade energin per slag (i kpm) som funktion av tiden (i ms).
- 7) Här visas sambandet mellan inträngningen (i mm) och tiden (i ms).
- 8) På detta blad har spetsmotståndet (i kp/cm^2) redovisats som funktion av tiden (i ms).
- 9) Sambandet mellan spetsmotståndet (i kp/cm^2) och inträngningen (i mm) visas här. Denna kurva utgör således den dynamiska motsvarigheten till de statiska provbelastningsdiagrammen där man ju också redovisar sambandet mellan kraften (eller spänningen) och sjunkningen (inträngningen).
- 10) Här syns sambandet mellan spetsmotståndet (i kp/cm^2) och inträngningshastigheten (i m/s).

Sammanställning av stötvågsdata

I bilaga 5 har de data som erhållits från stötvågsmätningarna på försöksplatserna vid Hovsta och Tegelbacken sammanställts i tabellform. Här anges för

varje stötvågsserie eller tidpunkt bl a initialkraft ($P_{i,sk}$), spetsmotstånd (P_{sp}), samt pålens uppmätta sjunkning (e). Med benämningarna initialkraft och spetsmotstånd avses här maximala kraften, dvs amplituden, hos initialvåg respektive spetspuls. Bilaga 5:1-4 avser de databeräknade resultaten från Hovstaförsöken och bilaga 5:5-6 avser de grafiskt beräknade resultaten från Tegelbacksförsöken. För att få en jämförelse mellan databeräkning och grafisk beräkning har några av stötvågorna från Tegelbacksförsöken även databehandlats. Resultatet härav redovisas på bilaga 5:7 och motsvarande tidpunkter återfinns på bilaga 5:5-6. De grafiskt beräknade värdena ligger i genomsnitt 8% över de databeräknade.

Mätningarna från slagningen med fallhejare i Hovsta (på påle 7) har ej kunnat bearbetas på samma sätt som vid slagningen med trycklufthejare, beroende på att stötvågen har så lång varaktighet att man ej kan separera initialvåg och reflexvåg. Dessa överlagrar således varandra, vilket framgår av stötvågsbilden på fig. 35. Maximala kraften i stötvågen på givarnas nivå (3,5 m under pålskallen) visar sig i detta fall vara ca 35 Mp.

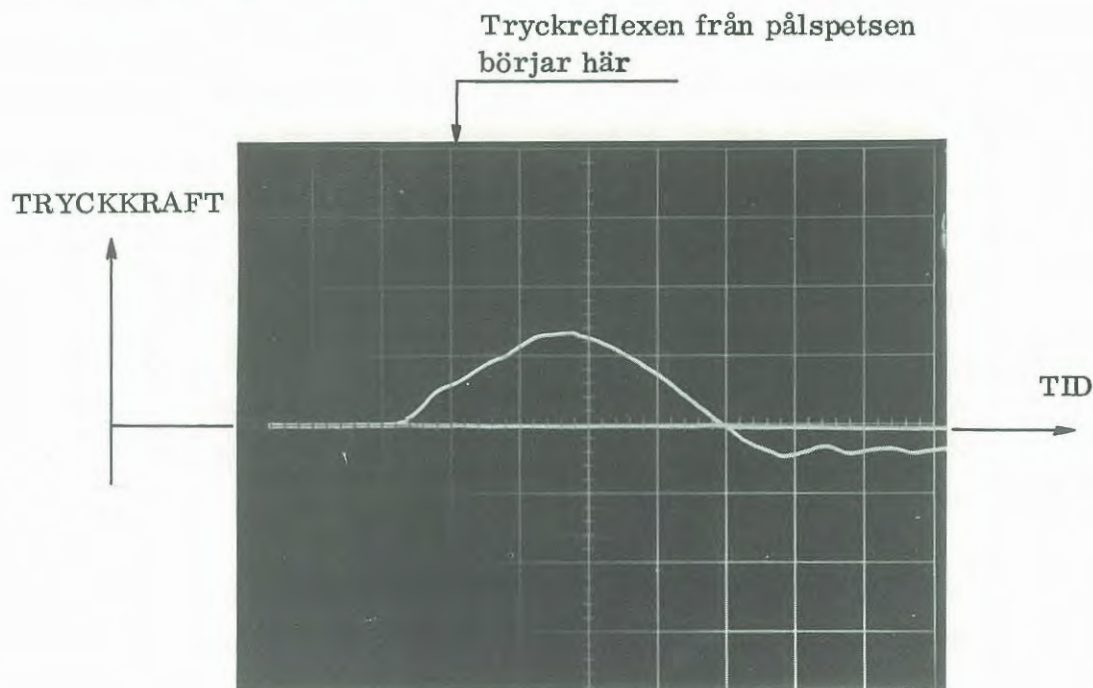


FIG. 35. STÖTVÅGSBILD FRÅN SLAGNING MED FALLHEJARE
(Påle 7; Hejarvikt 2,2 ton; Fallhöjd 40 cm; Hejaren upphängd i dubbel part; Sjunkning 0,25 mm/slag; Kraftskala 25 Mp/ruta; Tidsskala 5 ms/ruta; Pålspetsens djup under markytan 6,76 m)

Example of stress wave picture during driving with drop hammer

Resultat av stötvågsmätningar

Spetsmotståndet i en påle är avhängigt av ett flertal faktorer, bl a pålens sjunkning, hejarens vikt och anslagshastighet samt pålens tvärsnittsarea och längd. Eftersom sjunkningen i hög grad påverkar spetsmotståndet, har, vid den första utvärderingen av resultaten av de utförda stötvågsmätningarna, valts att uppställa de dynamiska spetsmotstånden som funktion av pålens uppmätta sjunkning (i log-skala). Dessa samband har redovisats på fig. 36-44 och gäller samtliga undersökta kombinationer mellan trycklufthejare och pålar.

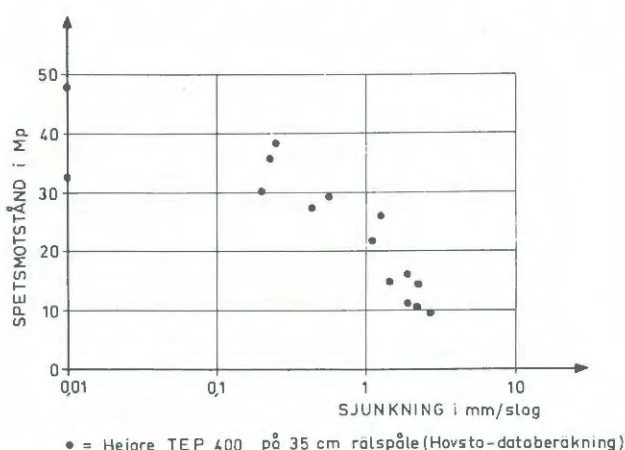


FIG. 36. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
Correlation between force at the pile point and settlement

De värden i fig. 36-38 och 40 som har betecknats som osäkra värden härrör från stötvågsmätningar på pålar som försetts med en stålplatta för att kunna provbelastas (se fig. 14). Denna har influerat mätningarna genom att störa reflexen från pålspetsen, vilket medfört att beräkningarna av spetsmotstånden blivit osäkra.

Som framgår t ex av fig. 38 ökar som väntat spetsmotståndet när sjunkningen avtar. Ökningen tycks vara kraftigare vid en ändring av en stor sjunkning än vid procentuellt sett motsvarande ändring vid en liten sjunkning.

I fig. 38 visas några spetsmotstånd vid sjunkningen 0 mm/min (värdena har inritats vid sjunkningen 0,01 mm/min) som är lägre än motstånden vid större sjunkningar. Detta beror, som nämnts tidigare, på att initialkraften vid dessa

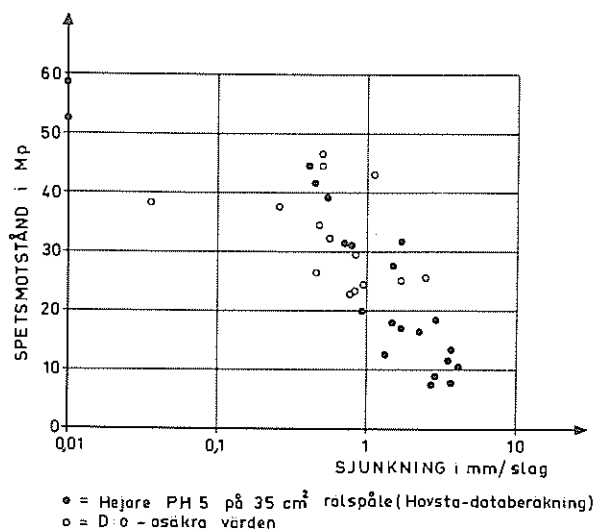


FIG. 37. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
 Correlation between force at the pile point and settlement

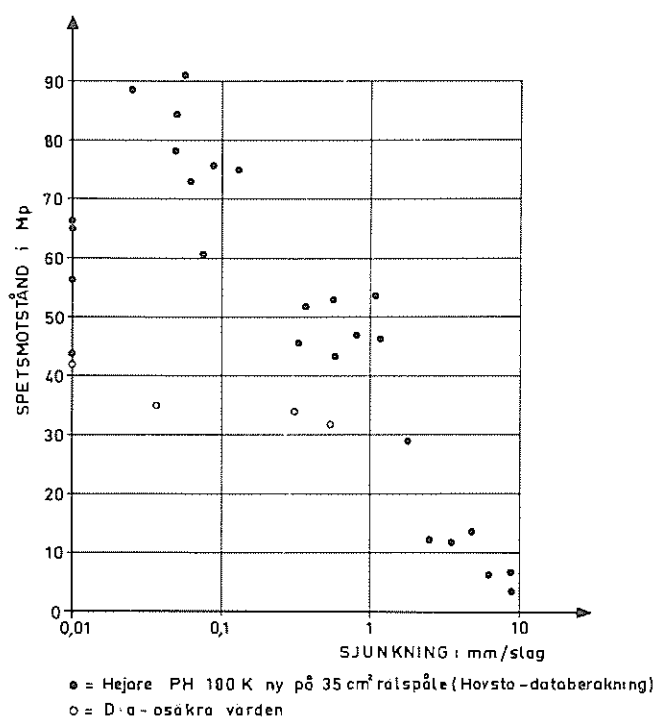


FIG. 38. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
 Correlation between force at the pile point and settlement

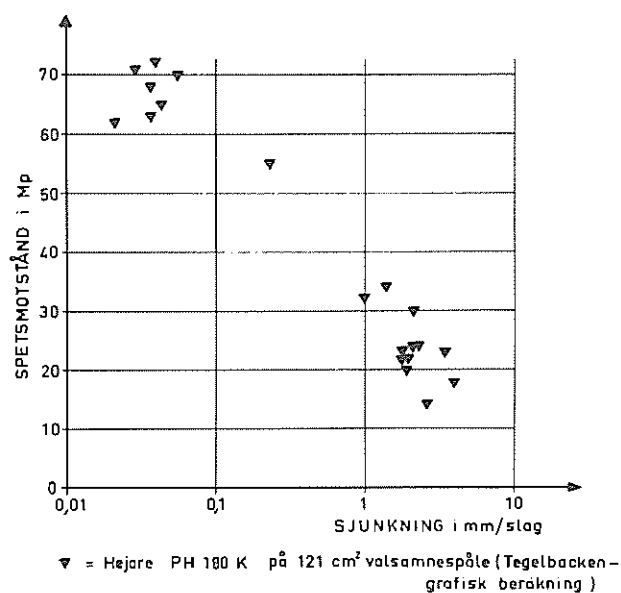


FIG. 39. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
Correlation between force at the pile point and settlement

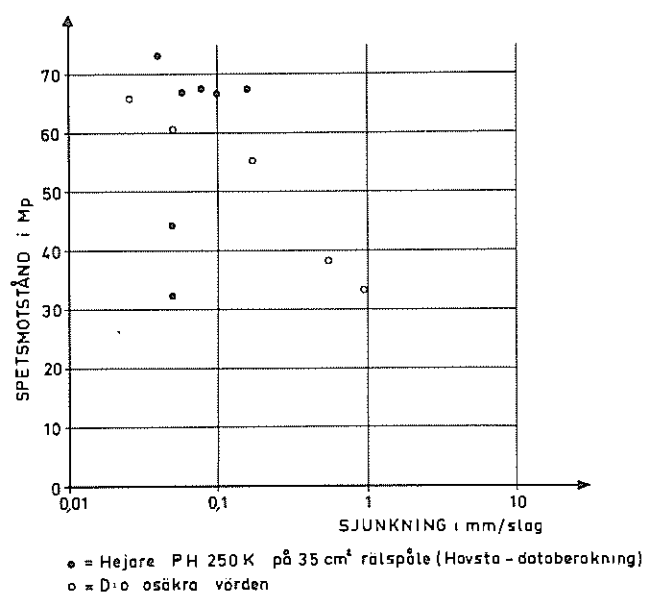


FIG. 40. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
Correlation between force at the pile point and settlement

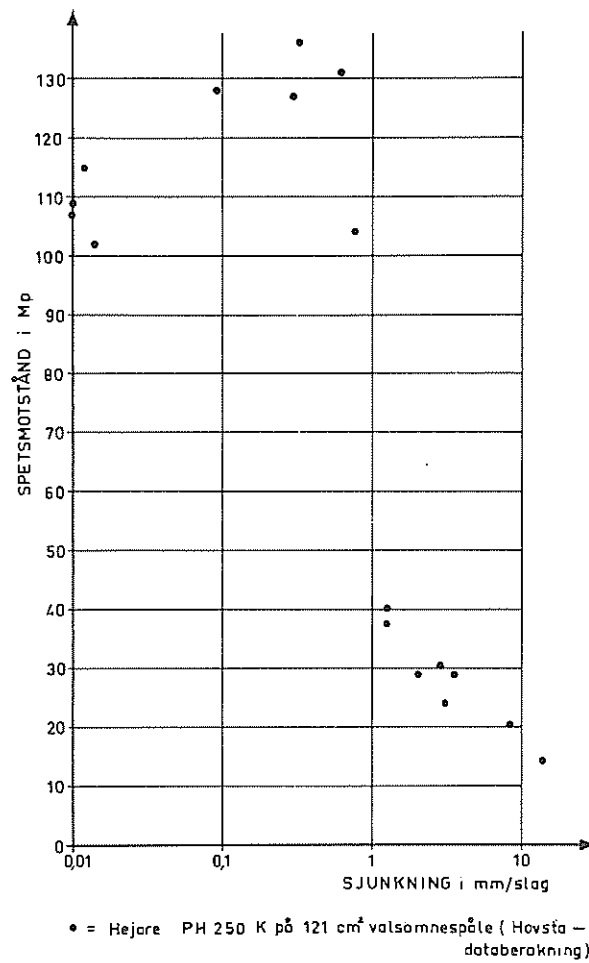


FIG. 41. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
Correlation between force at the pile point and settlement

FIG. 42. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
Correlation between force at the pile point and settlement

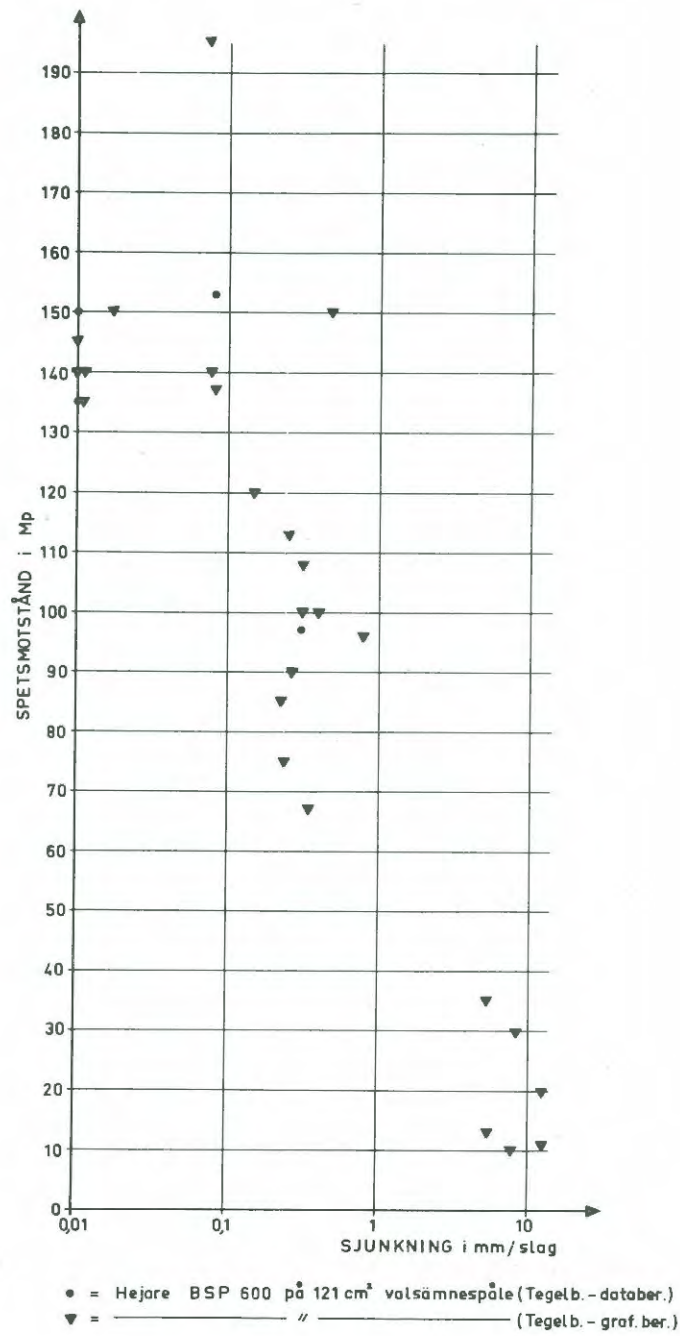


FIG. 43. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
 Correlation between force at the pile point and settlement

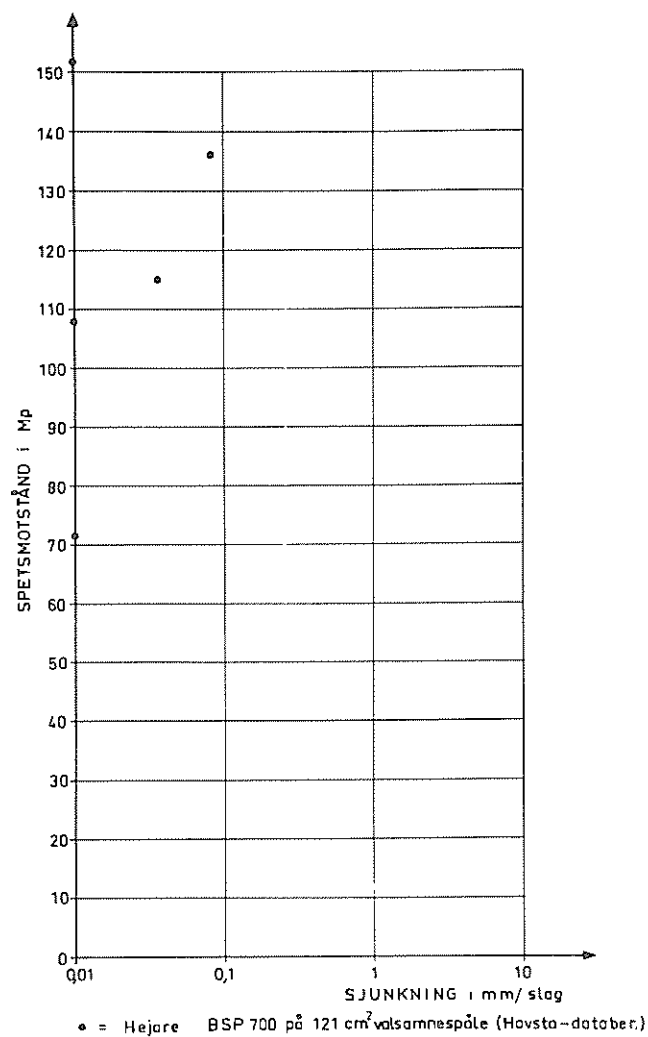


FIG. 44. SAMBAND MELLAN SPETSMOTSTÅND OCH SJUNKNING
Correlation between force at the pile point and settlement

mätningar avsiktligt sänkts genom att lufttillförseln till trycklufthejaren strypts. Därigenom har slagkolvens anslagshastighet minskats.

Som nämnts tidigare gjordes vid Hovstaförsöken en undersökning över hur en dålig styrning mellan hejare och påle påverkar initialkraften. En 35 cm^2 räls-påle slogs med en trycklufthejare Atlas Copco PH 180 K ny, dels med en vinkel mellan hejarens och pålens längdriktning på ca 1:12 (under serierna 37-54), dels med en vinkel på ca 1:60 (under serierna 55-69). Medelvärdet av initialkraften i det första fallet blev 39,9 Mp och i det senare fallet 47,3 Mp. I de två fallen har emellertid luftflödena till hejarna ej varit desamma. Medelvärdet av luftflödet i det första fallet var 4,7 och i det senare fallet $5,5 \text{ m}^3/\text{min}$. Som senare skall visas är initialkraften för en och samma trycklufthejare i stort sett en funktion av kvadratroten av luftflödet, dvs i ovannämnda fall 2,17 respektive 2,35. I stort sett samma förhållande råder mellan initialkrafterna, varför denna undersökning tyder på att snedslagning av en stålpåle ej har nämnvärd inverkan på initialkraften. Däremot kan andra nackdelar uppstå i samband med snedslagning, t ex ökat buller.

Av ovanstående primära resultat, som de redovisats på fig. 36-44, finner man att spetsmotståndet i en stålpåle är en funktion av bl a pålens uppmätta sjunkning, lufttillförseln till trycklufthejaren, typen av trycklufthejare och typen eller tvärsnittsarean hos pålen. När man har så många variabler som påverkar en storhet, kan man normalt ej ge några enkla generella regler för att bestämma storhetens värde, utan man blir tvungen att uttrycka sambandet mellan storheten och variablerna med en formel.

Resultat av provbelastningar vid Hovsta

Vid Hovstaförsöken utfördes sammanlagt femton provbelastningar, vilka har redovisats på bilaga 6 som kraft-deformationskurvor. Som nämnts ovan utfördes samtliga provbelastningar enligt metoden med konstant hastighet vid nedpressningen av pålskallen. I diagrammen på bilaga 6 redovisas som jämförelse pålens teoretiska elastiska förkortning under antagande att kraften på pålskallen helt överförs till pålspetsen.

En första iakttagelse kan göras ur provbelastningsdiagrammen, nämligen att dessa har ett relativt ojämnt förlopp med "knyckar" som man ej är van vid från provbelastningar på stöd- eller friktionspålar av betong. En trolig förklaring därtill är att den lastöverförande ytan vid spetsen på en stålpåle är relativt liten, speciellt som spetsarna på de räls-pålar som provbelastades vid Hovsta var avslagna och stukade (se fig. 28 och 30). När pålarna under provbelastningen pressas ned träffar spetsarna på stenar eller hårda skikt som ger ett tillfälligt ökat spetsmotstånd.

Det är svårt att på provbelastningskurvorna utvärdera brottlasten (P_{brott}) entydigt. Det visar sig t ex att brottlastkriteriet enligt den s k "90%-regeln" ej är användbart i detta fall, eftersom kurvorna har ett så ojämnt förlopp. Därför har brottlasten valts relativt subjektivt som den punkt där sjunkningen visar en starkt ökande tendens. Den övre gränsen för deformationen vid brottlasten har satts till ca 15 mm. Den brottlast som valts har angivits med en ring i diagrammen på bilaga 6.

Vid vissa provbelastningar har man erhållit klart definierade brott, som vid belastningarna 2, 5, 7, 8 och 15. Det är då svårt att veta om brottet beror på att en sten framför pålspetsen plötsligt trängts åt sidan, eller om brottet orsakats av att pålen knäckt ut. Att det senare kan inträffa visade sig nämligen vid uppdragningen av pålarna 3 och 4 (se fig. 26, 27 och 29). Förmodligen har knäckning ej skett vid belastningarna 2 och 5, eftersom dessa pålar senare belastats och då kunnat uppta högre krafter. Däremot inträffade med stor sannolikhet knäckning av påle 3 vid provbelastning 7. Det är även högst sannolikt att påle 4 knäcktes redan vid första provbelastningen (provbeltastning 8). I så fall skulle samtliga efterföljande provbelastningar på påle 4 ha influerats därav.

Knäckningen av pålarna 3 och 4 inträffade sannolikt mellan 60 och 80 Mp. Utknäckningen skedde i den lösa leran på ca 3,5 m djup. En beräkning av knäcklasten enligt den av Rinkert föreslagna metoden med antagande om plasticering av stålet /36/, har givit ca 45 Mp, vid skjuvhållfastheten 0,8 Mp/m² hos leran. Den verkliga knäcklasten är således i detta fall av storleksordningen 50% högre än den beräknade.

Resultaten av provbelastningarna har sammanfattats i tabellform på bilaga 7. Det kanske mest förvånansvärda resultatet är att man fått höga brottlaster även vid stora sjunkningar hos pålen; storleksordningen 0,5 mm/slag (ca 150 mm/min) med en så lätt trycklufthejare som PH 5 har givit 30 à 40 Mp i brottlast (se provbelastning 2, 5 och 6). Detta är resultat som pekar i positiv riktning för trycklufthejarnas förmåga att driva ned klena stålpålar.

Några direkta slutsatser av provbelastningsresultaten kommer ej att dras i detta kapitel. I ett följande kapitel kommer emellertid den statiska brottlasten (det statiska spetsmotståndet) att ställas i relation till det dynamiska spetsmotståndet. Hur kvoten mellan dessa spetsmotstånd varierar med pålens sjunkning utgör en av de viktigaste resultaten av föreliggande utredning.

PÅLFORMEL FÖR LÄTTA SLAGDON PÅ STÅLPÅLAR

Allmänt

Enligt det föregående är det dynamiska spetsmotståndet en funktion av ett flertal faktorer som slagdonets dimension, lufttillförseln till trycklufthejaren, pålens tvärsnittsarea, pålens sjunkning etc. För att kunna beräkna hur alla dessa faktorer påverkar spetsmotståndet är det nödvändigt att inordna dem i en pålformel.

I första hand har undersökts om någon av de konventionella pålformlerna, t ex Kreügers formel, är användbar. Det visar sig dessvärre att man med dessa formler får dynamiska spetsmotstånd (vilka i formlerna satts lika med de statiska brottlasterna), som endast är av storleksordningen en tiondel av den kraft som uppmätts vid stötvågsmätningarna. Detta beror på att de konventionella pålformlerna bygger på antagandet att pålen är belastad med en konstant dynamisk kraft utefter hela sin längd. Detta antagande kan vara rimligt vid pålning med tunga hejare. Vid slagning med lätta trycklufthejare har stötvågsmätningarna emellertid visat att kraften längs pålen närmast har en triangulär fördelning, samt att i ett visst ögonblick endast en del av pålen är utsatt för dynamisk belastning.

En annan tanke har varit att undersöka om man för trycklufthejare och andra lätta slagdon skulle kunna tillämpa Kreügers formel med den modifiering som föreslagits av Hellman /24/. Modifieringen innebär att man vid beräkningen av fjädringen i pålen sätter in en reducerad pållängd. Vikten av denna längd av pålen skall stå i proportion till slagkolvens vikt. För de i denna skrift redovisade mätningarna på trycklufthejare har en jämförelse mellan de uppmätta och de med den modifierade pålformeln beräknade dynamiska spetsmotstånden visat, att man för att få överensstämmelse måste beräkna fjädringen på pållängder vars vikter varierar mellan 0,2 och 4,8 gånger slagkolvens vikt. Någon systematisk variation hos värdena med avseende på slagkolvens vikt eller pålens tvärsnittsarea har ej kunnat finnas, varför den modifierade pålformeln ej ansetts vara applicerbar vid slagning med lätta slagdon på stålpålar.

Återstår endast att härleda en pålformel för lätta slagdon. Man har då två tänkbara vägar att gå för att bestämma spetsmotståndet; antingen att göra en energibetraktelse eller en stötvågsteoretisk betraktelse. Vid denna utredning har den senare vägen valts. Detta beror på att man vid lätta slagdon ej kan anta samma "enkla" kraftförlopp som vid tunga slagdon där man antar att pålen är belastad med en dynamisk kraft utefter hela sin längd. För att kunna göra en energibetraktelse för lätta slagdon måste man nämligen inte bara kunna bestämma hur stor energi som förs ned i pålen, utan även hur stor energi som går ut i jorden och hur stor energi som reflekteras upp i pålen igen.

Härledning av pålformel

Vid ett närmare studium av de stötvågor som registrerats vid Hovsta och Tegelbacken finner man att initialvågen och reflexvågen tämligen väl kan approximeras med triangelformade figurer. Initialvågens och reflexvågens varaktighet och amplitud tycks stå i visst förhållande till varandra.

Om man antar att initialvågens och reflexvågens amplitud och varaktighet är kända kan man med stötvågsteorins hjälp härleda ett samband mellan det dynamiska spetsmotståndet och pålens sjunkning, dvs man kan härleda en pålformel, vilket har gjorts i detta kapitel. I följande kapitel visas hur man med ingångsdata som luftflöde, slagkolvens vikt, pålens area m , kan bestämma initialvågens och reflexvågens amplituder och varaktigheter.

Enligt stötvågsteorin /8-17/ kan spetskraft och partikelhastighet vid tidpunkten t efter stötvågens början beräknas ur kraften i initialvågen och reflexvågen vid pålspetsen enligt följande två ekvationer

$$p_{sp}(t) = p_{i, sp}(t) + p_{r, sp}(t) \quad (1)$$

$$v_{sp}(t) = \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \left[p_{i, sp}(t) - p_{r, sp}(t) \right] \quad (2)$$

Dessutom kan spetsens rörelse fram till tidpunkten t beräknas med ekvationen

$$s_{sp}(t) = \int_0^t v_{sp}(t) \cdot dt \quad (3)$$

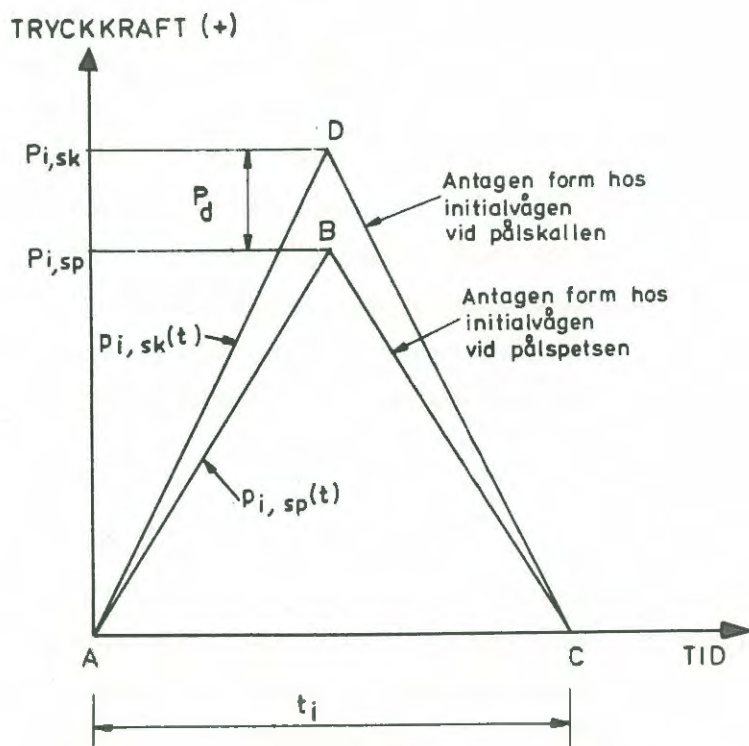


FIG. 45. ANTAGET UTSEENDE HOS INITIALVÅGEN

Assumed form of the initial wave

Ekvationerna (1) - (3) visar att man kan beräkna krafterna i spetsvågen samt pålens sjunkning om man känner initialvågen och reflexvågens utseende vid pålspetsen.

Antag, att initialvågen vid pålspetsen kan approximeras med den likbenta triangeln A B C i fig. 45. Triangelns amplitud är $P_{i,sp}$ och varaktighet t_i .

Antag vidare att reflexvågen vid pålspetsen kan approximeras med figuren E F G H I i fig. 46. Denna figur bildas av de två likbenta och likformiga triangeln E F G E och G H I G. Den första triangeln har amplituden $-P_{r,d,sp}$ och varaktigheten $t_{r,d}$ och den andra triangeln har amplituden $P_{r,t,sp}$ och varaktigheten $t_{r,t}$.

Antagandet att triangeln är likbenta har gjorts för att förenkla härledningen. Antagandet innebär emellertid ej så stor begränsning, eftersom toppunkten kan förskjutas i initialvågen och i proportion därtill även i reflexvågen utan att maximalkraft, totalsjunkning och totalenergi ändras.

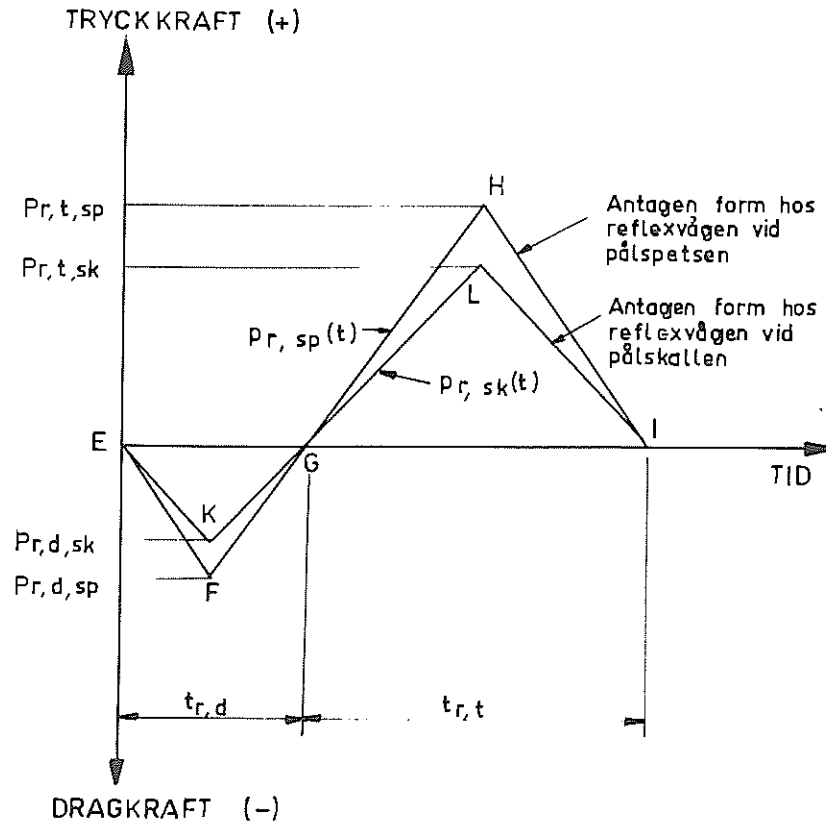


FIG. 46. ANTAGET UTSEENDE HOS REFLEXVÅGEN

Assumed form of the reflexion wave

Av likformigheten följer att

$$\frac{P_{r,t,sp}}{t_{r,t}} = \frac{-P_{r,d,sp}}{t_{r,d}} \quad (4)$$

Stötvågsmätningarna från Hovsta och Tegelbacken ger anledning att anta att

$$t_{r,d} + t_{r,t} \geq t_i \quad (5)$$

Enligt ekvation (1) blir då kraften i stötvågen vid pålspetsen enligt nedan.

Beräkningen har åskådliggjorts på fig. 47 och i nedanstående ekvation skall krafterna insättas med sina tecken (tryck = + och drag = -).

$$p_{sp}(t)_{MN} = \frac{2 \cdot t \cdot P_{i,sp}}{t_i} + \frac{2 \cdot t \cdot P_{r,d,sp}}{t_{r,d}} \quad (6a)$$

för $0 \leq t \leq \frac{t_{r,d}}{2}$

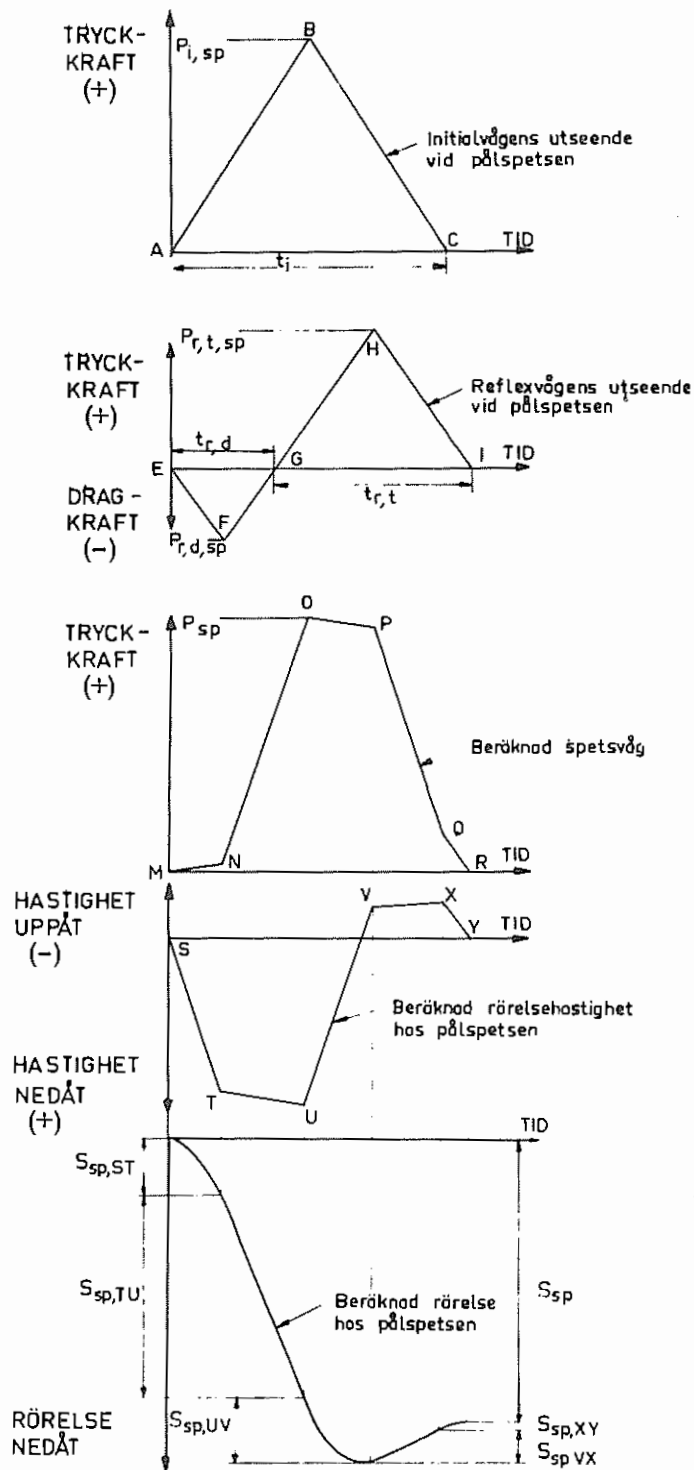


FIG. 47. BERÄKNING AV SPETSVÅG OCH SPETSRÖRELSE
Calculation of stress wave and movement at the point

$$\begin{aligned}
p_{sp}(t)_{NO} &= \frac{2 \cdot t \cdot P_{i, sp}}{t_i} + P_{r, d, sp} + \\
&+ \frac{(2t - t_{r, d})(P_{r, t, sp} - P_{r, d, sp})}{t_{r, d} + t_{r, t}} \\
&\text{för } \frac{t_{r, d}}{2} \leq t \leq \frac{t_i}{2}
\end{aligned} \tag{6b}$$

$$\begin{aligned}
p_{sp}(t)_{OP} &= \frac{2(t_i - t) \cdot P_{i, sp}}{t_i} + P_{r, d, sp} + \\
&+ \frac{(2t - t_{r, d})(P_{r, t, sp} - P_{r, d, sp})}{t_{r, d} + t_{r, t}} \\
&\text{för } \frac{t_i}{2} \leq t \leq t_{r, d} + \frac{t_{r, t}}{2}
\end{aligned} \tag{6c}$$

$$\begin{aligned}
p_{sp}(t)_{PQ} &= \frac{2(t_i - t) \cdot P_{i, sp}}{t_i} + \\
&+ \frac{2(t_{r, d} + t_{r, t} - t)}{t_{r, t}} \cdot P_{r, t, sp} \\
&\text{för } t_{r, d} + \frac{t_{r, t}}{2} \leq t \leq t_i
\end{aligned} \tag{6d}$$

$$\begin{aligned}
p_{sp}(t)_{QR} &= \frac{2(t_{r, d} + t_{r, t} - t)}{t_{r, t}} \cdot P_{r, t, sp} \\
&\text{för } t_i \leq t \leq t_{r, d} + t_{r, t}
\end{aligned} \tag{6e}$$

Maximala spetskraften, det sk spetsmotståndet (P_{sp}), uppstår antingen i punkt O eller P.

Lutningen på linjen OP blir

$$\frac{d}{dt} [p_{sp}(t)_{OP}] = - \frac{2 P_{i, sp}}{t_i} + \frac{2 (P_{r, t, sp} - P_{r, d, sp})}{t_{r, d} + t_{r, t}} \tag{7}$$

Med ledning av stötvågsmätningen på påle 5 i Hovsta, som stoppade på ett hårt skikt nära markytan, har följande antagande gjorts

$$P_{r, t, sp} - P_{r, d, sp} = P_{i, sp} \quad (8)$$

Ekv. (5), (7) och (8) gör att ekv. (7) blir ≤ 0 , dvs lutningen på linjen OP är negativ eller horisontell och maximala spetskraften inträffar alltså i punkt O.

I denna punkt är enligt ekv. (4), (6c) och (8)

$$P_{sp} = P_{i, sp} \cdot \frac{t_i - t_{r, d} + t_{r, t}}{t_{r, d} + t_{r, t}} \quad (9)$$

Enligt ekv. (2) blir spetsens rörelsehastighet (se fig. 47)

$$v_{sp}^{(t) ST} = \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \left[\frac{2 t \cdot P_{i, sp}}{t_i} - \frac{2 t \cdot P_{r, d, sp}}{t_{r, d}} \right] \\ \text{för } 0 \leq t \leq \frac{t_{r, d}}{2} \quad (10a)$$

$$v_{sp}^{(t) TU} = \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \left[\frac{2 t \cdot P_{i, sp}}{t_i} - P_{r, d, sp} - \frac{(2 t - t_{r, d}) (P_{r, t, sp} - P_{r, d, sp})}{t_{r, d} + t_{r, t}} \right] \\ \text{för } \frac{t_{r, d}}{2} \leq t \leq \frac{t_i}{2} \quad (10b)$$

$$v_{sp}^{(t) UV} = \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \left[\frac{2 (t_i - t) \cdot P_{i, sp}}{t_i} - P_{r, d, sp} - \frac{(2 t - t_{r, d}) (P_{r, t, sp} - P_{r, d, sp})}{t_{r, d} + t_{r, t}} \right] \\ \text{för } \frac{t_i}{2} \leq t \leq t_{r, d} + \frac{t_{r, t}}{2} \quad (10c)$$

$$v_{sp}(t)_{VX} = \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \left[\frac{2(t_i - t) \cdot P_{i, sp}}{t_i} - \frac{2(t_{r, d} + t_{r, t} - t)}{t_{r, t}} \cdot P_{r, t, sp} \right]$$

för $t_{r, d} + \frac{t_{r, t}}{2} \leq t \leq t_i$ (10d)

$$v_{sp}(t)_{XY} = \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \left[\frac{2(t - t_{r, d} - t_{r, t})}{t_{r, t}} \cdot P_{r, t, sp} \right]$$

för $t_i \leq t \leq t_{r, d} + t_{r, t}$ (10e)

Vid databehandlingen av stötvågorna har pålens sjunkning under stötvågsförloppet beräknats. När den uppmätta sjunkningen är liten har det visat sig att den beräknade sjunkningen alltid är större än den uppmätta. Detta fenomen kan förklaras med att pålspetsen "långsamt" fjädrar upp mellan slagen. Därför har antagits att pålspetsens rörelse sker enligt fig. 48. Rörelsen kan uppdelas i rörelse under stötvågsförloppet samt rörelse p g a spetsens återfjädring mellan slagen.

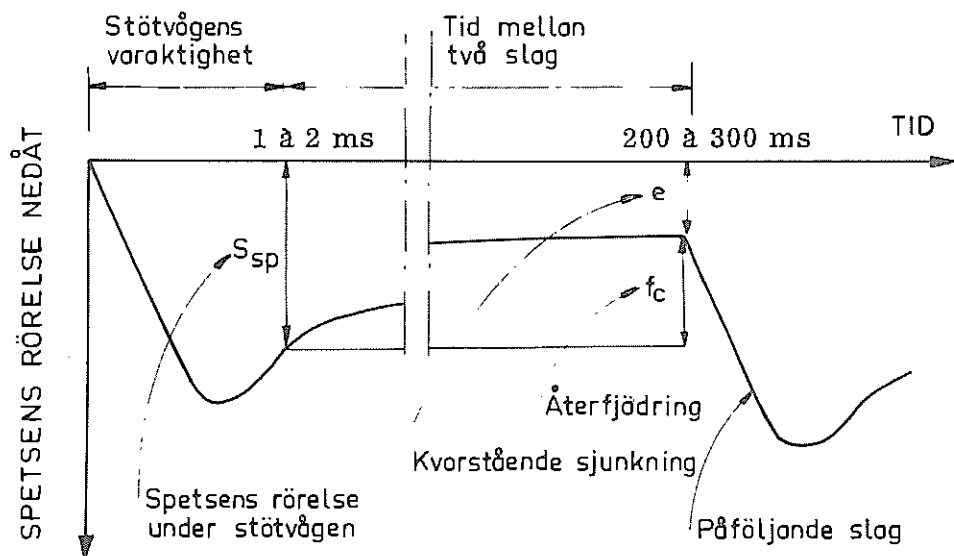


FIG. 48. ANTAGEN RÖRELSE HOS PÅLSPETSEN

Assumed movement of pile point

Då är

$$S_{sp} = f_c + e \quad (11)$$

Enligt fig. 47 är

$$S_{sp} = S_{sp, ST} + S_{sp, TU} + S_{sp, UV} + S_{sp, VX} + S_{sp, XY} \quad (12)$$

Enligt ekv. (3) och (10) är

$$\begin{aligned} S_{sp, ST} &= \int_{t=0}^{t=\frac{t_{r,d}}{2}} v_{sp}(t) S_T \cdot dt = \\ &= \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \int_{t=0}^{t=\frac{t_{r,d}}{2}} \left[\frac{t^2 \cdot P_{i, sp}}{t_i} - \frac{t^2 \cdot P_{r, d, sp}}{t_{r, d}} \right] dt = \\ &= \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \left[\frac{t_{r, d}^2 \cdot P_{i, sp}}{4 \cdot t_i} - \frac{t_{r, d} \cdot P_{r, d, sp}}{4} \right] \quad (13a) \end{aligned}$$

$$S_{sp, TU} = \int_{t=\frac{t_{r,d}}{2}}^{t=\frac{t_i}{2}} v_{sp}(t) T_U \cdot dt = \dots\dots\dots \quad (13b)$$

etc.

Ekv. (8), (12) och (13) ger

$$S_{sp} = \frac{c_p \cdot P_{i, sp}}{2 \cdot E_p \cdot A_p} \left[t_i + t_{r, d} - t_{r, t} \right] \quad (14)$$

Ekv. (9) och (14) ger

$$P_{sp} = \frac{2 \cdot t_i \cdot P_{i, sp}}{t_{r, d} + t_{r, t}} - \frac{2 \cdot E_p \cdot A_p \cdot S_{sp}}{c_p \cdot (t_{r, d} + t_{r, t})} \quad (15)$$

Sätt

$$\frac{t_{r, d} + t_{r, t}}{t_i} = k_v \quad (16)$$

som är ≥ 1 enligt ekv. (5) samt för in ekv. (11) i ekv. (15). Då fås

$$P_{sp} = \frac{2 \cdot P_{i, sp}}{k_v} - \frac{2 E_p \cdot A_p (f_c + e)}{c_p \cdot k_v \cdot t_i} \quad (17)$$

Generellt gäller att

$$W_i = \int_{t=0}^{t=t_i} p_{i, sk}(t) \cdot v_{i, sk}(t) \cdot dt \quad (18)$$

Om initialvågens form vid pålskallen antas beskrivas av figuren ADC i fig. 45 blir

$$W_i = 2 \cdot \int_{t=0}^{t=\frac{t_i}{2}} \frac{2t}{t_i} \cdot P_{i, sk} \cdot \frac{c_p}{E_p \cdot A_p} \cdot \frac{2t}{t_i} \cdot P_{i, sk} \cdot dt \quad (19)$$

Ekv. (19) ger

$$t_i = \frac{3 \cdot W_i \cdot E_p \cdot A_p}{P_{i, sk}^2 \cdot c_p} \quad (20)$$

Ekv. (17) och (20) ger

$$P_{sp} = \frac{2 \cdot P_{i, sp}}{k_v} - \frac{2 \cdot P_{i, sk}^2 (f_c + e)}{3 \cdot k_v \cdot W_i} \quad (21)$$

Friktionskrafterna mellan pålens mantelyta och omgivande jord gör att initialvågen dämpas vid passagen ned genom pålen. Dämpningen av initialvågens amplitud (P_d) definieras av följande samband (se även fig. 45)

$$P_{i, sp} = P_{i, sk} - P_d \quad (22)$$

Inför beteckningen α på kvoten mellan statiskt spetsmotstånd (brottlast) och dynamiskt spetsmotstånd.

$$\alpha = \frac{P_{\text{brott}}}{P_{\text{sp}}} \quad (23)$$

Ekv. (21), (22) och (23) ger då

$$P_{\text{brott}} = \alpha \cdot P_{\text{sp}} = \alpha \cdot \left[\frac{2 \cdot (P_{i, \text{sk}} - P_d)}{k_v} - \frac{2 \cdot P_{i, \text{sk}}^2 \cdot (f_c + e)}{3 \cdot k_v \cdot W_i} \right] \quad (24)$$

Enligt stötvågsteorin är det teoretiska värdet på $P_{i, \text{sk}}$

$$P_{i, \text{sk, teor}} = v_o \cdot \frac{\frac{E_h \cdot A_h}{c_h} \cdot \frac{E_p \cdot A_p}{c_p}}{\frac{E_h \cdot A_h}{c_h} + \frac{E_p \cdot A_p}{c_p}} \quad (25)$$

Antag, att initialkraften dämpas vid övergången från hejare till påle med faktorn η . Då är

$$P_{i, \text{sk}} = \eta \cdot P_{i, \text{sk, teor}} \quad (26)$$

Ekv. (25) och (26) ger

$$P_{i, \text{sk}} = \eta \cdot v_o \cdot \frac{\frac{E_h \cdot A_h}{c_h} \cdot \frac{E_p \cdot A_p}{c_p}}{\frac{E_h \cdot A_h}{c_h} + \frac{E_p \cdot A_p}{c_p}} \quad (27)$$

Ekv. (24) och (27) utgör tillsammans en pålformel, som är giltig under förutsättning att man kan approximera stötvågorna med triangulära figurer enligt ovan. Denna pålformel har kallats "stötvågspålformeln".

För att i praktiken kunna använda stötvågspålformeln måste man bestämma parametrarna P_d , k_v , f_c , W_i , $\eta \cdot v_o$ samt α . För stålpålar kommer detta att göras i följande kapitel.

BESTÄMNING AV PARAMETRARNAS I PÅLFORMELN

Allmänt

Bestämningen av parametrarna som ingår i stötvågspålförmeln, ekv. (24) och (27), har huvudsakligen gjorts med ledning av de stötvågs- mätningar som utförts vid Hovsta och Tegelbacken. I viss mån har även resultat från mätningar vid Centralstationen i Stockholm /23/, /38/ samt Lidingöbron /32/ använts.

Bestämning av dämpningen P_d

Dämpningen P_d definieras av ekv. (22). Definitionen framgår även av fig. 45. Dämpningen P_d anger hur mycket av initialvågens amplitud som dämpas bort (vid passagen ned genom pålen) på grund av friktionskrafterna mellan pålen och omgivande jord.

Dämpningen är en mycket viktig faktor vid slagning av pålar, i synnerhet när det gäller långa pålar. Normalt beaktas dämpningen ej i pålförmeln. Stötvågs- mätningar bl a på långa betongpålar i lera i Göteborg, har visat att dämpning- en kan bli avsevärd. Hellman har därför i sin modifierade pålförmel /24/ an- tagit att stötvågskraften dämpas 0,5% per längdmeter påle.

För att bestämma dämpningen bör man helst utföra stötvågs- mätningar med givare på flera nivåer i pålen. Man kan då studera hur stötvågens amplitud avtar mellan nivåerna. En sådan undersökning utförs f n av författaren till denna skrift. Undersökningen görs på fyra modellpålar som slås i olika jord- arter.

Det finns dock en metod att bestämma dämpningen även om man, såsom vid Hovsta- och Tegelbacksförsöken, endast har gjort stötvågs- mätningar på en nivå i pålen. Metoden baserar sig på en iakttagelse som gjorts vid Hovstaför- söken, nämligen att när pålens längd i jord är liten, som t ex vid stoppslag- ningen av påle 5 a, blir skillnaden mellan reflexvågens drag- och tryckampli- tud ungefär lika stor som initialvågens amplitud (jämför ekv. (8)). De ampli- tuder som avses kan åskådliggöras på stötvågorna i fig. 45 och 46. När pål- längden i jord är liten är således amplitudskillnaden mellan punkterna K och L i fig. 46 ungefär lika stor som amplituden hos punkten D i fig. 45. Den ovan

föreslagna metoden är relativt osäker men torde dock ge en uppfattning om dämpningens storleksordning.

Om man antar att reflexvågens drag- och tryckamplituder tillsammans dämpas lika mycket som initialvågens amplitud fås

$$P_d = (P_{r,t,sp} - P_{r,d,sp}) - (P_{r,t,sk} - P_{r,d,sk}) \quad (28)$$

Ekv. (8), (22) och (28) ger då

$$2 \cdot P_d = P_{i,sk} - P_{r,t,sk} + P_{r,d,sk} \quad (29)$$

I bilaga 8 har dämpningen P_d bestämts på stötvågor från försöksplatserna vid Hovsta och Tegelbacken.

Som framgår av bilaga 8 varierar $2 \cdot P_d$ mellan ytterlighetsvärdena -15 och 56 Mp, dvs P_d varierar mellan -7,5 och 28 Mp. Det negativa värdet på P_d är orimligt och antyder att ovan beskrivna metod att bestämma P_d är osäker. Det bör emellertid påpekas att de negativa värdena i normala fall är mycket små.

I bilaga 8 har dämpningen P_d dividerats med pålens mantelyta i jord. Den då erhållna storheten har kallats dämpmodulen (M_d) och definieras alltså som

$$M_d = \frac{P_d}{l_j \cdot O_p} \quad (30)$$

Dämpmodulen har enheten kraft per ytenhet och varierar enligt bilaga 8 mellan ytterlighetsvärdena - 1,9 och 9,5 Mp/m². I bilaga 8 har medelvärdena för de olika kombinationerna mellan hejare och påle angivits. Medelvärdena på dämpmodulen varierar mellan - 0,5 och 5,0 Mp/m².

En intressant iakttagelse kan göras i bilaga 8, nämligen att dämpmodulen minskar under stoppslagningsskedet. Detta beror troligen på att de sidosvängningar som alltid råder i en påle, då får möjlighet att verka på samma ställe under en längre tid; pålens djup är ju nästan oförändrat under stoppslagningen. Man får då minskade jordtryck mot pålens sida och i vissa fall ett hålrum kring pålen.

Speciellt tydligt framgår detta vid påle 1 som användes som testpåle för mätutrustningen. Denna påle hade stoppslagits i sammanlagt ett par timmar utan nämnvärd sjunkning. Medelvärde på dämpmodulen blev vid denna påle endast $0,4 \text{ Mp/m}^2$. Likaså har man under den senare delen av slagningen på påle 6 (serie 130 - 141) erhållit små värden på dämpmodulen (medelvärde - $0,5 \text{ Mp/m}^2$).

Med ledning av bilaga 8 har tills vidare undersökningar gjorts, dämpmodulen under stoppslagningsskedet på en stålpåle antagits ha värdet $1,0 \text{ Mp/m}^2$. Det bör påpekas att detta riktvärde ej tar hänsyn till eventuell extra dämpning i pålskarvar. Vid en dåligt utförd skarv torde dämpningen kunna bli betydande.

Bestämning av koefficienten k_v

Koefficienten k_v definieras av ekv. (16) och utgör ett mått på reflexvågens förlängning i förhållande till initialvågen. Orsaken till denna förlängning är troligen att jorden under pålspetsen alltid har en viss elasticitet, som gör att stötvågen reflekteras med någon fördröjning och förlängning. För att bestämma storleken på k_v måste man på reflexvågen kunna finna en punkt som härrör sig från en viss punkt på initialvågen. Tiden från reflexvågens respektive initialvågens början till dessa punkter divideras med varandra och ger då koefficienten k_v . I vissa fall har man tydliga "hack" i initialvågen och reflexvågen och då kan k_v bestämmas med stor säkerhet. I normala fall är emellertid vågorna så jämna att bestämningen av k_v blir osäker och i vissa fall omöjlig att göra.

I bilaga 9 redovisas de värden på koefficienten k_v som kunnat bestämmas vid stötvågsmätningarna vid Hovsta och Tegelbacken. Värden inom parentes anger att bestämningen är något osäker. Medelvärde av samtliga trettioen bestämningar av k_v är 1,08 och medelvärde av de fjorton "säkra" bestämningarna är 1,07. Med ledning av ovanstående resultat är det rimligt att åsätta koefficienten k_v värdet 1,1.

Bestämning av initialenergin W_i

Energiinnehållet i initialvågen har här kallats initialenergin (W_i). Denna har för de olika stötvågsserierna beräknats med det ovan beskrivna dataprogram-

met (se bilaga 4:4) och resultaten har sammanställts i bilaga 5.

Det har visat sig att W_i vid trycklufthejare bäst uttrycks som en funktion av luftflödet (q) till hejaren. I bilaga 10:1 har ett antal representativa serier redovisats där både q och W_i bestämts. I fig. 49 har värdena enligt bilaga 10:1 uppställts i diagramform. Som framgår av figuren råder approximativt följande samband

$$W_i \approx 7,8 \cdot q \quad (W_i \text{ i kpm, } q \text{ i m}^3/\text{min}) \quad (31)$$

På de två trycklufthejarna BSP 500 och BSP 600, som undersöktes vid Tegelbacken, gjordes inga flödesmätningar. De erhållna W_i -värdena enligt bilaga 5:7 synes dock för dessa hejare vara relativt stora i jämförelse med värdena enligt bilaga 10:1 från trycklufthejare med ungefär lika stor totalvikt.

Energien W_i torde vid slagning med fallhejare med god approximation kunna beräknas som produkten mellan hejarens vikt och dess effektiva fallhöjd, dvs den verkliga fallhöjden reducerad med hänsyn till bromsning i linspel, friktion mot gejder etc (se /46/).

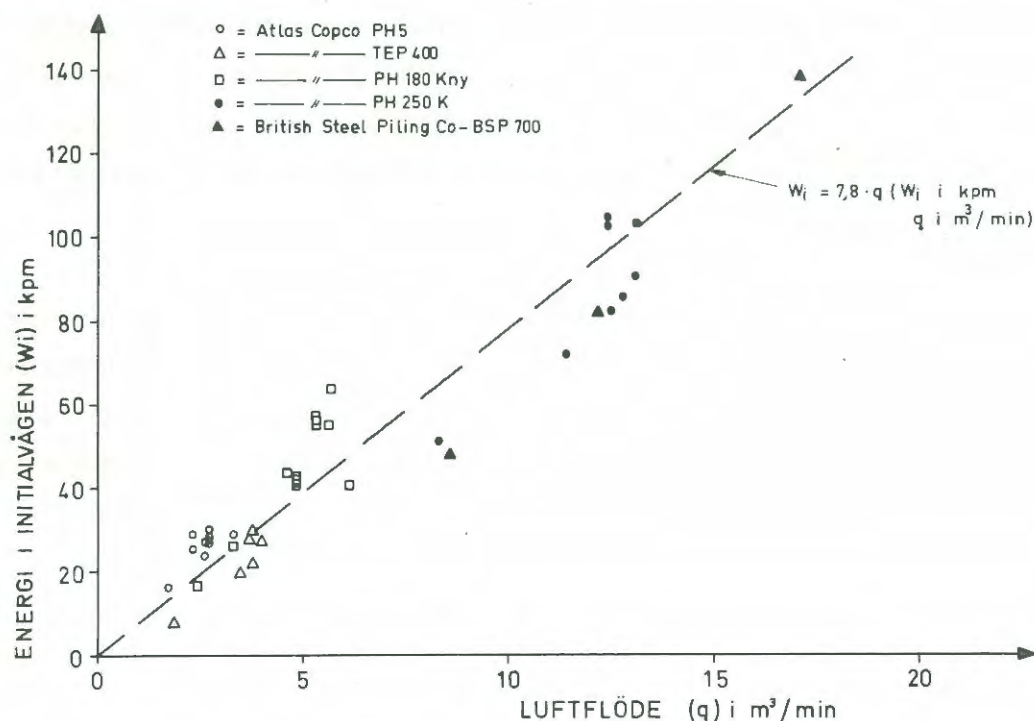


FIG. 49. SAMBAND MELLAN INITIALENERGI OCH LUFTFLÖDE

Correlation between initial energy and air flow

Bestämning av återfjädringen f_c

Vid varje slag från hejaren beskriver pålspetsen en rörelse enligt fig. 48. Det första skedet av rörelsen försiggår under den tid stötpulsen vid spetsen varar. Mellan slagen sker sedan en långsam återfjädring. Återfjädringen (f_c) kan bestämmas enligt ekvation (11) eftersom sjunkningen (e) mätts och totala rörelsen under stötpulsen (S_{sp}) kan beräknas med dataprogrammet (se bilaga 4:5).

I bilaga 9 redovisas för olika trycklufthejare några värden på f_c . Som framgår har man i vissa fall fått negativa värden på f_c . Dessa inträffar vid sjunkningar större än ungefär 2 mm/slag, dvs ca 500 mm/min. Förklaringen till de negativa värdena är att vid så stora sjunkningar reflekteras stötvågen upprepade gånger mot pålspetsen och pålskallen. Varje gång stötpulsen når pålspetsen sker en rörelse av densamma. Dataprogrammet tar emellertid endast hänsyn till den första pulsen, varför man i detta fall får ett för lågt värde på S_{sp} .

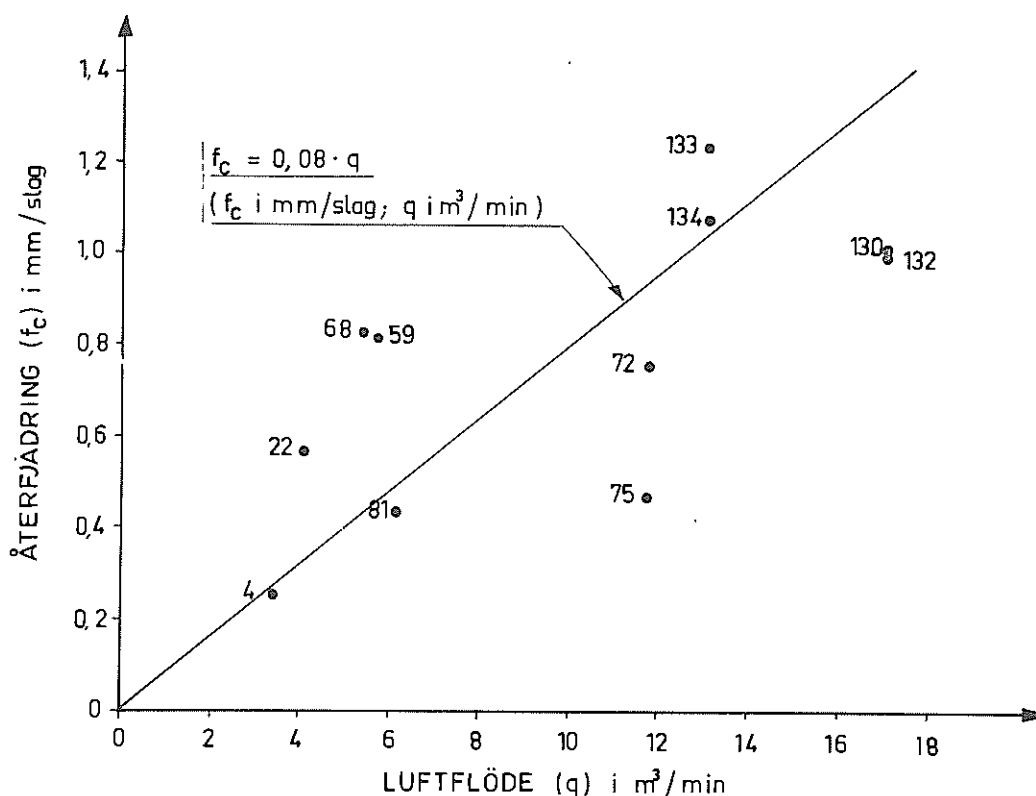


FIG. 50. SAMBAND MELLAN ÅTERFJÄDRING OCH LUFTFLÖDE
Correlation between the recovery and the air flow

Återfjädringens storlek är förmodligen beroende på flera faktorer såsom jordens elastiska egenskaper under påspetsen, det dynamiska spetsmotståndet, energiinnehållet i initialvågen m m. Tills vidare undersökningar gjorts har dock återfjädringen vid trycklufthejare satts som en funktion av energiinnehållet i initialvågen, vilket enligt föregående kapitel i stort sett är en funktion av luftflödet till hejaren. I fig. 50 har värden på f_c vid små sjunkningar uppställts som funktion av luftflödet. Värdena har en stor spridning. En medellinje enligt nedanstående samband har valts

$$f_c = 0,08 \cdot q \quad (f_c \text{ i mm/slag; } q \text{ i m}^3/\text{min}) \quad (32)$$

För hejarna TEP 400 och PH 180 ny är överensstämmelsen enligt ovanstående samband dålig. För dessa vore det lämpligare att använda dubbelt så stort värde på f_c .

För fallhejare har bestämning av f_c ej kunnat göras, eftersom de pålar på vilka stötvågsmätningar gjorts varit så korta att man ej kunnat separera initialvåg och reflexvåg. Återfjädringen av påspetsen torde dock bli högre än vid slagning med trycklufthejare. Uppskattningsvis är återfjädringen vid fallhejar-slagning 2 à 3 mm. Det vore önskvärt att närmare utreda storleken på f_c i detta fall.

Bestämning av effektiva anslagshastigheten $\eta \cdot v_0$

Slagkolvens verkliga anslagshastighet har här benämnts v_0 . Enligt stötvågsteorin alstras en initialkraft i pålen som är proportionell mot v_0 (se ekv. 25). Det visar sig emellertid att initialkraften dämpas, bl a beroende på förluster vid övergången från slagplatta till pålskalle. Initialkraften har antagits bli dämpad med faktorn η .

Det vore en fördel om man kunde bestämma v_0 och η separat för olika tryckluft- och fallhejare. Härför fordras emellertid att man samtidigt med stötvågsmätningarna mäter anslagshastigheten, vilket är komplicerat vid trycklufthejare där ju slagkolven är dold. Däremot har man en möjlighet att bestämma produkten $\eta \cdot v_0$, som här har kallats den effektiva anslagshastigheten. Denna kan nämligen bestämmas med ekv. (27), eftersom man vid varje stöt-

vågsmätning kan mäta initialkraften ($P_{i,sk}$) och de övriga storheterna i ekvationen är kända. I bilaga 10 har $\eta \cdot v_o$ bestämts på detta sätt för ett antal representativa serier från Hovstaförsöken.

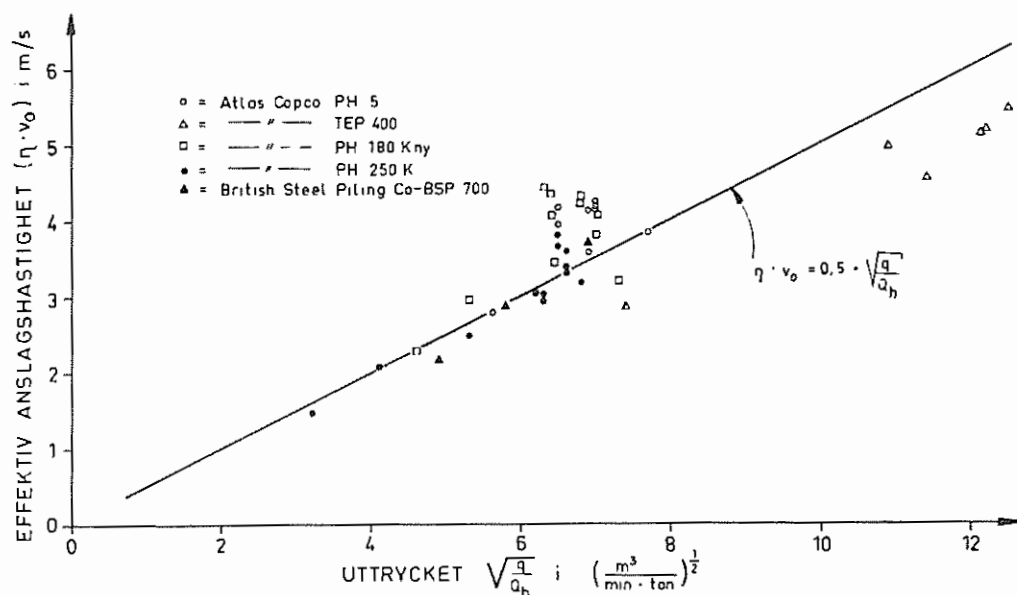


FIG. 51. SAMBAND MELLAN EFFEKTIV ANSLAGSHASTIGHET OCH $\sqrt{\frac{q}{Q_h}}$
Correlation between effective striking velocity and $\sqrt{\frac{q}{Q_h}}$

Det har vid trycklufthejare visat sig att det råder ett gott samband mellan $\eta \cdot v_o$ och uttrycket $\sqrt{q/Q_h}$ där q är luftflödet och Q_h är slagkolvens vikt. I fig. 51 har detta samband åskådliggjorts för värdena i bilaga 10:1. Värdena ligger relativt väl samlade och sambandet kan uttryckas med ekvationen

$$\eta \cdot v_o \approx 0,5 \cdot \sqrt{\frac{q}{Q_h}} \quad (q \text{ i m}^3/\text{min}; Q_h \text{ i ton}) \quad (33)$$

Vid fallhejare kan anslagshastigheten v_o beräknas med formeln

$$v_o = \sqrt{2 \cdot g \cdot k \cdot h} \quad (34)$$

där $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

k = faktor beroende på hejarens upphängningssätt, se /46/

h = bruttofallhöjd.

Vid slagning med fallhejare blir koefficienten η relativt liten p g a dynträets dämpande effekt. I bilaga 10:2 och 10:3 redovisas de värden på η som erhållits vid stötvågsmätningar på tre försöksplatser, nämligen Centralstationen i Stockholm, Hovsta och Lidingöbron. Vid dessa mätningar kan η bestämmas separat, eftersom man känner fallhöjden. Vid Lidingöbron utfördes ett stort antal mätningar där anslagshastigheten mättes med höghastighetsfotografering, vilket innebär att bestämningen av v_0 och η där kunnat göras med stor noggrannhet.

Enligt bilaga 10:2 och 10:3 varierar η vid fallhejare mellan värdena 0,44 och 0,71. Variationen torde till stor del bero på olika hårdhet hos dynträet vid de olika försöken. Som ett rimligt värde på η vid slagning med fallhejare har antagits 0,7 när dynträet består av ett hårt träslag (t ex ek). En förutsättning för det antagna η -värdet är dock att inga ytterligare trä mellanlägg används mellan dyna och påle.

Bestämning av spetsmotståndskvoten α

Kvoten mellan det statiska spetsmotståndet, dvs pålens brottlast vid spetsen (P_{brott}), och det dynamiska spetsmotståndet omedelbart innan slagningen avbryts (P_{sp}), har här kallats spetsmotståndskvoten α . Det statiska spetsmotståndet bestäms med provbelastningar och det dynamiska spetsmotståndet kan antingen bestämmas med stötvågsmätningar eller beräknas enligt ekv. (24) och (27).

I bilaga 7 har spetsmotståndskvoten α bestämts, dels för de femton provbelastningarna vid Hovsta (se sid 51 och bilaga 6), dels för sex provbelastningar för en manufakturhall vid Norrbottens Järnverk, Luleå. De senare provbelastningarna utfördes av Orrje & Co - Scandiaconsult (utlåtande 57.0582 - 07 av den 27.11.1964). De dynamiska spetsmotstånden i bilaga 7 har beräknats och därvid har för trycklufthejarna luftflödet i de flesta fall bedömts med ledning av slagtalet.

Resultaten har sammanfattats i fig. 52 som sambandet mellan spetsmotståndskvoten och sjunkningen omedelbart före provbelastningen. Som man kan vänta sig har värdena en mycket stor spridning, men man kan dock tydligt iaktta att α ökar med minskande sjunkning. Vid små sjunkningar har provbelastningar-

na ej kunnat drivas till brott eftersom mothållen givit vika. Det α -värde som då angivits i figuren är den största kraften vid provbelastningen dividerad med det dynamiska spetsmotståndet. α -värdena är således i dessa fall större än eller mycket större än de redovisade. Vid en del av provbelastningarna kan man med stor sannolikhet anta att pålarna varit utknäckta före provbelastningen och därför har dessa värden satts inom parentes.

I fig. 52 har en linje inlagts som representerar en föreslagen undre gräns för kvoten α vid slagning med trycklufthejare. Enligt denna linje är α större än 1,5 vid normal stoppslagning med trycklufthejare, dvs ca 5 mm/min vid slagning med 200 à 300 slag/min. För fallhejare finns endast en provbelastning (nr 15) som givit $\alpha = 2,0$ vid 2,6 mm/10 slag och därför blir bedömningen av α för fallhejare mycket osäker. Preliminärt torde man dock kunna anta att α är större än 1,5 vid normal stoppslagning med fallhejare, dvs ca 5 mm/10 slag och ca 40 cm fallhöjd.

TECKENFÖRKLARING:

- ① = Provbeltastning nr 0 vid Hovsta
- ⑩ = Provbeltastning nr 0 vid NJA-Luleå
- ↑ = Större än
- ↑↑ = Mycket större än
- [] = Pålen med stor sannolikhet knäckt före provbelastningen

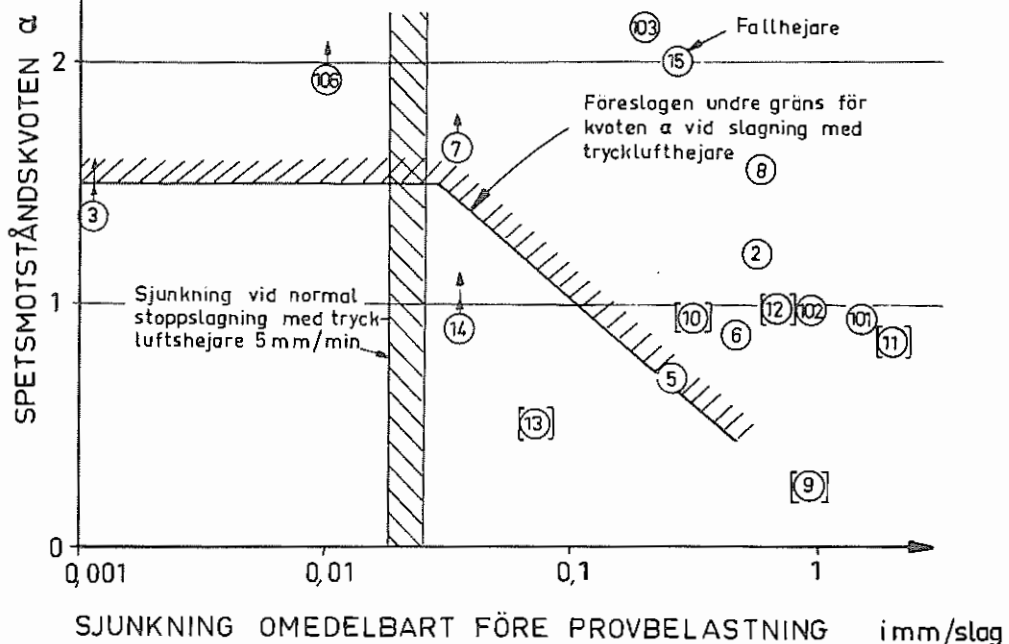


FIG. 52. SPETSMOTSTÅNDSKVOTEN α VID OLIKA SJUNKNINGAR.
RESULTAT FRÅN PROVBELASTNINGAR VID HOVSTA OCH NJA - LULEÅ

The quotient of the static and dynamic point resistances, α ,
at different settlements at the end of driving

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

I allmänhet bestämmer man en påles brottlast med pålformler som bygger på energibetraktelser, t ex Kreügers formel. Med dessa formler beräknar man det dynamiska spetsmotståndet med utgångspunkt från energiprincipen, dvs tillförd energi är lika med neddrivningsenergi plus fjädringsenergi. Därefter sätter man likhetstecken mellan det dynamiska och statiska spetsmotståndet (brottlasten).

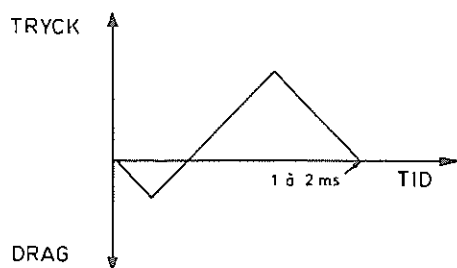
Föreliggande undersökning har emellertid visat, dels att man med Kreügers formel underskattar det dynamiska spetsmotståndet när man slår stålpålar med lätta slagdon^{x)}, dels att man i detta fall ej kan sätta likhetstecken mellan de statiska och dynamiska spetsmotstånden. På grund härav har en ny pålformel, kallad stötvågspålformeln, föreslagits. Formeln har härletts med hjälp av stötvågsteorin, med utgångspunkt från idealiserade stötvågor. För sådana fall då en rimlig överensstämmelse råder mellan verkliga och idealiserade stötvågor är formeln således generellt giltig och skulle kunna appliceras på andra typer av hejare och pålar, t ex fallhejare och betongpålar. För stålpålar har de idealiserade stötvågornas storlek bestämts med ledning av resultat från stötvågsmätningar på försöksplatser vid Hovsta, Örebro län, och Tegelbacken, Stockholms stad.

Härledningen av stötvågspålformeln bygger huvudsakligen på följande antaganden

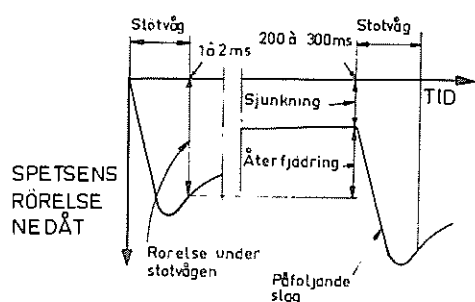


a Initialvågen består av en triangel

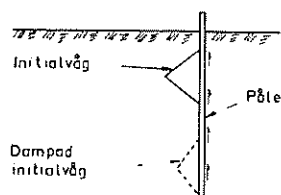
x) Definition på lätta slagdon: slagkolvens vikt är mindre än pålens vikt - vid trycklufthejare är kolvvikten av storleksordningen en tiondel av pålens vikt.



- b Reflexvågen består av två trianglar, den första med drag- och den andra med tryckkrafter



- c Pålspetsen återfjädrar mellan slagen



- d Stötvågorna dämpas av friktionskrafter mellan påle och omgivande jord

Stötvågspålforneln antar nedanstående utseende för stålpålar. De i formeln ingående parametrarna har nedan angivits för kombinationerna stålpålar och dubbelverkande trycklufthejare samt stålpålar och fallhejare. För den senare kombinationen har undersökningarna varit begränsade och de angivna värdena är därför att betrakta som mer osäkra än vid trycklufthejare.

$$P_{\text{brott}} = \alpha \cdot \left[\frac{2}{k_v} (P_{i, \text{sk}} - P_d) - \frac{2 \cdot P_{i, \text{sk}}^2 (f_c + e)}{3 \cdot k_v \cdot W_i} \right] \quad (35)$$

där

$$P_{i, \text{sk}} = \frac{E_p}{c_p} \cdot \eta \cdot v_o \cdot \frac{A_h \cdot A_p}{A_h + A_p} \quad (36)$$

I formeln är

E_p/c_p = pålens elasticitetsmodul/ljudhastighet i pålen. Med nedan angivna sorter skall för stålpålar insättas värdet $E_p/c_p = 0,41$

- P_{brott} = statiskt spetsmotstånd (brottlast vid påspetsen) [Mp]
- α = kvot mellan statiskt och dynamiskt spetsmotstånd (se sid 72)
 För dubbelverkande trycklufthejare kan den i fig. 52 föreslagna undre gränsen för α -värdet användas. Vid normal stoppslagning med trycklufthejare, dvs ca 5 mm/min, ger detta värdet $\alpha \geq 1,5$.
 För fallhejare kan vid normal stoppslagning, dvs ca 5 mm/10 slag och ca 40 cm fallhöjd, värdet $\alpha \geq 1,5$ användas.
- k_v = kvot mellan reflexvågens och initialvågens varaktigheter (se sid 67)
 För stålplåtar är $k_v \approx 1,1$.
- $P_{i,sk}$ = maximal kraft (amplitud) hos initialvågen vid påskallen [Mp]
- P_d = dämpning av initialvågens amplitud [Mp] (se sid 65)
 $P_d \approx 1,0 \cdot l_j \cdot O_p$ vid stålplåtar
 l_j = pålens längd i jord [m]
 O_p = pålens omkrets [m]
- f_c = återfjädring [mm] (se sid 69)
 $f_c \approx 0,08 \cdot q$ vid dubbelverkande trycklufthejare
 $f_c \approx 3$ vid fallhejare
- q = lufttillförsel till trycklufthejaren [m^3/min]
- e = pålens sjunkning per slag [mm]
- W_i = initialenergi per slag [kpm] (se sid 67)
 $W_i \approx 7,8 \cdot q$ vid dubbelverkande trycklufthejare
 $W_i \approx 1000 \cdot Q_h \cdot k \cdot h$ vid fallhejare
- Q_h = hejarens eller slagkolvens vikt [ton]
- k = faktor beroende på hejarens upphängningssätt (se /46/)

h = hejarens bruttofallhöjd [m]

$\eta \cdot v_o$ = effektiv anslagshastighet [m/s] (se sid 70)

$$\eta \cdot v_o \approx 0,5 \sqrt{\frac{q}{Q_h}} \quad \text{vid dubbelverkande trycklufthejare utan mellanlägg}$$

$$\eta \cdot v_o \approx 0,7 \sqrt{2 g \cdot k \cdot h} \quad \text{vid fallhejare med hårt dynträ och utan mellanlägg}$$

A_h = hejarens (slagkolvens) tvärsnittsarea i nedre delen [cm²]

A_p = pålens tvärsnittsarea [cm²]

Stötvågspålformeln har kontrollberäknats i bilaga 11 genom att jämföra beräknade och uppmätta dynamiska spetsmotstånd. Beräkningen av de dynamiska spetsmotstånden har gjorts enligt ekv. (24) och (27). Med undantag av värdena för trycklufthejaren TEP 400, som har ovanligt hög anslagshastighet, ligger samtliga beräknade värden under eller omedelbart över de uppmätta. För TEP 400 blev återfjädringen (f_c) ungefär dubbelt så stor som den som erhålls enligt sambandet $f_c = 0,08 \cdot q$. En beräkning med $f_c = 0,16 \cdot q$ ger värden på de dynamiska spetsmotstånden som väsentligt bättre överensstämmer med de verkliga. Överensstämmelsen är dessutom bättre vid mindre sjunkning.

Hur en beräkning med stötvågspålformeln utförs framgår av följande exempel

Exempel: Beräkna brottlasten i en 50 cm² stålpåle, som stoppslagits till sjunkningen 5 mm/min med en dubbelverkande trycklufthejare Atlas Copco PH 180 K (totalvikt 800 kg, kolvvikt 116 kg, kolvens tvärsnittsarea i nedre delen 177 cm², nominellt slagtal 250 slag/min). Pålens längd i jord är 12 m och dess omkrets är 0,5 m. Luftflödet till hejaren uppmättes till 4,5 m³/min.

$$P_{i,sk} = 0,41 \cdot 0,5 \sqrt{\frac{4,5}{0,116}} \cdot \frac{177 \cdot 50}{177 + 50} = 49,9 \text{ Mp}$$

$$P_{brott} \geq 1,5 \left[\frac{2}{1,1} \cdot (49,9 - 1,0 \cdot 12 \cdot 0,5) - \frac{2 \cdot 49,9^2 (0,08 \cdot 4,5 + \frac{5}{250})}{3 \cdot 1,1 \cdot 7,8 \cdot 4,5} \right]$$

$$P_{brott} \geq 1,5 (79,8 - 16,4) = 95 \text{ Mp}$$

vilket motsvarar en genomsnittlig spänning över påltvärsnittet på 1900 kp/cm².

I fig. 53 har stötvågspålformeln åskådliggjorts i diagramform. I figuren har den undre gränsen för brottlasten på pålspetsen beräknats med stötvågspålformeln som en funktion av pålens tvärsnittsarea för de olika typerna av dubbelverkande trycklufthejare som undersökts. Beräkningen har gjorts under nedanstående förutsättningar

- att pålens längd i jord är så liten att dämpningen av initialvågens amplitud är försumbar
- att luftflödet till hejarna är de i figuren angivna
- att stoppslagssjunkningen är högst 5 mm/min vid slagning med slagtal i närheten av de nominella (200 à 300 slag/min).

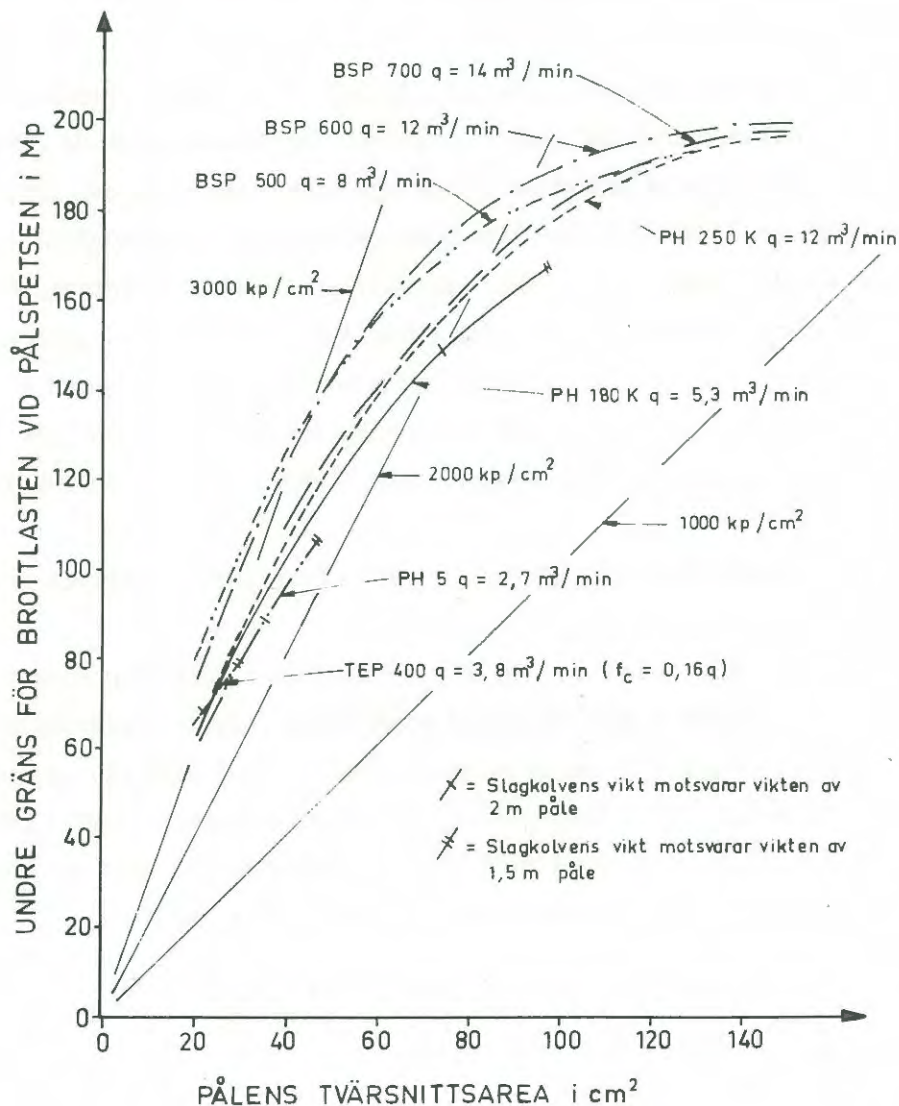


FIG. 53. SAMBAND MELLAN STÅLPÅLES BROTTLAST VID PÅLSPETSEN OCH PÅLENS TVÄRSNITTSAREA FÖR NÅGRA TRYCKLUFTHEJARE

The ultimate bearing capacity of the pile point as a function of the cross sectional area of steel piles for some air hammers

Som framgår av fig. 53 ligger de beräknade värdena på brottlasten väl samlade och är relativt oberoende av hejarens storlek. De mot brottlasten svarande spänningarna är stora speciellt vid liten pålarea och avtar sedan vid ökande pålarea. I figuren har beräkningen endast utförts för tvärsnittsareor mellan 20 och 150 cm², eftersom de utförda undersökningarna ej ger tillräcklig grund för att man skall kunna uttala sig om areor utanför detta intervall.

När någon eller några av förutsättningarna i fig. 53 ej är uppfyllda, t ex när luftflödet till hejarna ej är det i figuren angivna, kommer det med stötvågspål-

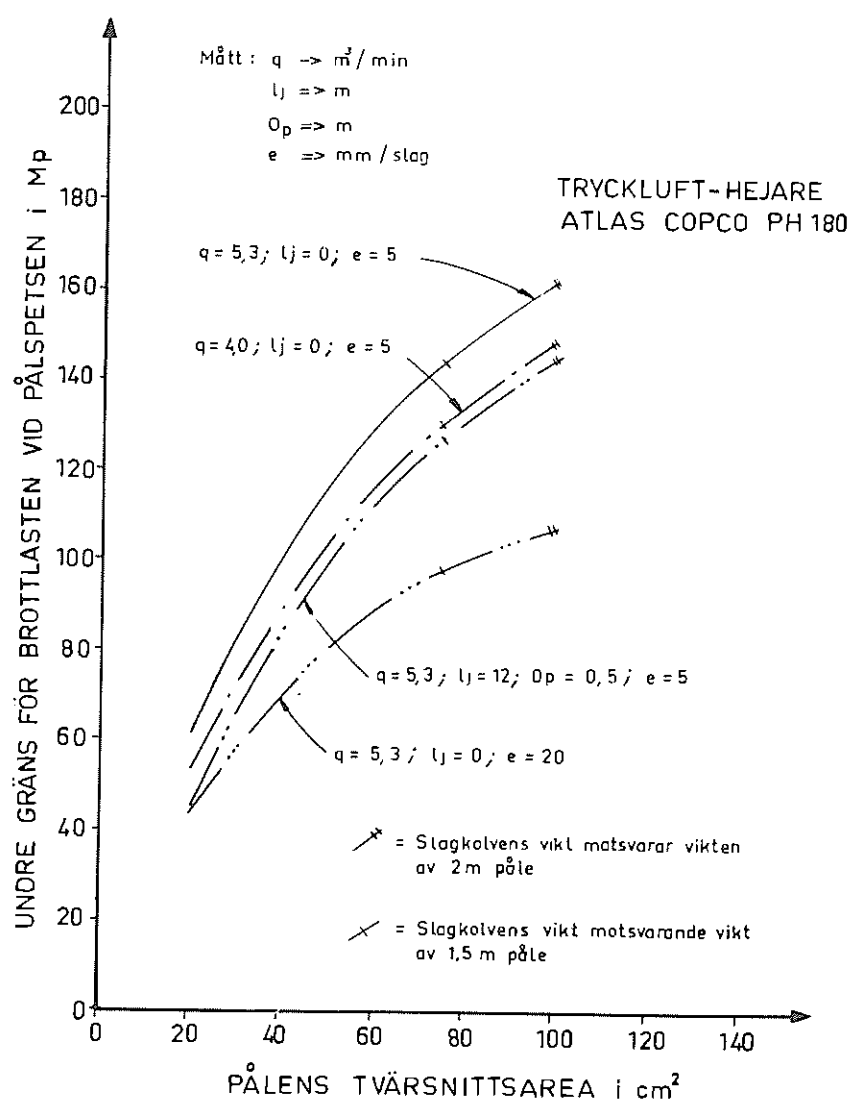


FIG. 54

SAMBAND MELLAN UNDER GRÄNSEN FÖR BROTTLASTEN VID PÅLSPETSEN SAMT PÅLENS TVÄRSNITTSAREA FÖR TRYCKLUFTHEJARE ATLAS COPCO PH 180 K VID OLIKA LUFTFLÖDE, PÅLLÄNGD OCH SJUNKNING.

The ultimate bearing capacity of the pile point as a function of the cross sectional area of steel piles for air hammer Atlas Copco PH 180 K at different air flow, pile length and settlement.

formeln beräknade värdet på brottlasten att ändras. I fig. 54 har som jämförelse gjorts en beräkning av brottlasten vid slagning med trycklufthejare PH 180 K vid olika flöde, pållängd och sjunkning. Som syns påverkas brottlasten i hög utsträckning av sjunkningen vid stoppslagningen; en ökning av sjunkningen från 5 till 20 mm/min ger en minskning av brottlasten på ca 30%. Däremot påverkas brottlasten endast i ringa utsträckning om luftflödet minskar; en minskning av flödet från 5,3 till 4,0 m³/min, dvs en minskning på ca 25% ger endast en minskning av brottlasten på ca 10%. En ökning av pållängden från 0 till 12 m ger i exemplet i fig. 54 en minskning av brottlasten på mellan ca 10 och 25%.

Nedan ges några allmänna synpunkter på dimensionering och slagning av stål-pålar med dubbelverkande trycklufthejare.

- a Man bör ej välja alltför lätta trycklufthejare även om de beräkningsmässigt ger höga brottlastar vid pålspetsen. De lätta hejarna har nämligen så liten slagenergi att man riskerar att pålspetsen ej förmår undantränga mindre block som kan vara inbäddade i förhållandevis lösa jordlager. Man bör därför välja trycklufthejare med kolvvikter högre än vikten av 1,5 å 2,0 meter av stål-pålen ifråga (se markeringarna i fig. 53). Speciellt vid blockig jord samt vid pålning genom besvärliga fyllningsmassor bör hejarvikten ej vara för liten. Även vid rörpålar som har stort displacement bör hejarens totalvikt vara stor för att förhindra att pålen "flyter upp".
- b Lämplig sjunkning vid stoppslagning av stödpålar av stål med tryckluft-hejare är högst 5 mm/min under tre på varandra följande minuter. Sjunkningarna får ej visa ökande tendens. En förutsättning är även att tryckluft-hejarens slagtal ej väsentligt understiger det nominella. Skulle så vara fallet måste man ta hänsyn därtill och i motsvarande grad kräva lägre stoppslagssjunkning.
- c För pålar eller spont där man ej eftersträvar maximal bärförmåga kan man tillåta en större stoppslagssjunkning och då beräkna dennas storlek med hjälp av stötvågspålformeln. Man måste då speciellt beakta spetsmotståndskvotens α variation med sjunkningen (se fig. 52) samt eventuell extra dämpning i spontlås.

- d Stötvågspålformeln i sin ovan presenterade form är ej användbar vid stora sjunkningar (överstigande ca 1 mm/slag vid stora trycklufthejare och 0,5 mm/slag vid mindre hejare) eftersom det då ej endast är initialvågen som driver ned pålen utan även påföljande stötvågsreflexer. Av denna anledning kan man med stötvågspålformeln till och med få negativa värden på brottlasten vid stora sjunkningar.
 - e I stötvågspålformeln bör man normalt insätta pålens bruttotvårsnittsarea (utan avdrag för korrosion). Om man har korrosiva förhållanden vid pålspetsen måste man dock ta hänsyn därtill.
 - f I stötvågspålformeln har ej inverkan av eventuella pålskarvar beaktats. Dämpningen av initialvågens amplitud över en skarv är i hög grad beroende på hur skarven utförts. Dämpningen över en välgjord svetsad skarv, se /45/, är ringa medan en dåligt utförd skarv orsakar en ej oväsentlig dämpning.
 - g För att kunna använda stötvågspålformeln vid slagning med dubbelverkande trycklufthejare måste man känna luftflödet. Detta kan mätas med någon typ av flödesmätare /57/, förslagsvis genom att mäta tryckfallet över en strypfläns. Om detta ej gjorts kan man relativt väl bedöma flödets storlek genom att mäta trycklufthejarens slagtal och lufttrycket i tilloppsslangen.
 - h I stötvågspålformeln tas endast hänsyn till pålspetsens förmåga att uppta last.
 - i Valet av säkerhetsfaktor med hänsyn till brott i jorden under pålspetsen är beroende på byggnadsverkets art, dess känslighet för ojämna sättningar, pålningsarbetets utförande samt kontrollen därav. Valet av säkerhetsfaktor är naturligtvis även beroende på vilken metod som använts för att beräkna (eller bedöma) brottlasten.
- När stötvågspålformeln används föreslås följande riktvärden på säkerhetsfaktorn (s)

- $s = 3,0$ för permanenta byggnader där slagningen utförs under tillsyn av en ansvarig arbetsledare som har särskild kännedom om pålningsmetoden ifråga eller som har nära kontakt med en särskild teknisk sakkunnig
- $s = 4,5$ för permanenta byggnader i övrigt.

För provisorier bör man kunna tillåta 30% lägre säkerhetsfaktorer än för permanenta byggnader.

- j Speciellt vid slagning av stålpålar med liten tvärsnittsarea kan den beräknade tillåtna lasten motsvara en spänning på i vissa fall över 1000 kp/cm. En så hög tillåten påkänning bör man ur bl a knäckningssynpunkt undvika. Därför är det rimligt att, vid permanenta byggnader, tills vidare sätta 700 kp/cm² som en generell övre gräns för den tillåtna påkänningen beräknad på pålens bruttotvärsnittsarea.
- k För att bestämma tillåten last på en stålpåle måste man förutom vad som nämnts i det föregående även beakta att påkänningen på stålet ej blir alltför stor när pålens tvärsnittsarea minskar p g a korrosion samt att säkerheten mot knäckning av pålen är betryggande.

ÖNSKVÄRDA FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Några av parametrarna i den föreslagna stötvågspålformeln skulle vara av speciellt intresse att studera närmare.

- a Dämpningen P_d undersöks för närvarande av författaren till denna publikation. Undersökningen, som utförs på stålrör slagna i friktions- och kohesionsmaterial, kommer främst att ge svar på frågan om hur jordarten påverkar dämpningen.
- b Återfjädringen f_c bör studeras närmare, speciellt vid slagning med fallhejare. En undersökning av f_c bör utföras med en accelerometer applicerad nära spetsen i en påle. Ur accelerometerns retardationskurva har man då möjlighet att bestämma spetsens rörelse.
- c Den effektiva anslagshastigheten $\eta \cdot v_0$ har endast bestämts för de trycklufthejare som undersökts vid Hovsta och Tegelbacken. Det vore önskvärt att denna parameter även bestämdes för andra i marknaden förekommande typer av trycklufthejare.
- d Spetsmotståndskvoten α har endast bestämts ur ett relativt litet antal provbelastningar. Det vore önskvärt att man gjorde flera provbelastningar. Vid dessa bör man då speciellt noga mäta luftflöde och fallhöjd hos tryckluft- eller fallhejaren.

Ett stort tänkbart användningsområde för trycklufthejare och andra lätta slagdon är för slagning och efterslagning av betongpålar. En undersökning av detta vore av stort intresse. Undersökningen bör utföras med stötvågsmätningar. Flera svårlösta problem kan dock väntas, t ex hur eventuellt trä mellanlägg bör vara utformat och om risk för skadliga dragkrafter uppkommer.

LITTERATURFÖRTECKNING

- 1 Barkan, D.D. Dynamics of bases and foundations. New York 1962.
- 2 Bergfelt, A. Grundläggning med stålpålar. Väg- och Vattenbyggaren, 1956, p. 53 - 56.
- 3 Chan, P.C. & al. A laboratory study of dynamic load-deformation and damping properties of sand concerned with a pile-soil system. Washington D.C. 1967.
- 4 Chellis, R. D. Pile foundations. New York 1951.
- 5 Colp, J. L. An experimental investigation of the continuous penetration of a blunt body into a simulated cohesionless soil. Sandia Corporation, Albuquerque 1965.
- 6 Cunny, R.W. & Sloan, R.C. Dynamic loading machine and result of preliminary small-scale footing tests. ASTM Spec. Tech. Publ. No. 305, p. 65 - 77, Philadelphia 1962.
- 7 Emori, R. & Schuring, D. Static and dynamic penetration tests of soil. Journ. of Terramechanics, vol. 3, No. 1, 1966, p. 23 - 30.
- 8 Fischer, H.C. Stötvågsteorin ger ett nytt grepp om pålningsförloppet. Atlas Copco AB, Forskn.rapp. 465, 1959.
- 9 Fischer, H.C. On longitudinal impact, Fundamental cases of onedimensional elastic impact, Theories and experiments. Appl. Sci. Res. A8, 1959, p. 105.
- 10 Fischer, H.C. Elastic impact of bars with cylindrical sections of different diameters and of bars with rounded ends. Appl. Sci. Res. A8, 1959, p. 278.
- 11 Fischer, H.C. Impacted bar connected to anvil or to co-axial tube by friction joints. Appl. Sci. Res. A9, 1960, p. 9.

- 12 Fischer, H.C. New graphodynamical pulse theory of pile driving compared to some current computation methods. Appl. Sci. Res. A9, 1960, p. 93.
- 13 Fischer, H.C. Plastic compression of long or short bars (rivets). Appl. Sci. Res. A9, 1960, p. 213.
- 14 Fischer, H.C. Theory and application of longitudinal impact, Part I. Tidskr. Tryckluft nr 1, 1961, p. 4 - 20.
- 15 Fischer, H.C. Theory and application of longitudinal impact. Part II. Tidskr. Tryckluft nr 2, 1962, p. 4 - 24.
- 16 Fischer, H.C. Metoder att studera mekaniska stötförlopp. Kurs i snabba förlopp. Sv. Teknologföreningen.
- 17 Fischer, H.C. & Hellman, L. Pålningen och stötvågsteorin. Väg- och Vattenbyggaren nr 1, 1963.
- 18 Fischer, W.E. Experimental studies of dynamically loaded footings on sand. Ph. D. Thesis, Univ. of Ill., 1962.
- 19 Fjellkner, G. Undersökning med syfte att uppställa stoppslagningsregler för stålpålar slagna med trycklufthammare, Delrapport I. IVA:s Pålkommission, Särtr. & prel. rapp. nr 7, Stockholm 1967.
- 20 Fjellkner, G. Stoppslagning av stålpålar slagna med lätta slagdon (trycklufthammare), Delrapport II. IVA:s Pålkommission, Särtr. & prel. rapp. nr 10, Stockholm 1968.
- 21 Glanville, W.H. & Grime, G. & Fox, E.N. & Davies, W.W. An investigation of the stresses in reinforced concrete piles during driving. DSIR Build. Res. Tech. Pap. No. 20, London 1938.
- 22 Heller, L.W. Failure modes of impact-loaded footings on dense sand. US Naval Civ. Engng. Lab. Techn. Rep. No. R 281, Port Hueneme 1964.

- 23 Hellman, L. Pålförsök vid Centralstationen i Stockholm. Opublicerad rapport, Kungl. Järnvägsstyr. Stockholm 1958.
- 24 Hellman, L. Om stoppslagning av stödpålar. Byggnadskonst nr 8, 1967.
- 25 Hellman, L. Försök med hejar- och motorslagssondering. Stat. Geot. Inst., Särtr. & prel. rapp, nr 31, p. 161 - 171, Stockholm 1969.
- 26 Hirsch, T.J. A report on field tests of prestressed concrete piles during driving. Tex. Transp. Inst., Prog. Rep., Proj. No. 2 - 5 - 62 - 63, Aug. 1963.
- 27 Hirsch, T.J. A report on computer study of variables which affect the behavior of concrete piles during driving. Tex. Transp. Inst., Prog. Rep., Proj. No. 2 - 5 - 62 - 63, Aug. 1963.
- 28 Hirsch, T.J. Impact load-deformation properties of pile cushioning materials. Tex. Transp. Inst., Res. Rep. 33 - 4, May 1966.
- 29 Kézdi, Á. Bodenmechanik. Del 1 och 2. Verlag für Bauwesen, Berlin 1964.
- 30 Kvickers, A. Program för stötvågsutvärdering. Upps. Univ., Inst. of Phys., nr 623 /Under utg./.
- 31 Leimdörfer, P. Steel box piles in Stockholm Harbour. Perm. Int. Ass. of Nav. Congr., Bull. 36, Bryssel 1951.
- 32 Lindskog, G. & Fjellner, G. Rapport från stötvågsmätningar på stålpålar vid nya Lidingöbron. Utlåtande från Stat. Geot. Inst. nr Fo 308/A 1224, 1969.
- 33 Orrje, O. Dynamic load tests on cohesionless soils with free falling weights, compared with static plate loading tests. Kungl. Tekn. Högsk., Inst. för Geot. 1968.

- 34 Raamot, T. Wave equation approach to pile driving. Mun. Eng. Jour., vol. 53, 1967.
- 35 Rehnman, S-E. Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets, Resultat av modellförsök. IVA:s pålkomm. Medd. nr 15, Stockholm 1968.
- 36 Rinkert, A. Knäckning av stålplålar. Byggmästaren nr 1, 1960.
- 37 Rosenqvist, I. T. Om korrosjon og korrosjonsbeskyttelse av stålpeler. Norges Geot. Inst., publ. nr 12, 1956.
- 38 Sandegren, E. Synpunkter på pålförsök med tryckluftslagning vid Stockholm C. Järnvägsteknik nr 7, 1959.
- 39 Scanlan, R.H. & Tomko, J.J. Dynamic prediction of pile static bearing capacity. J. Soil Mech. a. Found. Div. Proc. ASCE 95 (1969): SM 2.
- 40 Schenkman, S. & Mc Kee, K. E. Bearing capacities of dynamically loaded footings. ASTM Spec. Techn. Publ. No. 305.
- 41 Schimming, B.B. & Haas, H.J. & Saxe, H.C. Study of dynamic and static failure envelopes. Journ. Soil Mech. a. Found. Div. Proc. ASCE, vol. 92, No. SM 2.
- 42 Selig, E. T. & Mc Kee, K.E. Static and dynamic behavior of small footings. Journ. Soil Mech. a. Found. Div. Proc. ASCE, vol. 87, No. SM 6, 1961.
- 43 Shelkovnikov, I.G. Studies of rock failure by impact. Uppsala Univ., Inst. of Physics, No. 499, 1966.
- 44 Smith, E.A. Pile driving analysis by the wave equation. Journ. of Soil Mech. a. Found. Div. ASCE, 1960.
- 45 Statens Järnvägar, Geot. kont. Svetsskarv för rälsplåle. Ritn nr G 103/1321, 1963.

- 46 Statens Vägverk, Konstr.byrå. Bronormer 1965, kap. 12:21.
- 47 Terzaghi, K. Theorethical Soil Mechanics. New York 1944.
- 48 Terzaghi, K. & Peck, R. Soil mechanics in engineering practice. New York 1962.
- 49 Tomko, J.J. Dynamic studies on predicting the static bearing capacity of piles. Dept. of Civ. and Geol. Engng. Res. Rep. No. 68 - 6, Princeton Univ., 1968.
- 50 VA-AMA 1966. Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, Stockholm 1966.
- 51 Vesić, A.S. & Banks, D.C. & Woodard, J.M. An experimental study of dynamic bearing capacity of footings on sand. Proc. 6:th Int. Conf. on Soil Mech. a. Found. Engng., vol 2., Montreal 1965.
- 52 Vilander, L. Digitalisering av stötvågsmätningar, delrapport I. IVA:s Pålkommission, Särtr. och prel. rapp. nr 9, 1968.
- 53 Vilander, L. Ett program för beräkning av stötvågsförloppet vid friktionspålning, delrapport II. IVA:s Pålkommission, Särtr. och prel. rapp. nr 17, 1969.
- 54 Vilander, L. Datorberäkning av stötvågsförlopp i pålar medelst variation av modellparametrar. IVA:s Pålkommission, Särtr. och prel. rapp. nr 19, 1969.
- 55 Vold, R.C. Ramförsök på stålpeler. Norges Geot. Inst., Publ. nr 17, 1956.
- 56 Womach, D.P. & Cox, W.R. Measurement of dynamic characteristics of soils with penetrometers. Nasa Contractor Report - 849, Austin, Texas 1967.
- 57 Zenker, G. Metoder för luftflödesmätning. Tryckluft nr 2, 1968.

BILAGOR

Appendices

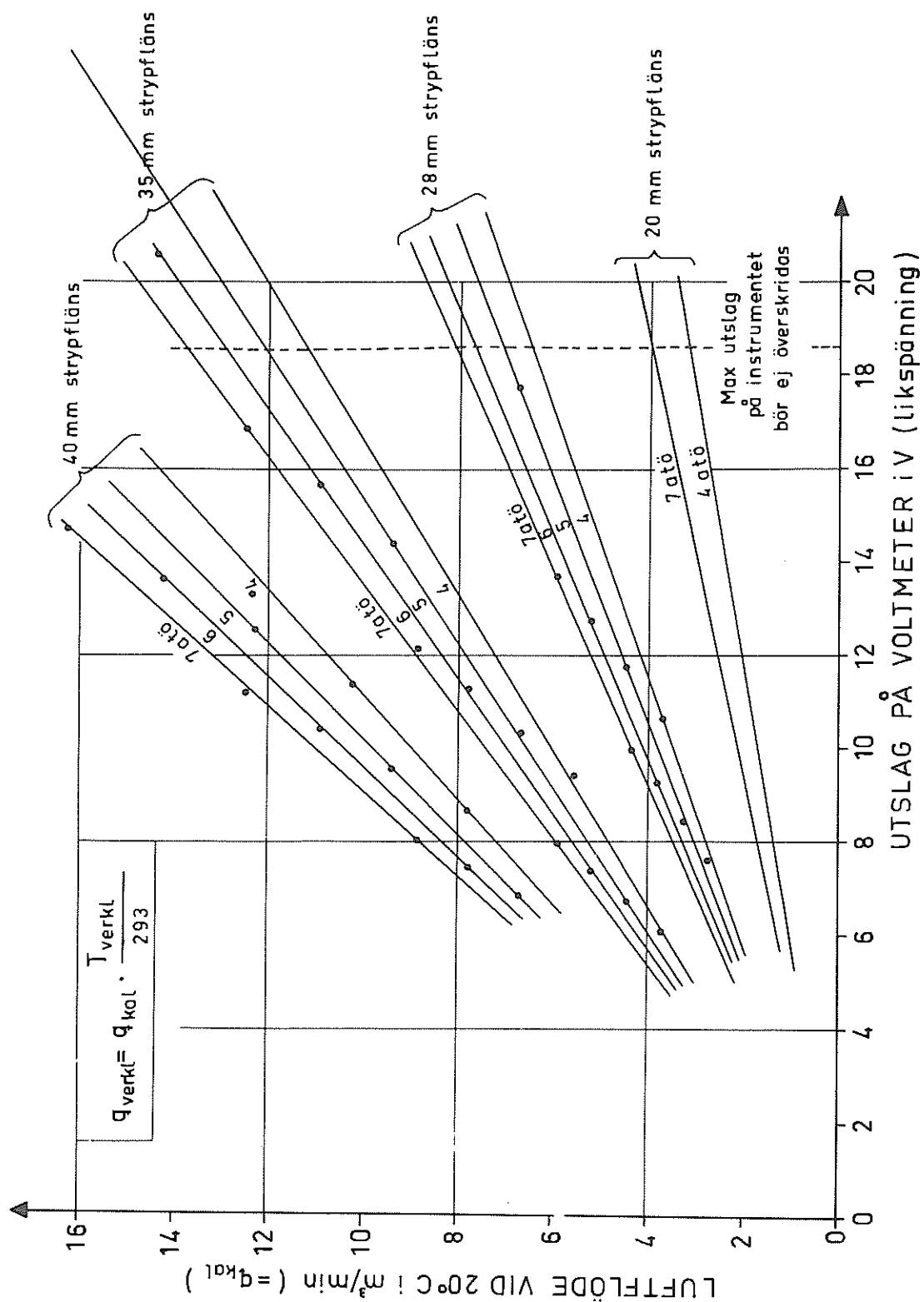
KALIBRERINGAR
Calibrations

Translations:	Luftflöde	=	Air flow
	Strypfläns	=	Orifice
	Utslag	=	Deflexion
	Voltmeter	=	Voltmeter
	Likspänning	=	Direct current
	Nålmanometer	=	Needle manometer
	Tryck	=	Pressure
	Verklig kraft	=	True force
	atö	=	Gauge pressure
	Domkraft	=	Jack
	Ökande kraft	=	Increasing force
	Avtagande kraft	=	Decreasing force
	Summerad kraft	=	Total force

1:1

KALIBRERINGSDIAGRAM FÖR FLÖDESMÄTAREN

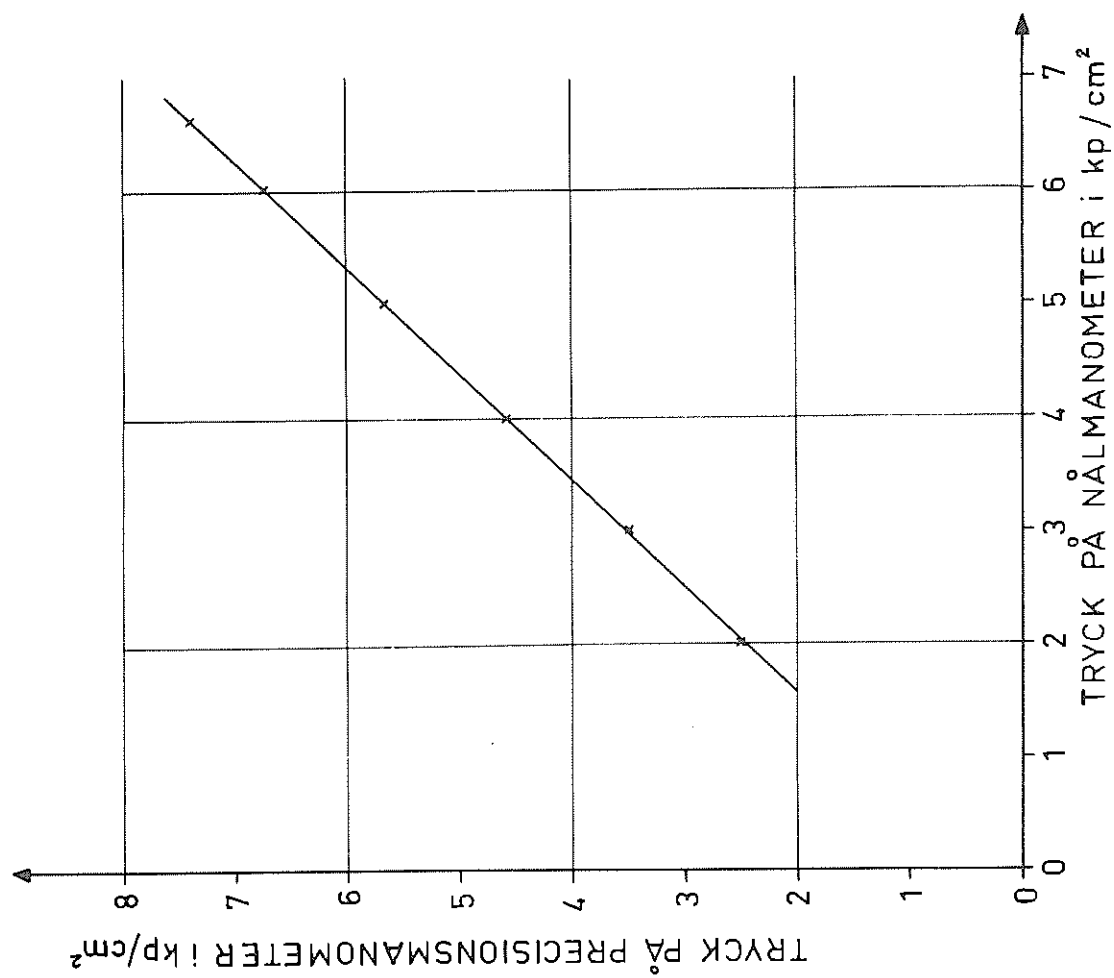
Calibration diagram for the air flow gauge



1:2

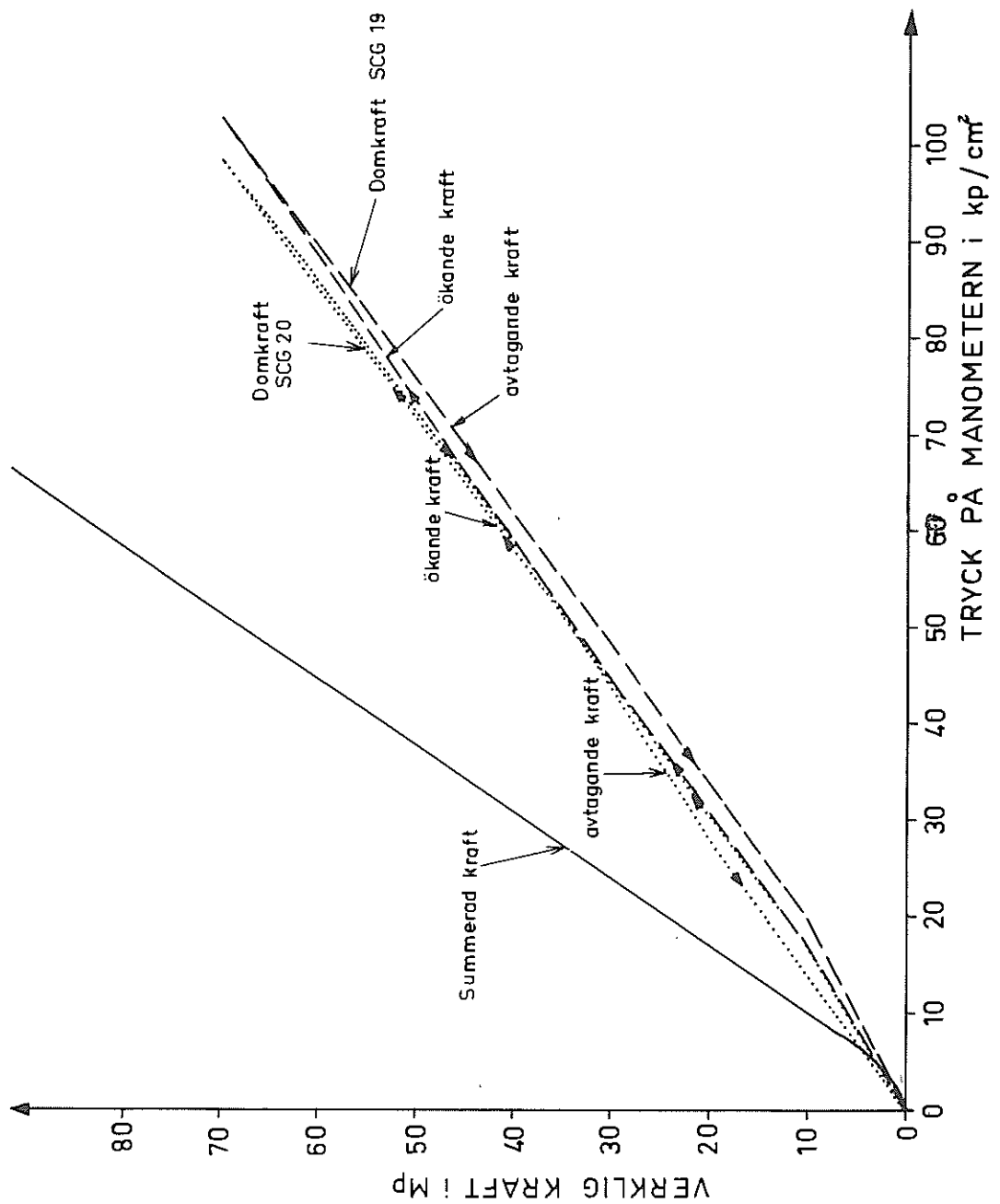
KALIBRERINGSDIAGRAM FÖR NÅLMANOMETER

Calibration diagram for the needle manometer



KALIBRERINGSDIAGRAM FÖR DOMKRAFTER

Calibration diagram for jacks



SLAGNINGSDIAGRAM FRÅN FÖRSÖKSPLATSEN
VID HOVSTA

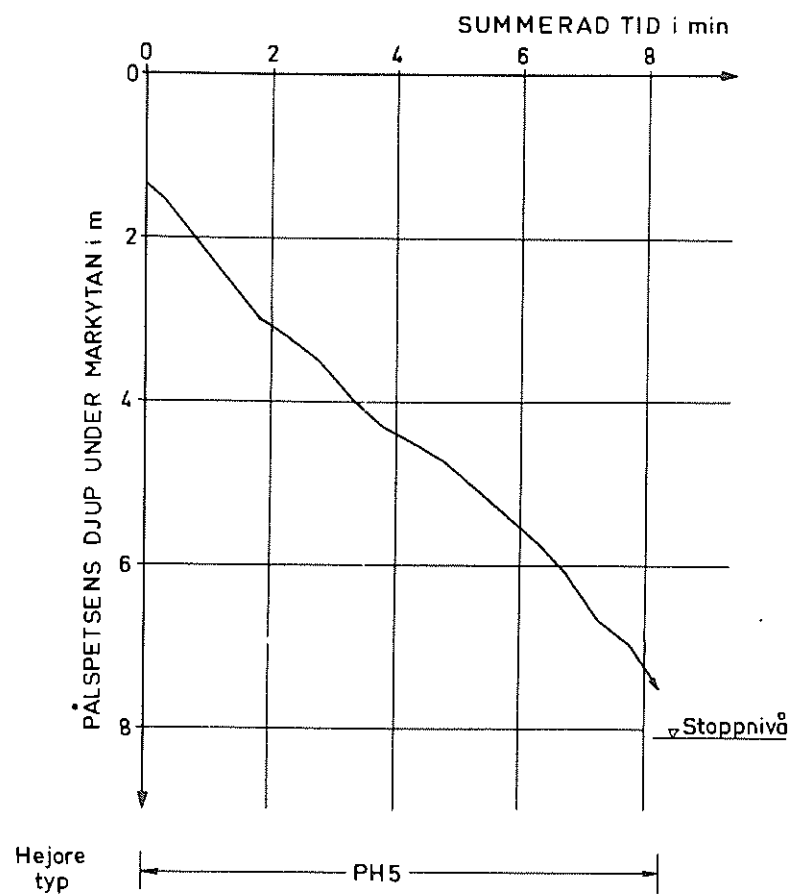
Ramming diagram from the test site at Hovsta

Translations:	Påle	=	Pile
	Räls	=	Rail
	Pålspets	=	Pile point
	Summerad tid	=	Accumulated time
	Djup	=	Depth
	Markytan	=	Ground surface
	Uppehåll	=	Delay
	Stoppnivå	=	Level at end of driving
	Provbekastning	=	Load test
	Hejare	=	Hammer
	Serie	=	Driving serie
	Slag	=	Blow
	Fallhejare	=	Drop hammer

2:1

SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 1 (RÄLSPÅLE)

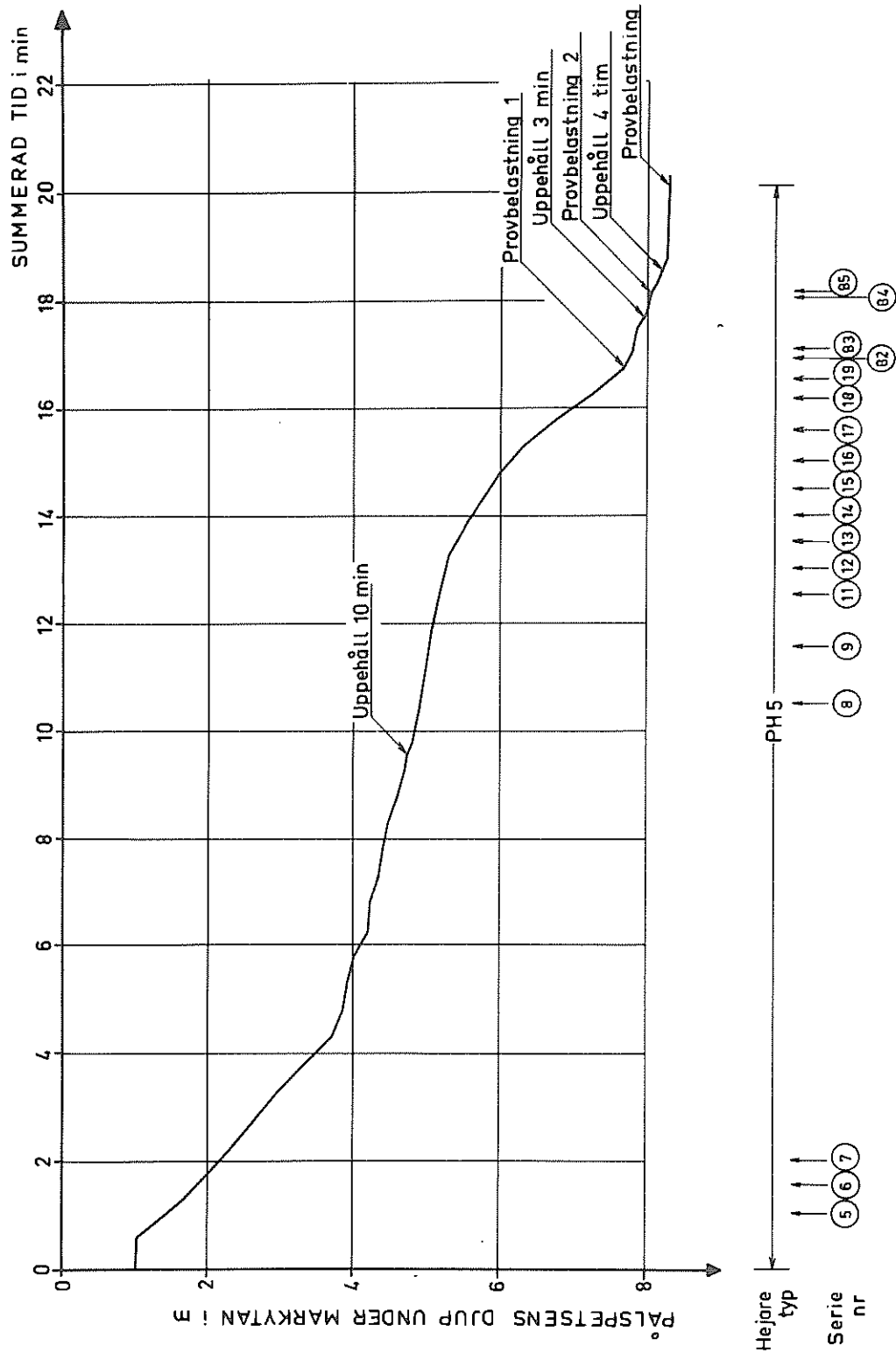
Ramming diagram for pile 1 (rail pile)



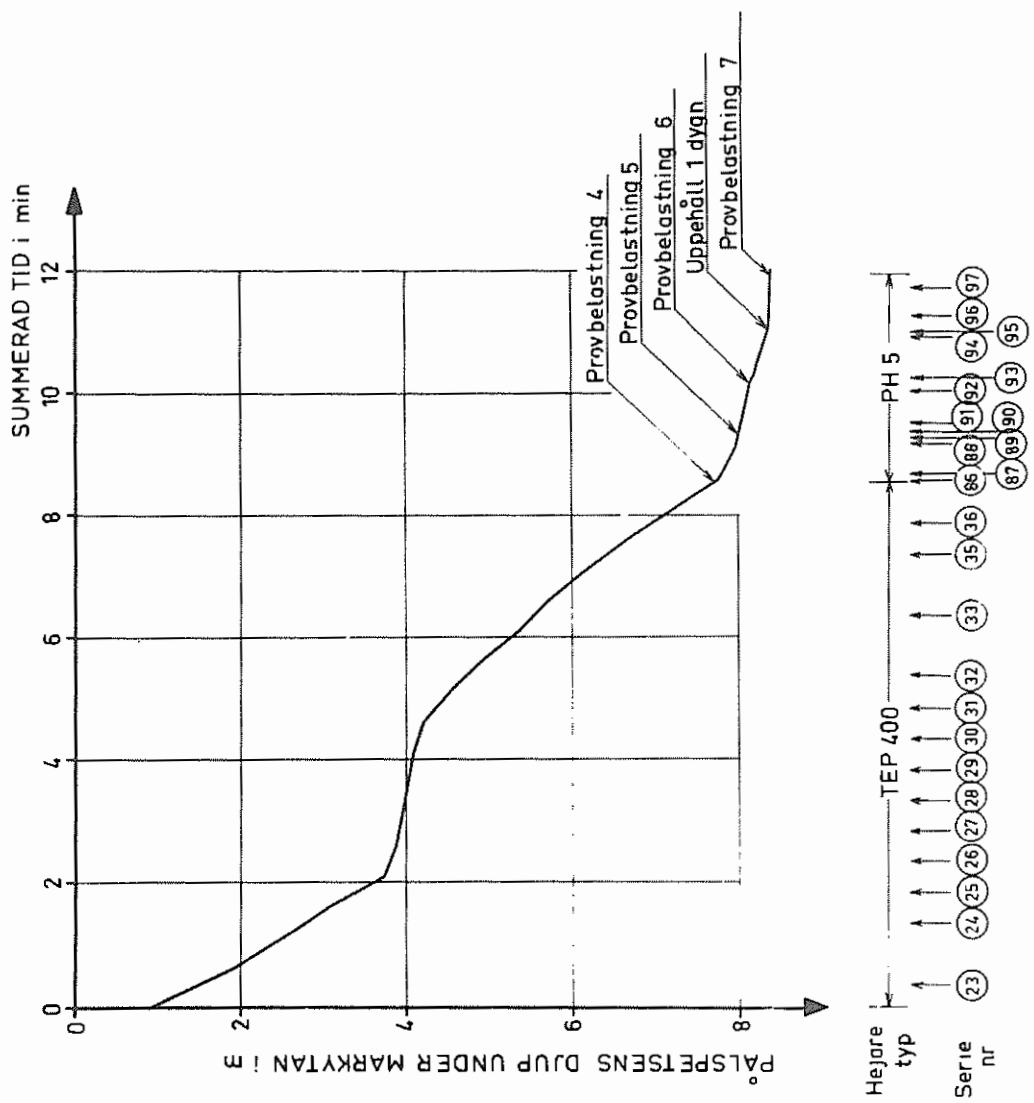
2:2

SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 2 (RÄLSPÅLE)

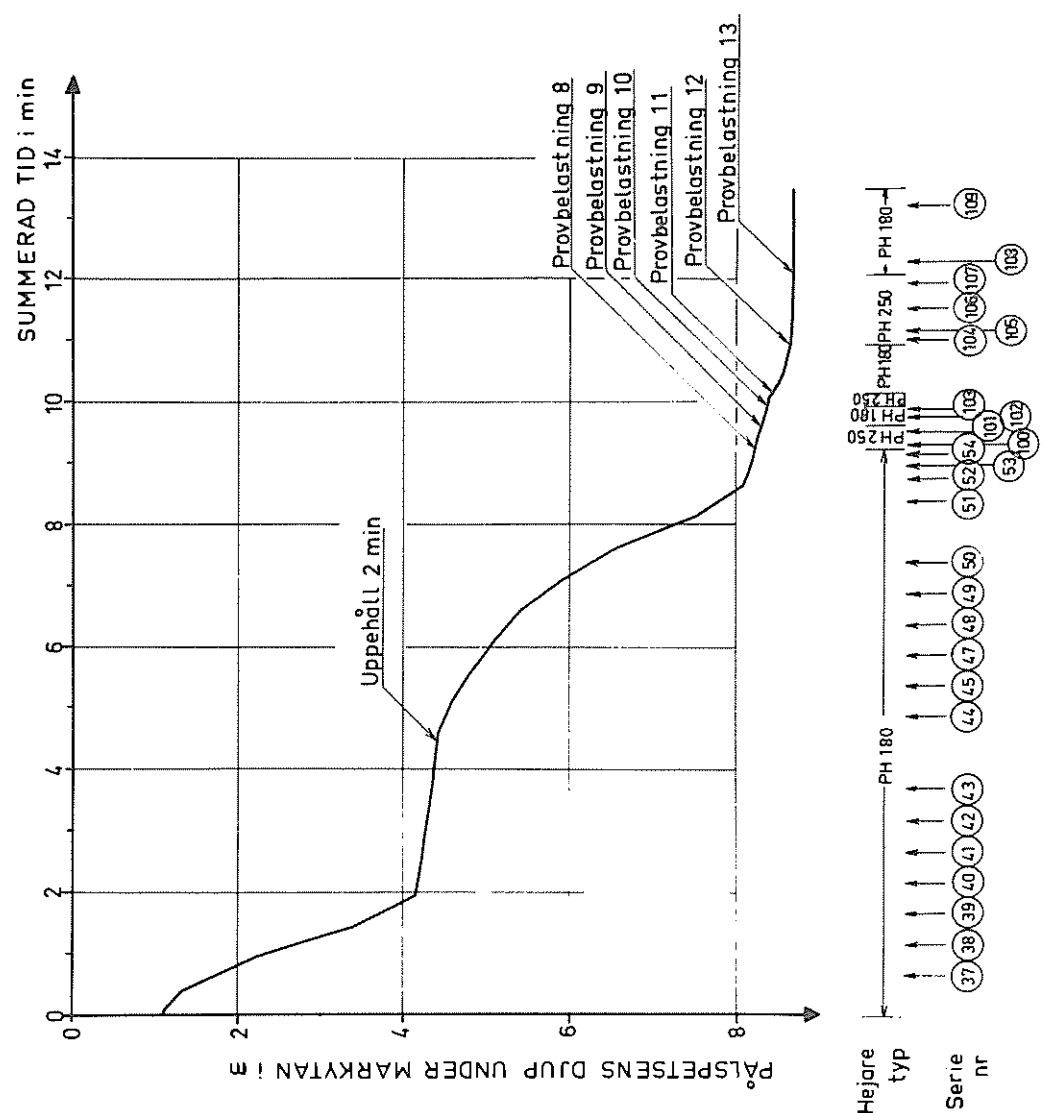
Ramming diagram for pile 2 (rail pile)



SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 3 (RÄLSPÅLE)
Ramming diagram for pile 3 (rail pile)

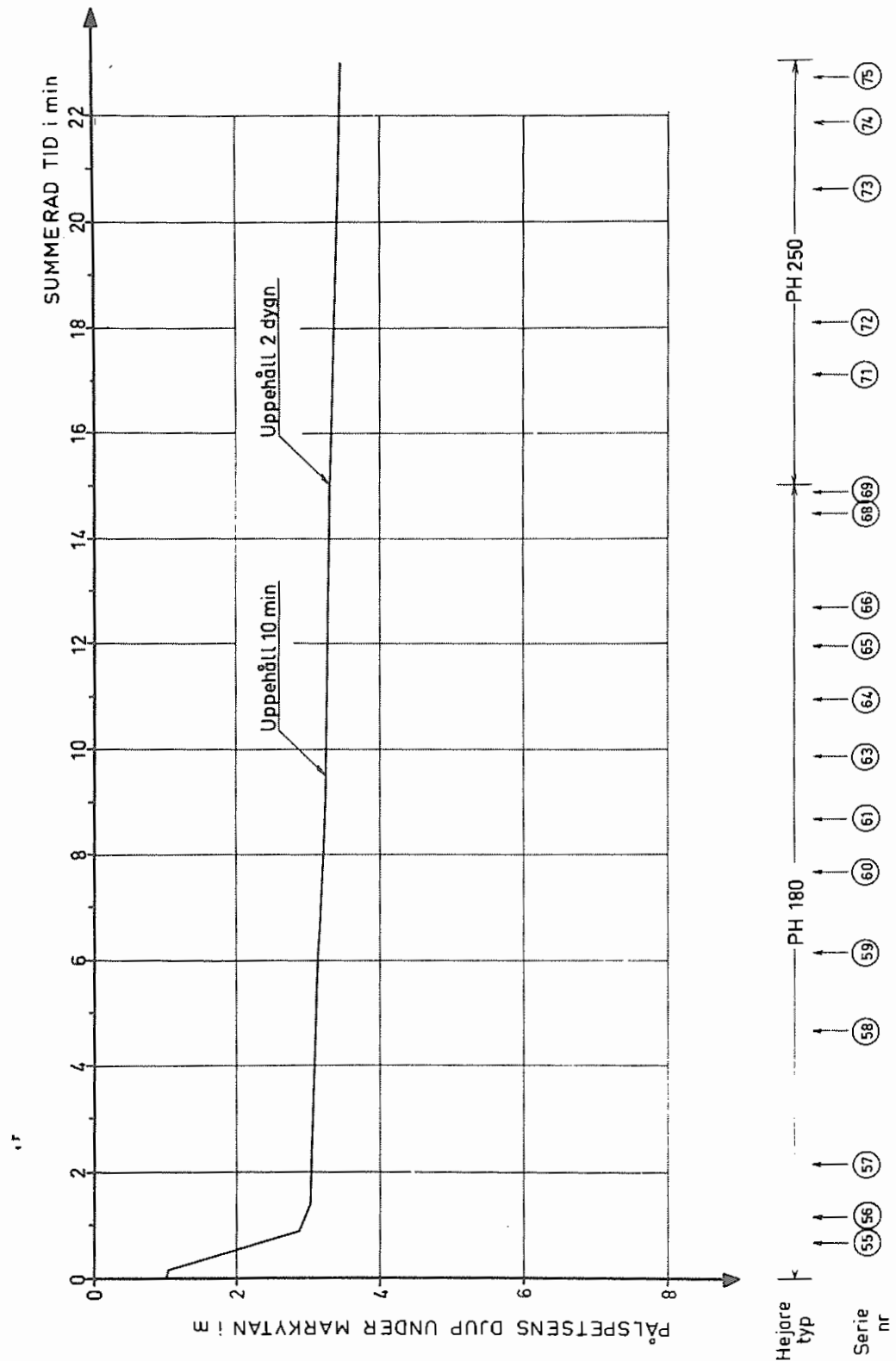


SLAGNINGSDIAGRAM FOR PÅLE 4 (RALSPÅLE)
Ramming diagram for pile 4 (rail pile)



SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 5a (RÄLSPÅLE)

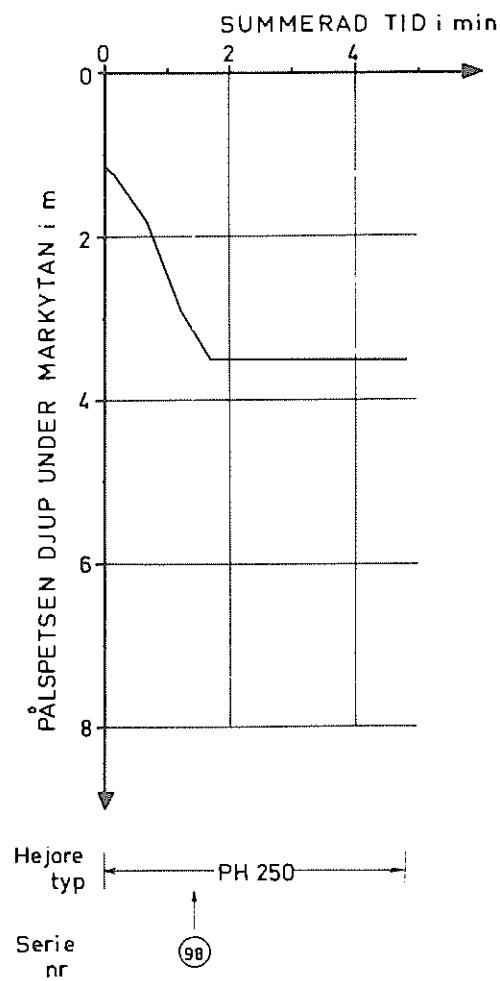
Ramming diagram for pile 5a (rail pile)



2:6

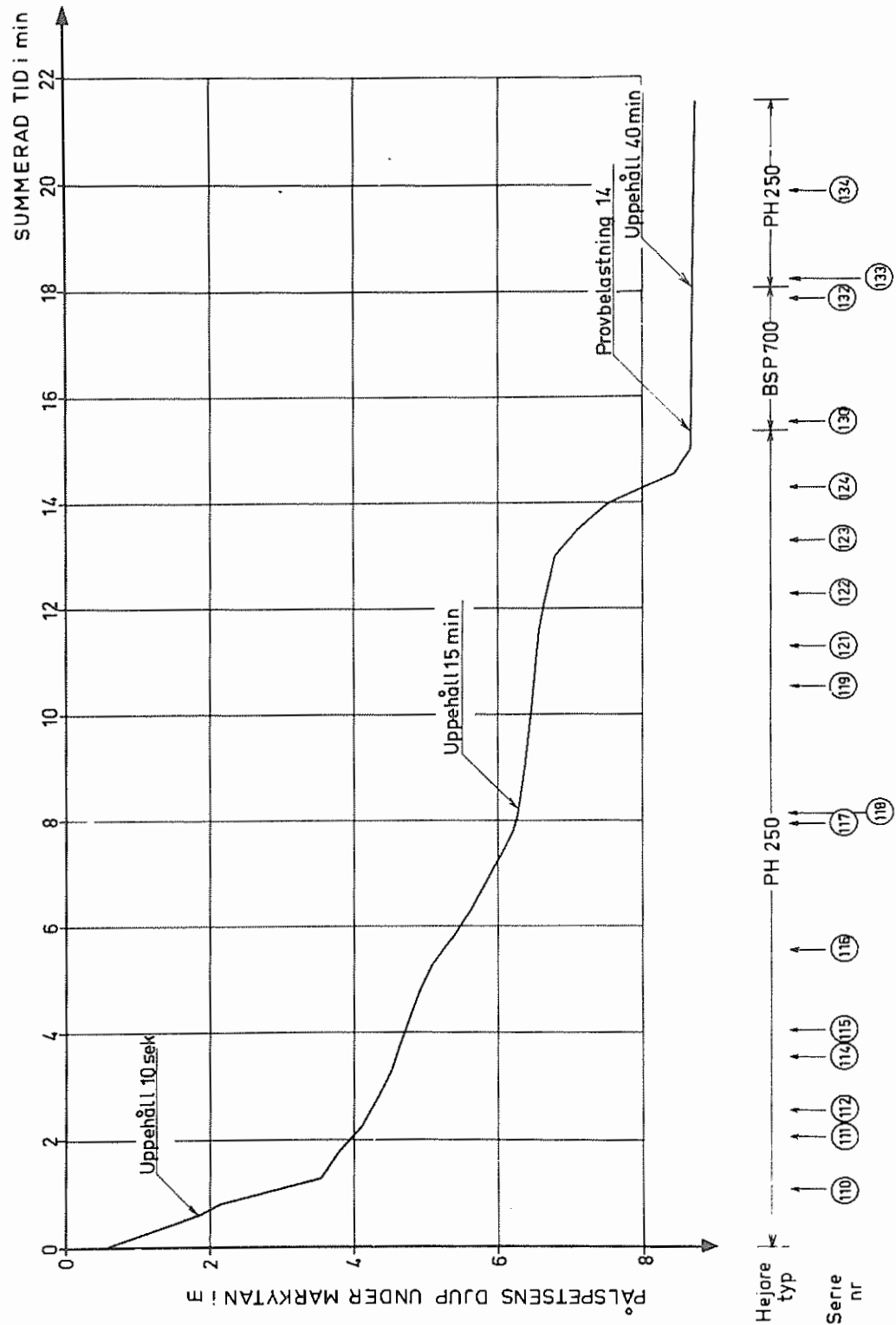
SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 5b (RÄLSPÅLE)

Ramming diagram for pile 5b (rail pile)



SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 6 (VALSÄMNESPÅLE)

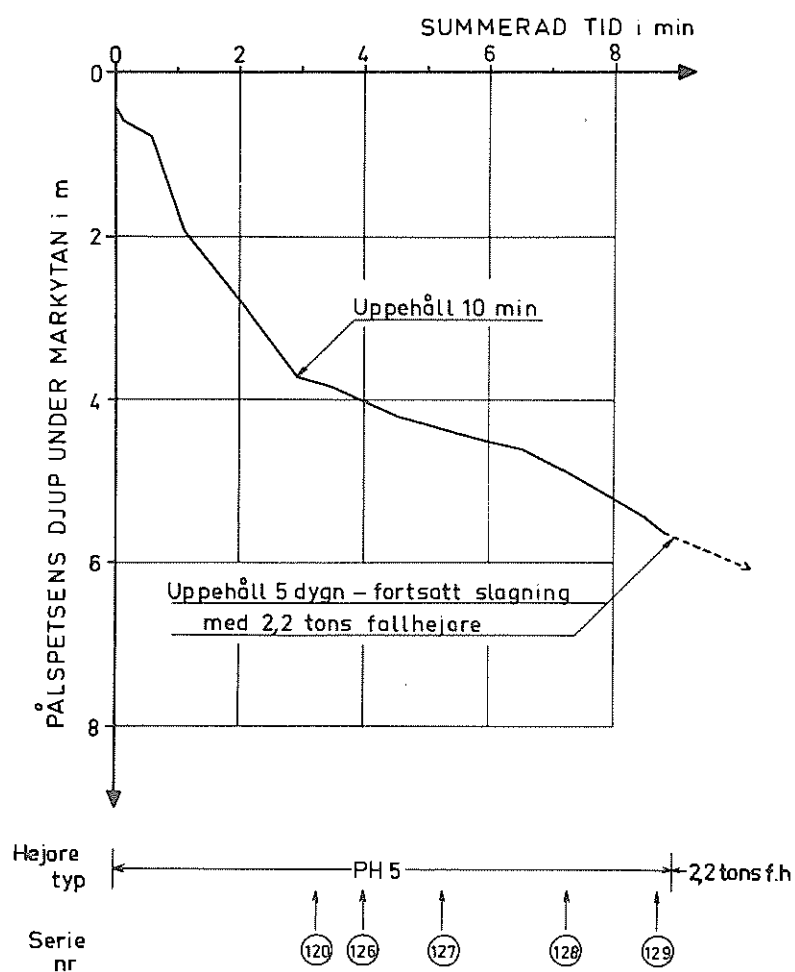
Ramming diagram for pile 6 (billet pile)



2:8

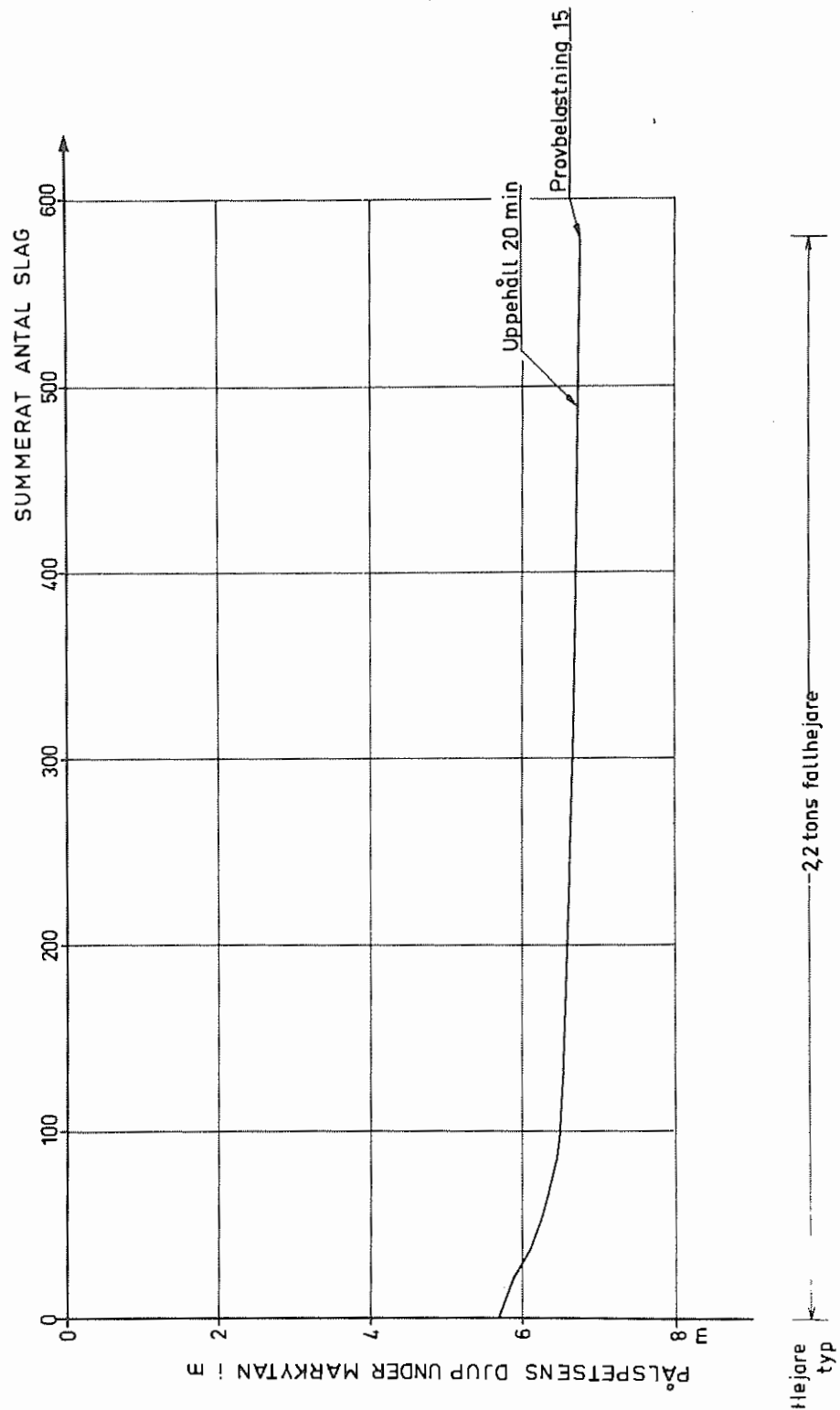
SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 7 (RÄLSPÅLE)

Ramming diagram for pile 7 (rail pile)



SLAGNINGSDIAGRAM FÖR PÅLE 7 (RÄLSPÅLE). SLAGNING MED FALLHEJARE MED 35 Å 40 cm FALLHÖJD

Ramming diagram for pile 7 (rail pile). Driving with drop hammer with 35 Å 40 cm height of fall



[illegible]

SAMMANSTÄLLNING AV SLAGNINGSDATA
FRÅN FÖRSÖKSPLATSEN VID HOVSTA

Compilation of ramming data from the test site
at Hovsta

Translations:	Serie	=	Driving serie
	Hejare	=	Hammer
	Påle	=	Pile
	Pålspets	=	Pile point
	Djup	=	Depth
	Slagtal	=	Blows per minute
	Lufttryck	=	Air pressure
	Luftflöde	=	Air flow
	Sjunkning	=	Settlement
	Anmärkningar	=	Remarks
	Kalibrering	=	Calibration

3:1

Serie nr	Hejare	Påle nr	Pålspets djup m	Slagtal slag/min	Luft-tryck A ¹⁾ kp/cm ²	Luft-tryck B ²⁾ kp/cm ²	Luft-tryck C ³⁾ kp/cm ²	Luft-flöde m ³ /min	Sjunkning mm/slag	Anmärkningar
1	PH 5	1	8,10	309	7,2				0	
2	"	1	8,10	274	3,2			1,7	0	
3	"	1	8,10	311	4,4			2,6	0	
4	"	1	8,10	338	5,6			3,3	0	
5	"	2	1,45	246					3,74	
6	"	2	1,85	244	7,3				2,75	
7	"	2	2,20	238			4,0		2,90	
8	"	2	4,93	288	7,2				0,41	
9	"	2	5,05	287			6,3	2,6	0,45	
10	"	2	5,10	283						Kalibrering
11	"	2	5,19	283	7,1			2,7	0,54	
12	"	2	5,28	283					0,71	
13	"	2	5,43	284					1,48	
14	"	2	5,65	282					1,72	
15	"	2	5,88	284	7,1			2,7	1,76	
16	"	2	6,17	282					3,74	
17	"	2	6,56	283					4,07	
18	"	2	7,17	282					3,52	
19	"	2	7,52	282	7,1			2,7	2,98	
20	TEP400	1	8,10	507	4,0		3,9	1,9	0	
21	"	1	8,10	618	5,3		5,0	3,8	0	
22	"	1	8,10	598	6,4		6,1	4,0	0	
23	"	3	1,52	590	7,2				2,66	
24	"	3	2,80	588			6,0		1,94	
25	"	3	3,51	588	7,1				2,18	
26	"	3	3,81	595					0,56	
27	"	3	3,92	554		6,1			0,20	
28	"	3	3,98	560					0,23	
29	"	3	4,05	554				3,8	0,25	
30	"	3	4,14	554					0,44	
31	"	3	4,36	540	7,1			3,7	1,11	
32	"	3	4,70	560					1,41	
33	"	3	5,54	527					1,25	
34	"	3		516						Kalibrering
35	"	3	6,42	514					1,93	

1) A = manometer vid mätsträckan

2) B = manometer vid pådraget

3) C = nålmanometer (kalibrerad)

Serie nr	Hejare	Påle nr	Pålspetsdjup m	Slagtal slag/min	Lufttryck A ¹⁾ kp/cm ²	Lufttryck B ²⁾ kp/cm ²	Lufttryck C ³⁾ kp/cm ²	Luftflöde m ³ /min	Sjunkning mm/slag	Anmärkingar
36	TEP 400	3	6,94	509	7,1			3,5	2,22	
37	PH 180	4	1,77	272					6,13	
38	"	4	2,82	269	7,1	6,0			8,85	
39	"	4	3,79	271					5,39	
40	"	4	4,19	281					0,56	
41	"	4	4,25	283					0,37	
42	"	4	4,31	282					0,37	
43	"	4	4,35	277	7,0	6,0		4,8	0,33	
44	"	4	4,51	268					1,22	
45	"	4	4,71	268					1,79	
46	"	4		268						Kalibrering
47	"	4	4,96	269					2,02	
48	"	4	5,27	269	6,9	5,9		4,6	2,48	
49	"	4	5,67	270					3,56	
50	"	4	6,25	271				4,8	4,91	
51	"	4	7,80	267					4,09	
52	"	4	8,11	272					1,18	
53	"	4	8,17	272					0,81	
54	"	4	8,20	263					0,59	
55	"	5a	2,27	268	7,2				9,00	
56	"	5a	2,95	310	7,0	6,0			1,08	
57	"	5a	3,05	320	7,0	6,0			0,075	
58	"	5a	3,11	326	6,8	5,9		5,7	0,061	
59	"	5a	3,15	330	6,8	5,9			0,130	
60	"	5a	3,20	327	6,8	5,9		5,7	0,049	
61	"	5a	3,22	320	6,8			5,7	0,088	
62	"	5a		320						Kalibrering
63	"	5a	3,24	327	7,1				0,050	
64	"	5a	3,26	315	6,9	5,8			0,063	
65	"	5a	3,28	313					0,032	
66	"	5a	3,29	320					0,047	
67	"	5a		324						Kalibrering
68	"	5a	3,31	321	6,8	5,7		5,3	0,025	
69	"	5a	3,31	320	6,8			5,3	0,056	
70	PH 250	5a		208						Kalibrering

1) A = manometer vid mätsträcken

2) B = manometer vid pådraget

3) C = nålmanometer (kalibrerad)

Serie nr	Hejare	Påle nr	Pålspets djup m	Slagtal slag/min	Luft-tryck A ¹⁾ kp/cm ²	Luft-tryck B ²⁾ kp/cm ²	Luft-tryck C ³⁾ kp/cm ²	Luft-flöde m ³ /min	Sjunkning mm/slag	Anmärkningar
71	PH 250	5a	3,32	202					0,079	
72	"	5a	3,34	200	6,7			11,7	0,160	
73	"	5a	3,39	206	6,7			11,8	0,058	
74	"	5a	3,41	204					0,100	
75	"	5a	3,42	200					0,040	
76	"	5a	≈ 3,45	174	4,7	4,2 ⁴⁾		5,0	≈ 0,1	
77	"	5a	≈ 3,45	136	3,3	3,3 ⁴⁾		2,9	≈ 0,1	
78	PH 180	1	8,10	239	3,4	3,5 ⁴⁾		2,4	0	
79	"	1	8,10	272	4,0	4,1 ⁴⁾		3,3	0	
80	"	1	8,10	312	5,1	5,0 ⁴⁾		4,8	0	
81	"	1	8,10	322	5,8	5,6 ⁴⁾		6,1	0	
82	PH 5	2	7,79	294					1,09	
83	"	2	7,85	289	7,0				0,50	
84	"	2	8,05	280					0,50	
85	"	2	8,06	280					0,55	
86	"	3	7,73	282					2,41	
87	"	3	7,79	282					1,70	
88	"	3	7,94	274					0,48	
89	"	3	7,96	274					0,26	
90	"	3	7,99	286					0,84	
91	"	3	8,01	286					0,56	
92	"	3	8,09	279	7,4				0,46	
93	"	3	8,14	285					0,95	
94	"	3	8,28	280					0,84	
95	"	3	8,31	280					0,79	
96	"	3	8,32	288					0,26	
97	"	3	8,34	282	7,2	6,0			0,035	
98	PH 250	5b	3,17	169		4,9			7,40	
99	"	5b		208						Kalibrering
100	"	4	8,23	210					0,55	
101	"	4	8,25	203		5,1			0,96	
102	PH 180	4	8,33	265					0,54	
103	"	4	8,35	289		6,0			0,31	
104	PH 250	4	8,64	217					0,170	
105	"	4	8,64	238					0,052	

1) A = manometer vid mätsträckan

2) B = manometer vid pådraget

3) C = nålmanometer (kalibrerad)

4) Lilla omörjflaskan vid pådraget borttagen

Serie nr	Hejare	Påle nr	Pålspets djup m	Slagtal slag/min	Luft-tryck A ¹⁾ kp/cm ²	Luft-tryck B ²⁾ kp/cm ²	Luft-tryck C ³⁾ kp/cm ²	Luft-flöde m ³ /min	Sjunkning mm/slag	Anmärkingar
106	PH 250	4	8,64	235		5,8			0,026	
107	"	4	8,65	230					0,072	
108	PH 180	4	8,66						0,037	
109	"	4	8,67	306					0,006	
110	PH 250	6	2,85	201	6,7	6,0			14,0	
111	"	6	3,96	199					3,62	
112	"	6	4,24	197					2,02	
113	"	6		199						Kalibrering
114	"	6	4,58	198	6,5	5,7		13,1	1,28	
115	"	6	4,71	197					1,28	
116	"	6	5,24	192	6,5	5,7		13,1	2,92	
117	"	6	6,25	221					0,62	
118	"	6	6,28	224					0,60	
119	"	6	6,50	216	6,4	5,8		12,4	0,33	
120	"	6		214						Kalibrering
121	"	6	6,55	213	6,5	5,7		12,4	0,30	
122	"	6	6,68	201					0,77	
123	"	6	6,96	200					3,13	
124	"	6	8,00	201					8,5	
125	PH 5	7	3,70	271					0,79	
126	"	7	3,93	270	7,2	5,7		2,3	1,34	
127	"	7	4,27	268					0,94	
128	"	7	4,80	267	7,2	5,6		2,3	1,49	
129	"	7	5,45	265					2,25	
130	BSP 700	6	8,64	222					0,081	
131	"	6		226						Kalibrering
132	"	6	8,77	226					0,036	
133	PH 250	6	8,77	226					0,093	
134	"	6	8,78	217					0,012	
135	"	6	8,79	208	6,0	5,3		12,8	0,014	
136	"	6	≈ 8,80	204	6,0	5,3		13,5	≈ 0,01	
137	"	6	"	204	6,4	4,7		11,4	"	
138	"	6	"	170	6,8	3,9		8,3	"	
139	BSP 700	6	≈ 8,85	209	6,8	1,7		8,6	≈ 0,01	
140	"	6	"	217	6,3	2,4		12,2	"	
141	"	6	"	195	5,0	3,5		17,1	"	

1) A = manometer vid mätsträckan

2) B = manometer vid pådraget

3) C = nålmanometer (kalibrerad)

4) Lilla smörjflaskan vid pådraget borttagen

EXEMPEL PÅ RESULTATUTSKRIFT FRÅN
DATOR

Example of computer output

4:1

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 1
Example of output of sheet 1

MEDELKURVA AV 10 SLAG I SERIE NR 42

AREA OF CROSS SECTION	35.000 (S6CM)
VELOCITY OF SOUND	5110 (M/S)
MODULUS OF ELASTICITY	2100000 (KP/S6CM)
LENGTH OF BAR	NOT AVAILABLE
LOCATION OF GAUGE FROM TOP OF BAR	NOT AVAILABLE
STRAIN FACTOR,	0.00164 (1/VCLT)
TIME INTERVAL	0.049 (MS)

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 2

Example of output of sheet 2

MEDELKURVA AV 10 SLAG I SERIE NR 42

WAVE PART NR 1

PULSE NR 1

TIME (MS)	VOLTAGE (V)	STRESS (KP/SGCM)	STRESS**2 ((KP/SGCM)**2)	ENERGY PER TIME INTER- VAL (KPM)	SUM OF ENERGY (KPM)
0.000	9.000-003	3.100+001	9.608+002	4.014-003	4.014-003
0.049	3.200-002	1.102+002	1.215+004	5.075-002	9.476-002
0.098	7.950-002	2.738+002	7.497+004	3.132-001	3.680-001
0.147	1.480-001	5.097+002	2.598+005	1.086+000	1.454+000
0.196	2.100-001	7.232+002	5.231+005	2.186+000	3.639+000
0.245	2.805-001	9.660+002	9.332+005	3.899+000	7.538+000
0.294	3.310-001	1.140+003	1.300+006	5.430+000	1.297+001
0.343	3.325-001	1.145+003	1.311+006	5.479+000	1.845+001
0.392	3.135-001	1.080+003	1.166+006	4.871+000	2.332+001
0.442	2.900-001	9.988+002	9.975+005	4.168+000	2.749+001
0.491	2.940-001	8.748+002	7.652+005	3.197+000	3.068+001
0.540	2.035-001	7.009+002	4.912+005	2.052+000	3.274+001
0.989	1.485-001	5.114+002	2.616+005	1.093+000	3.383+001
0.638	1.235-001	4.253+002	1.809+005	7.559-001	3.458+001
0.687	1.025-001	3.530+002	1.246+005	5.207-001	3.911+001
0.736	8.650-002	2.979+002	8.875+004	3.708+001	3.548+001
0.785	7.850-002	2.704+002	7.309+004	3.054+001	3.578+001
0.834	8.150-002	2.807+002	7.878+004	3.292+001	3.611+001
0.883	9.050-002	3.117+002	9.715+004	4.059+001	3.652+001
0.932	1.035-001	3.565+002	1.271+005	5.309+001	3.705+001
0.981	9.900-002	3.410+002	1.163+005	4.857+001	3.753+001
1.030	1.045-001	3.599+002	1.295+005	5.412+001	3.807+001
1.079	1.020-001	3.513+002	1.234+005	5.156+001	3.859+001
1.128	9.800-002	3.375+002	1.139+005	4.760+001	3.907+001
1.177	8.200-002	2.824+002	7.975+004	3.332+001	3.940+001
1.226	7.000-002	2.411+002	5.812+004	2.428+001	3.964+001
1.276	6.700-002	2.307+002	5.324+004	2.225+001	3.986+001

4:3

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 3

Example of output of sheet 3

PEDELKURVA AV 10 SLAG I SERIE NR 42

WAVE PART NR 1

PULSE NR 2

TIME (MS)	VOLTAGE (V)	STRESS (KP/SCCM)	STRESS**2 ((KP/SCCM)**2)	ENERGY PER TIME INTER- VAL (KPM)	SUM CF ENERGY (KPM)
3,336	-4,000-003	-1,378+001	1,898+002	7,929-004	7,929-004
3,385	-3,553-002	-1,223+002	1,495+004	6,246-002	6,325-002
3,434	-6,500-002	-2,239+002	5,011+004	2,094-001	2,726-001
3,483	-9,450-002	-3,255+002	1,059+005	4,426-001	7,152-001
3,532	-9,350-002	-3,220+002	1,037+005	4,333-001	1,148+000
3,581	-6,150-002	-2,118+002	4,486+004	1,874-001	1,336+000
3,630	6,000+003	2,066+001	4,270+002	1,784-003	1,338+000
3,679	7,900+002	2,583+002	6,672+004	2,788-001	1,616+000
3,729	1,169+001	4,012+002	1,610+005	6,726-001	2,289+000
3,778	1,360+001	4,684+002	2,194+005	9,166-001	3,206+000
3,827	1,240+001	4,271+002	1,824+005	7,620-001	3,968+000
3,876	1,215+001	4,184+002	1,751+005	7,316-001	4,699+000
3,925	9,500+002	3,272+002	1,070+005	4,473-001	9,147+000
3,974	6,650+002	2,290+002	5,245+004	2,192-001	9,366+000
4,023	3,500+002	1,205+002	1,453+004	6,071-002	9,427+000
4,072	1,250+002	4,305+001	1,853+003	7,744-003	9,434+000
4,121	-7,500+003	-2,583+001	6,672+002	2,788-003	9,437+000
4,170	-2,400+002	-8,266+001	6,832+003	2,855-002	9,466+000
4,219	-3,900+002	-1,343+002	1,804+004	7,538-002	9,541+000
4,268	-3,950+002	-1,360+002	1,851+004	7,732-002	9,618+000
4,317	-4,300+002	-1,481+002	2,193+004	9,163-002	9,710+000
4,366	-3,800+002	-1,309+002	1,713+004	7,156-002	9,781+000
4,415	-4,250+002	-1,464+002	2,142+004	8,952-002	9,871+000
4,464	-3,750+002	-1,292+002	1,668+004	6,969-002	9,941+000
4,514	-3,100+002	-1,068+002	1,140+004	4,763-002	9,988+000
4,563	-3,100+002	-1,068+002	1,140+004	4,763-002	6,036+000
4,612	-3,650+002	-1,257+002	1,580+004	6,603-002	6,102+000

4:4

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 4

Example of output of sheet 4

MEDELKURVA AV 10 SLAG I SERIE NR 42

WAVE PART NR 1

TIME (MS)	TRANSMITTED ENERGY PER TIME INTERVAL (KPM)	SUM OF TRANSMITTED ENERGY (KPM)	CONTACT STRESS (KP/50CM)	VELOCITY OF PENE- TRATION (M/S)	PENETRATION PER TIME INTERVAL (MM)	SUM OF PENETRATION (MM)
0.000	0.003	0.003	17.22	0.109	0.005	0.005
0.049	-0.012	-0.008	-12.05	0.566	0.028	0.033
0.098	0.104	0.095	49.94	1.211	0.059	0.093
0.147	0.643	0.730	184.25	2.032	0.100	0.192
0.196	1.752	2.491	401.23	2.543	0.125	0.317
0.245	3.712	6.202	754.24	2.866	0.141	0.458
0.294	5.428	11.630	1160.63	2.724	0.134	0.591
0.343	5.200	16.831	1403.43	2.198	0.106	0.697
0.392	4.198	21.020	1400.92	1.651	0.081	0.778
0.442	3.251	24.280	1467.14	1.291	0.063	0.841
0.491	2.435	26.716	1301.83	1.089	0.053	0.895
0.540	1.321	28.036	1119.30	0.687	0.034	0.929
0.589	0.646	28.682	838.61	0.448	0.022	0.951
0.638	0.537	29.219	654.36	0.478	0.023	0.974
0.687	0.460	29.679	473.59	0.566	0.028	1.002
0.736	0.363	30.042	340.96	0.620	0.030	1.032
0.785	0.303	30.344	244.52	0.721	0.035	1.068
0.834	0.301	30.645	198.03	0.864	0.043	1.111
0.883	0.331	30.979	177.37	1.065	0.053	1.164
0.932	0.454	31.429	220.42	1.198	0.059	1.223
0.981	0.394	31.823	192.86	1.190	0.058	1.281
1.030	0.470	32.293	229.03	1.194	0.059	1.340
1.079	0.426	32.719	204.92	1.211	0.059	1.399
1.128	0.406	33.125	208.36	1.136	0.056	1.455
1.177	0.286	33.411	175.64	0.947	0.046	1.501
1.226	0.195	33.606	134.32	0.846	0.042	1.543
1.276	0.156	33.762	105.04	0.867	0.043	1.586

4:5

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 5

Example of output of sheet 5

MEDELKURVA AV 10 BLAG I SERIE NR 42

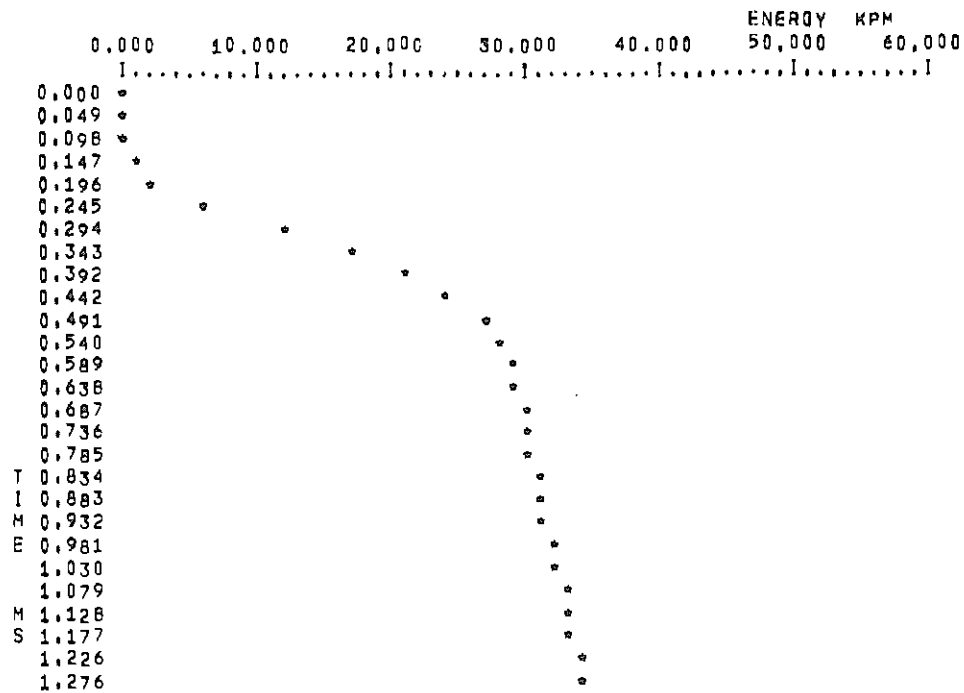
WAVE PART NR	TRANS- MITTED ENERGY (KPM)	TRANSMITTED ENERGY AT REFLEX (PER CENT)	TRANSMITTED ENERGY PER CENT OF PRIMARY WAVE	/POSITIVE/ PENETRATION (MM)	RELAXATION /NEGATIVE PENETRATION/ (MM)	RELAXATION (PER CENT)	RESULTING PENETRATION (MM)
1	33,762	84,7	84,7	1,586	0,000	-0,0	1,586

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 6

Example of output of sheet 6

TEST NR 42

TRANSMITTED ENERGY - TIME



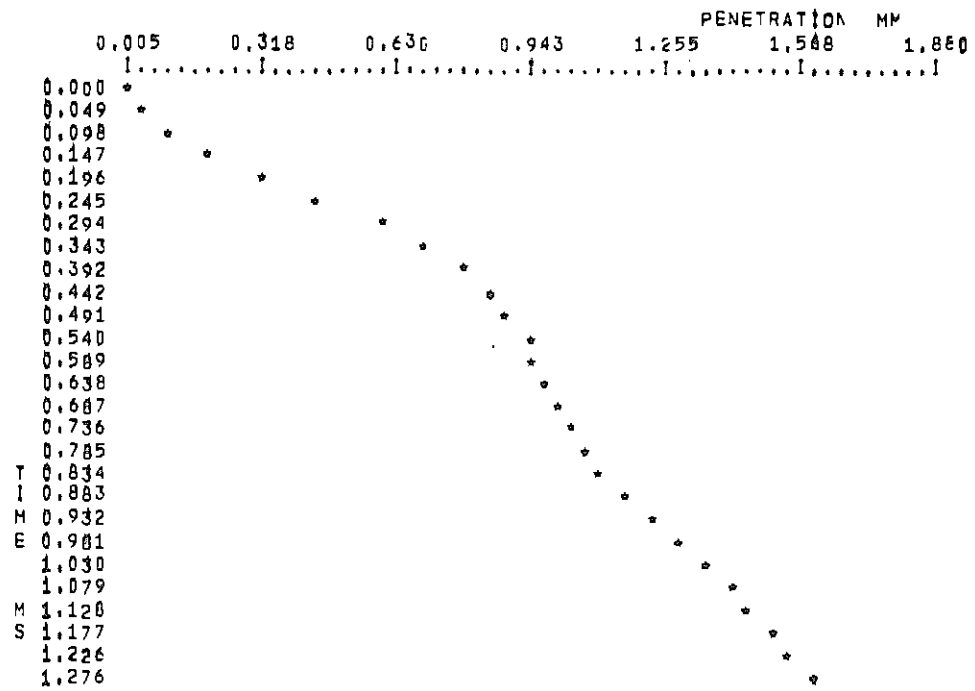
4:7

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 7

Example of output of sheet 7

TEST NR 42

PENETRATION - TIME

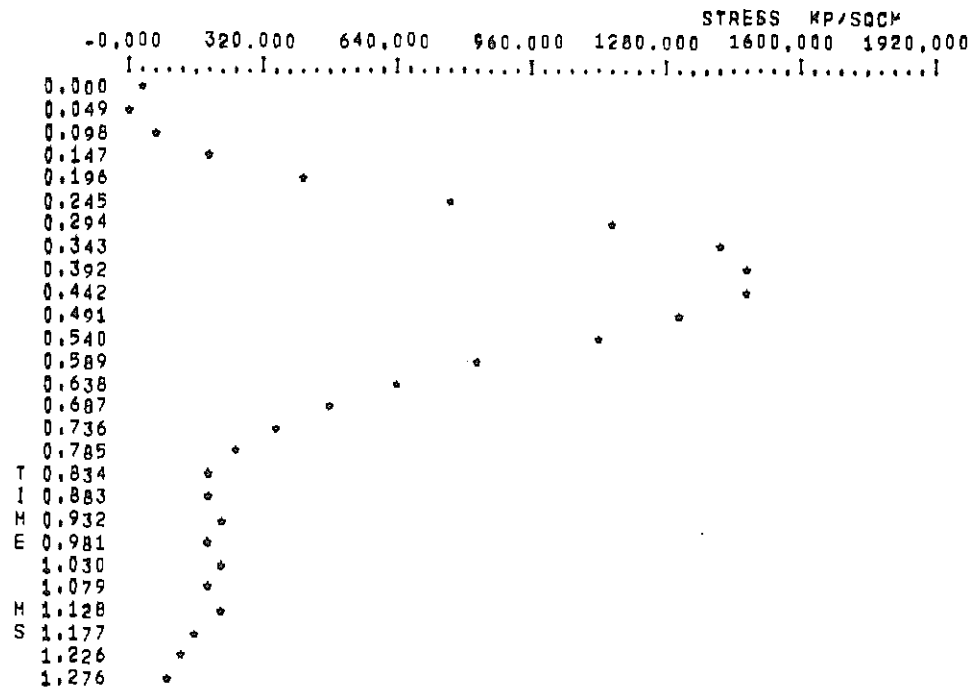


EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 8

Example of output of sheet 8

TEST NR 42

CONTACT STRESS - TIME

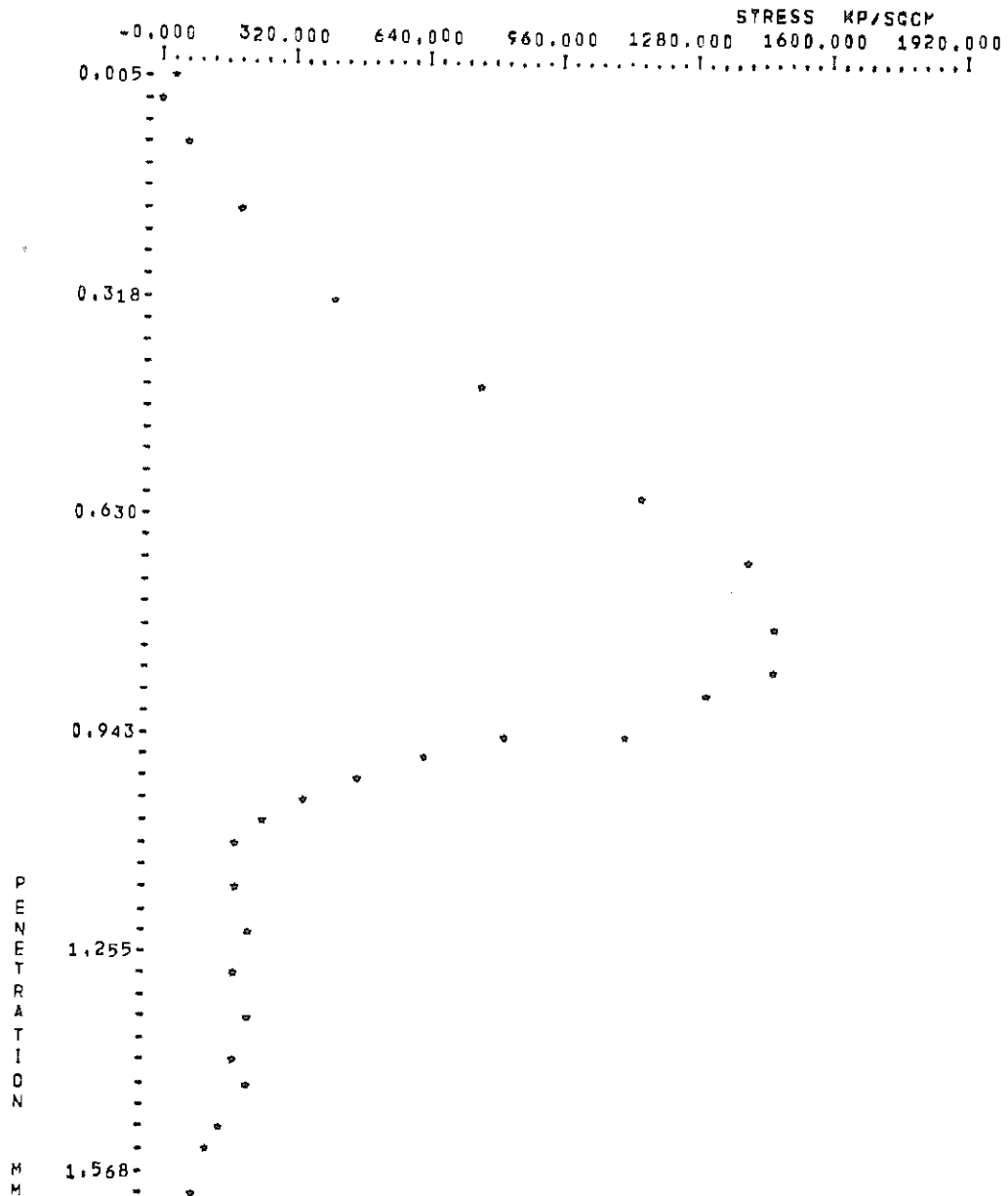


EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 9

Example of output of sheet 9

TEST NR 42

CONTACT STRESS = PENETRATION



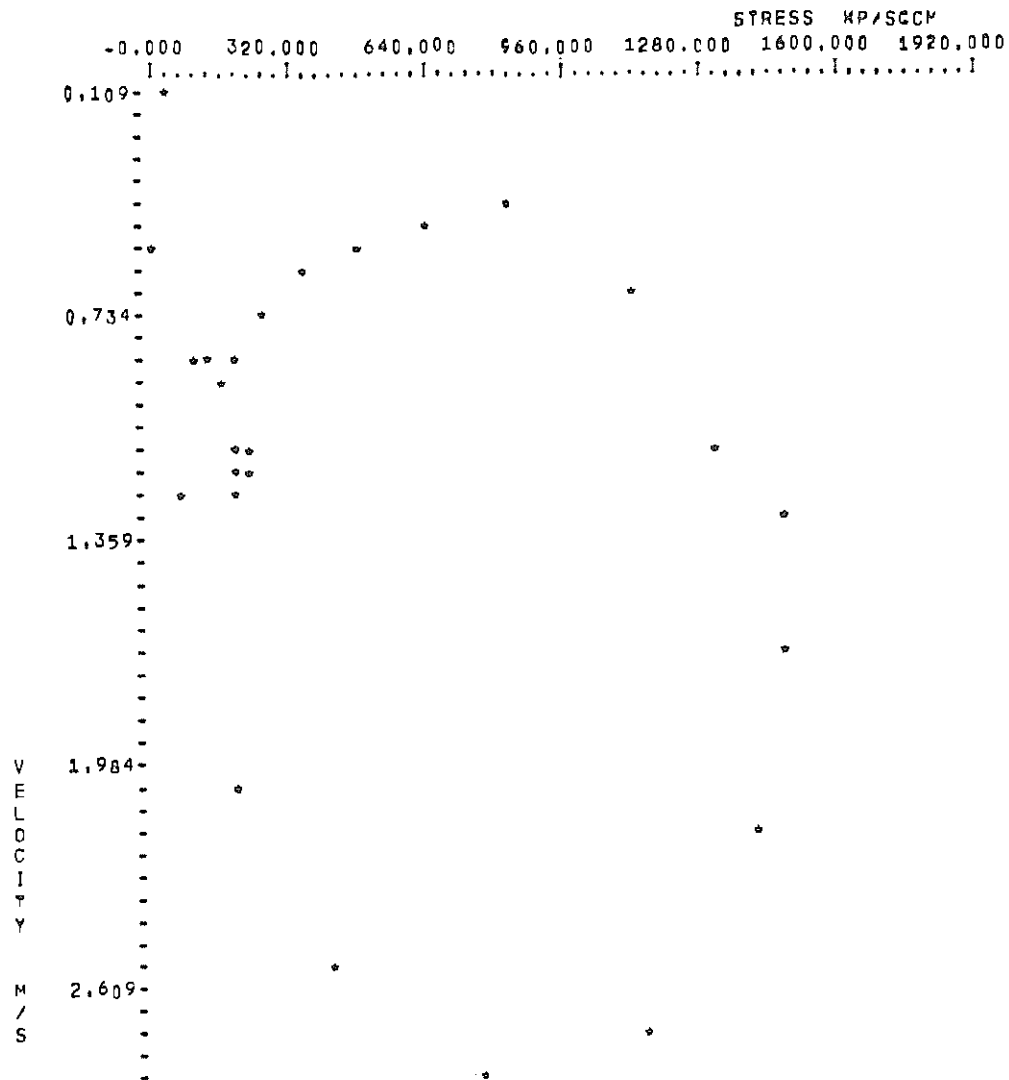
4:10

EXEMPEL PÅ UTSKRIFT AV BLAD 10

Example of output of sheet 10

TEST NR 42

CONTACT STRESS = VELOCITY OF PENETRATION



SAMMANSTÄLLNING AV STÖTVÅGSDATA FRÅN
FÖRSÖKSPLATSERNA VID HOVSTA OCH TEGELBACKEN

Compilation of stress wave data from the test sites at
Hovsta and Tegelbacken

Translations:	Serie	=	Driving serie
	Hejare	=	Hammer
	Påle	=	Pile
	Slagtal	=	Blows per minute
	Slageffekt	=	Driving effect
	Anmärkningar	=	Remarks

5:1

Serie nr	Hejare	Påle nr	W_t kpm/slag	Slagtal slag/min	Slageffekt Mpm/min	e mm/min	e mm/slag	$P_{i, sk}$ Mp	P_{sp} Mp	$\frac{P_{sp}}{P_{i, sk}}$	Anmärkn.
1	PH 5	1		309		0	0				Ej repr.
2	"	1	16,5	274	4,5	0	0	30,1			Ej repr.
3	"	1	24,3	311	7,6	0	0	38,5	52,8	1,37	
4	"	1	29,1	338	9,8	0	0	41,3	58,8	1,42	
5	"	2	21,7	246	5,3	920	3,74	41,3	7,7	0,19	
6	"	2	19,4	244	4,7	670	2,75	38,8	7,3	0,19	
7	"	2	20,4	238	4,9	690	2,90	39,9	8,7	0,22	
8	"	2	27,2	288	7,8	120	0,41	43,0	44,8	1,04	
9	"	2	27,5	287	7,9	130	0,45	44,4	41,7	0,94	
10	"	2		283							Kalibrering
11	"	2	27,6	283	7,8	150	0,54	44,8	39,2	0,88	
12	"	2	27,2	283	7,7	200	0,71	43,0	31,5	0,73	
13	"	2	25,6	284	7,3	400	1,48	41,3	17,8	0,43	
14	"	2	28,4	282	8,0	460	1,72	46,2	17,2	0,37	
15	"	2	28,1	284	8,0	500	1,76	45,8	31,8	0,70	
16	"	2	28,0	282	7,9	650	3,74	44,8	13,3	0,30	
17	"	2	26,4	283	7,5	900	4,07	41,0	10,5	0,26	
18	"	2	28,5	282	8,0	990	3,52	41,0	11,6	0,28	
19	"	2	30,4	282	8,6	790	2,98	45,1	18,6	0,41	
20	TEP 400	1	8,2	507	4,2	0	0	24,2	32,6	1,35	
21	"	1	22,6	618	14,0	0	0	42,0			Ej repr.
22	"	1	27,9	598	16,7	0	0	43,4	48,0	1,10	
23	"	3	23,3	590	13,7	1570	2,66	41,0	9,5	0,23	
24	"	3	25,3	588	14,9	1140	1,94	42,3	11,2	0,26	
25	"	3	26,2	588	15,4	1280	2,18	41,3	10,5	0,25	
26	"	3	25,6	595	15,2	330	0,56	41,3	29,1	0,70	
27	"	3	29,2	554	16,2	110	0,20	44,0	30,1	0,68	
28	"	3	29,1	560	16,3	130	0,23	45,5	35,7	0,79	
29	"	3	30,5	554	16,9	140	0,25	46,2	38,2	0,83	
30	"	3	29,6	554	16,4	240	0,44	44,4	27,3	0,61	
31	"	3	28,6	549	15,7	610	1,11	43,8	21,7	0,50	
32	"	3	26,1	560	14,6	790	1,41	42,3	14,7	0,35	
33	"	3	31,6	527	16,6	660	1,25	48,3	25,9	0,54	
34	"	3		516							Kalibrering
35	"	3	19,9	514	10,2	990	1,93	38,5	16,1	0,42	

Ej repr = Ej representativ serie p g a att något eller några av de 10 slagen i serien är felaktigt

Serie nr	Hejare	Påle nr	W_i kpm/slag	Slagtal slag/min	Slageffekt Mpm/min	c mm/min	c mm/slag	$P_{i, sk}$ Mp	P_{sp} Mp	$\frac{P_{sp}}{P_{i, sk}}$	Anmärkn.
36	TEP 400	3	20,1	509	10,2	1130	2,22	38,5	14,4	0,37	
37	PH 180 ny	4	42,9	272	11,7	1670	6,13	38,5	6,3	0,16	
38	"	4	35,9	269	9,7	2390	8,85	35,4	6,7	0,17	
39	"	4		271		1460	5,39				Ej repr.
40	"	4	42,8	281	12,0	160	0,56	40,3	52,9	1,31	
41	"	4		283		100	0,37				Ej repr.
42	"	4	41,9	282	11,8	100	0,37	40,3	51,8	1,29	
43	"	4	42,5	277	11,8	92	0,33	39,2	45,5	1,16	
44	"	4		268		330	1,22				Ej repr.
45	"	4	39,9	268	10,7	480	1,79	39,6	28,7	0,73	
46	"	4		268							Kalibrering
47	"	4		269		540	2,02				Ej repr.
48	"	4	43,5	269	11,7	670	2,48	42,7	12,3	0,29	
49	"	4	42,2	270	11,4	960	3,56	42,0	11,9	0,28	
50	"	4	41,9	271	11,3	1330	4,91	42,0	13,7	0,33	
51	"	4		267		1090	4,09				Ej repr.
52	"	4	42,6	272	11,6	320	1,18	38,9	46,2	1,19	
53	"	4	46,7	272	12,7	220	0,81	40,6	46,9	1,16	
54	"	4	43,3	263	11,4	150	0,59	39,2	43,1	1,10	
55	"	5a	40,1	268	10,7	2410	9,00	38,8	3,5	0,09	
56	"	5a	51,7	310	16,0	330	1,08	47,3	53,6	1,13	
57	"	5a	56,1	320	18,0	24	0,075	49,0	60,6	1,24	
58	"	5a		326		20	0,061				Ej repr.
59	"	5a	60,1	330	19,8	42	0,130	45,8	74,9	1,63	
60	"	5a	55,2	327	18,0	16	0,049	45,8	78,0	1,70	
61	"	5a	63,9	320	20,4	28	0,088	49,0	75,6	1,54	
62	"	5a		320							Kalibrering
63	"	5a	55,9	327	18,3	17	0,050	48,0	84,3	1,76	
64	"	5a	50,4	315	15,9	20	0,063	45,8	72,8	1,59	
65	"	5a		313		10	0,032				Ej repr.
66	"	5a		320		15	0,047				Ej repr.
67	"	5a		324							Kalibrering
68	"	5a	56,7	321	18,2	8	0,025	52,2	88,5	1,70	
69	"	5a	56,4	320	18,0	18	0,056	51,1	91,0	1,78	
70	PH 250	5a		208							Kalibrering

Serie nr	Hejare	Påle nr	W_i kpm/slag	Slagtal slag/min	Slageffekt Mpm/min	e mm/min	e mm/slag	$P_{i, sk}$ Mp	P_{sp} Mp	$\frac{P_{sp}}{P_{i, sk}}$	Anmärkn.
71	PH 250	5a	67,9	202	13,7	16	0,079	38,2	67,6	1,77	
72	"	5a	73,5	200	14,7	32	0,160	39,2	67,6	1,72	
73	"	5a	68,2	206	14,0	12	0,058	38,5	66,8	1,74	
74	"	5a	65,1	204	13,3	21	0,100	37,5	66,8	1,79	
75	"	5a	75,7	200	15,1	8	0,040	39,6	73,2	1,85	
76	"	5a	38,6	174	6,7		$\approx 0,05$	27,0	44,1	1,64	
77	"	5a	18,2	136	2,5		$\approx 0,05$	19,3	32,2	1,67	
78	PH 180 ny	1	16,7	239	4,0	0	0	27,3	43,8	1,60	
79	"	1	26,5	272	7,2	0	0	35,7	56,3	1,58	
80	"	1	42,2	312	13,2	0	0	41,7	65,1	1,56	
81	"	1	40,5	322	13,0	0	0	38,5	66,5	1,73	
82	PH 5	2	37,9	294	11,1	320	1,09	45,8	43,1	0,94	
83	"	2	40,1	289	11,6	140	0,50	48,7	44,8	0,92	
84	"	2	38,9	280	10,9	140	0,50	45,8	46,6	1,02	
85	"	2		280		150	0,55				Ej repr.
86	"	3	33,8	282	9,5	680	2,41	42,7	25,5	0,60	
87	"	3	34,9	282	9,8	480	1,70	42,0	25,2	0,60	
88	"	3	33,2	274	9,1	130	0,48	41,3	34,7	0,84	
89	"	3		274		72	0,26				Ej repr.
90	"	3	33,4	286	9,5	240	0,84	42,7	29,7	0,70	
91	"	3	34,2	286	9,8	160	0,56	42,7	32,2	0,75	
92	"	3	32,2	279	9,0	129	0,46	41,7	26,6	0,64	
93	"	3	31,3	285	8,9	270	0,95	41,3	24,5	0,59	
94	"	3	30,3	280	8,5	230	0,84	40,6	23,5	0,58	
95	"	3	28,8	280	8,1	220	0,79	39,9	23,1	0,58	
96	"	3	31,0	288	8,9	76	0,26	42,7	37,8	0,89	
97	"	3	30,7	282	8,7	10	0,035	41,7	38,5	0,92	
98	PH 250	5b	36,3	169	6,1						Ej repr.
99	"	5b		208							Kalibrering
100	"	4	83,8	210	17,6	110	0,55	44,4	38,1	0,86	
101	"	4	76,7	203	15,5	200	0,96	42,3	33,2	0,78	
102	PH 180 ny	4	49,7	285	14,2	150	0,54	46,5	31,8	0,68	
103	"	4	48,5	289	14,0	90	0,31	45,8	34,0	0,74	
104	PH 250	4	75,9	217	16,5	36	0,170	41,0	55,3	1,35	
105	"	4	89,2	238	21,2	12	0,052	45,8	60,5	1,32	

Serie nr	Hejare	Påle nr	W_i kpm/slag	Slagtal slag/min	Slageffekt Mpm/min	c mm/min	c mm/slag	$P_{i, sk}$ Mp	P_{sp} Mp	$\frac{P_{sp}}{P_{i, sk}}$	Anmärkn.
106	PH 250	4	58,0	235	13,6	6	0,026	35,7	65,8	1,84	
107	"	4		230		17	0,072				Ej repr.
108	PH 180 ny	4	43,8	294	12,9	11	0,037	42,0	35,0	0,83	
109	"	4	48,5	306	14,8	2	0,006	44,1	42,0	0,95	
110	PH 250	6	82,3	201	16,5	2820	14,0	92,0	14,5	0,16	
111	"	6	97,4	299	19,4	720	3,62	101	29,0	0,29	
112	"	6	85,4	197	16,8	400	2,02	97,0	29,0	0,30	
113	"	6		199							Kalibrering
114	"	6	90,8	198	18,0	250	1,28	95,5	37,5	0,39	
115	"	6	95,1	197	18,7	260	1,28	98,0	40,0	0,41	
116	"	6	103,3	192	19,8	560	2,92	102	30,5	0,30	
117	"	6	99,1	221	21,9	140	0,62	102	131	1,29	
118	"	6		224		140					Ej repr.
119	"	6	102,5	216	22,1	72	0,33	103	136	1,32	
120	"	6		214							Kalibrering
121	"	6	104,2	213	22,2	64	0,30	108	127	1,18	
122	"	6	103,5	201	20,8	150	0,77	104	104	1,00	
123	"	6	89,5	200	17,9	630	3,13	99,0	24,0	0,24	
124	"	6	89,7	201	18,0	1710	8,5	97,0	20,5	0,21	
125	PH 5	7	29,4	271	8,0	210	0,79	45,2	31,2	0,69	
126	"	7	25,7	270	6,9	360	1,34	42,7	12,6	0,30	
127	"	7	26,0	268	7,0	250	0,94	42,3	20,0	0,47	
128	"	7	29,1	267	7,8	400	1,49	45,2	27,6	0,61	
129	"	7	27,7	265	7,3	600	2,25	44,1	16,5	0,37	
130	BSP 700	6	151	222	33,5	18	0,081	132	136	1,03	
131	"	6		226							Kalibrering
132	"	6	121	226	27,2	8	0,036	119	115	0,97	
133	PH 250	6	130	226	29,4	21	0,093	101	128	1,28	
134	"	6	96,2	217	20,9	3	0,012	101	115	1,14	
135	"	6	85,9	208	17,9	3	0,014	93,0	102	1,09	
136	"	6	82,5	204	16,8	≈ 2	≈ 0,001	89,5	109	1,21	
137	"	6	71,8	204	14,7	≈ 2	≈ 0,001	86,0	107	1,24	
138	"	6	51,2	170	8,7	≈ 2	≈ 0,001	70,0	86,0	1,22	
139	BSP 700	6	47,9	209	10,0	≈ 2	≈ 0,001	74,0	71,5	0,97	
140	"	6	82,2	217	17,8	≈ 2	≈ 0,001	98,0	108	1,10	
141	"	6	139	195	27,2	≈ 2	≈ 0,001	127	152	1,20	

Kl.	Hejare	Pale nr	Slagtal slag/min	e mm/min	e mm/slag	P _{l, sk} Mp	P _{sp} Mp	$\frac{P_{sp}}{P_{l, sk}}$	Anmärkn.
13.51.45	BSP 600	T 1 *)	185	2208	11,4	86	11	0,13	
13.52.15	"	"	188	1450	7,7	92	10	0,11	
13.52.45	"	"	203	1092	5,4	105	13	0,12	
13.53.15	"	"	221	1182	5,4	108	35	0,32	
13.53.45	"	"	222	2804	12,6	117	20	0,17	
13.54.15	"	"	225	1858	8,3	127	30	0,24	
15.21.45	"	"	248	87	0,35	127	67	0,53	
15.22.15	"	"	252	61	0,24	117	75	0,64	
15.22.45	"	"	252	57	0,23	125	85	0,68	
9.45.15	BSP 500	T 4 *)	203	1626	8,0	82	13	0,16	
9.45.45	"	"	213	1240	5,8	91	25	0,27	
9.46.15	"	"	205	1050	5,1	92	27	0,29	
9.46.45	"	"	215	1184	5,5	91	23	0,25	
9.47.15	"	"	220	734	3,3	90	35	0,39	Serie 201
9.47.45	"	"	228	894	3,9	93	28	0,30	
9.48.15	"	"	234	1510	6,5	90	18	0,20	
9.48.45	"	"	240	2030	8,5	90	20	0,22	
9.55.45	BSP 600	"	273	109	0,40	146	100	0,69	
9.56.15	"	"	260	69	0,27	132	90	0,68	
9.56.45	"	"	264	81	0,31	137	100	0,73	Serie 202
9.57.15	"	"	270	68	0,25	135	113	0,84	
9.57.45	"	"	267	85	0,32	142	108	0,76	
10.03.15	BSP 500	"	245	15,0	0,061	95	75	0,79	
10.04.00	"	"	255	14,0	0,055	92	87	0,95	
10.04.30	"	"	243	14,0	0,058	90	80	0,89	Serie 203
10.05.15	"	"	255	13,4	0,053	98	82	0,84	
10.05.45	"	"	254	10,6	0,042	92	82	0,89	
10.06.15	"	"	244	10,0	0,041	80	77	0,90	
10.11.15	BSP 600	"	262	38	0,15	133	120	0,90	
10.11.45	"	"	268	22	0,081	139	137	0,98	Serie 204
10.12.15	"	"	274	21	0,077	140	140	1,00	
10.30.15	BSP 500	"	252	1,6	0,006	98	102	1,04	
10.30.45	"	"	248	2,0	0,008	98	88	0,90	Serie 205
10.31.15	"	"	242	1,6	0,006	98	93	0,95	
10.31.45	"	"	242	2,8	0,010	96	95	0,99	

*) Pälarna 1, 4 och 6 vid Tegelbacksförsöken kallas här T 1, T 4 respektive T 6.

Kl.	Hejare	Påle nr	Slagtal slag/min	e mm/min	e mm/slag	P _{l, sk} Mp	P _{sp} Mp	$\frac{P_{sp}}{P_{l, sk}}$	Anmärkn.
10.32.15	BSP500	T 4 ^{*)}	255	0	0	92	103	1,12	Serie 206
10.33.15	"	"	258	1,0	0,004	92	96	1,04	
10.34.15	"	"	256	0	0	92	95	1,03	
10.34.45	"	"	255	2,5	0,010	90	90	1,00	
10.35.15	"	"	256	0,6	0,002	95	100	1,05	
10.35.45	"	"	256	0,8	0,003	91	100	1,10	Serie 207
10.36.15	"	"	237	0	0	90	103	1,15	Serie 208
10.36.45	"	"	228	0,6	0,003	88	99	1,13	
10.37.15	"	"	249	0	0	92	94	1,02	
10.53.30	BSP600	"	255	4,2	0,017	128	150	1,17	
10.54.30	"	"	252	2,0	0,008	120	145	1,21	Serie 209
10.55.30	"	"	249	1,7	0,007	121	140	1,16	
10.56.30	"	"	259	1,8	0,007	123	140	1,14	Serie 210
10.58.00	"	"	252	1,0	0,004	120	135	1,13	
14.03.15	PH 180	T 6 ^{*)}	293	1160	4,0	70	18	0,26	
14.03.45	"	"	293	598	2,1	65	30	0,46	
14.04.15	"	"	290	748	2,6	67	14	0,21	
14.04.45	"	"	300	1006	3,4	72	23	0,32	
14.05.15	"	"	293	625	2,1	66	24	0,36	
14.05.45	"	"	291	402	1,4	67	34	0,51	
14.06.15	"	"	300	570	1,9	68	20	0,29	
14.06.45	"	"	298	638	2,1	70	24	0,34	
14.07.15	"	"	291	546	1,9	66	22	0,33	
14.07.45	"	"	294	528	1,8	68	23	0,34	
14.08.15	"	"	298	568	1,9	67	22	0,33	
14.08.45	"	"	289	300	1,8	64	32	0,58	
14.09.15	"	"	302	69	0,23	67	55	0,82	
14.09.45	"	"	304	17	0,056	69	70	1,02	
14.10.15	"	"	294	13	0,044	65	65	1,00	
14.10.45	"	"	296	11	0,037	64	68	1,06	
14.11.15	"	"	306	9	0,029	73	71	0,97	
14.11.45	"	"	298	11	0,037	66	63	0,95	
14.12.15	"	"	289	6	0,021	64	62	0,97	
14.12.45	"	"	304	12	0,040	70	72	1,03	
14.21.15	BSP600	"	252	202	0,80	135	96	0,71	
14.21.45	"	"	293	143	0,49	152	150	0,99	
14.22.15	"	"	304	22	0,072	160	195	1,22	

*) Pålarna 1, 4 och 6 vid Tegelbacksförsöken kallas här T 1, T 4 respektive T 6.

Serie nr	Hejare	Pale nr	W_l kpm / slag	Slagtal slag/min	Slageffekt Mp/m/min	c mm / min	c mm / slag	$P_{l, sk}$ Mp	P_{sp} Mp	$\frac{P_{sp}}{P_{l, sk}}$	Anmärkn.
201	BSP 500	T 4 *)	86,1	220	19,0	734	3,31	98,0	34,0	0,35	
202	BSP 600	"	213	264	56,2	81	0,31	119	97,0	0,65	
203	BSP 500	"	91,1	243	22,2	11,0	0,058	101	76,0	0,76	
204	BSP 600	"	210	268	56,3	22	0,082	119	153	1,03	
205	BSP 500	"	91,5	248	22,7	2,0	0,008	99,0	103	1,04	
206	"	"	97,5	255	22,3	0	0	97,0	92,0	0,95	
207	"	"	90,8	256	23,3	0,8	0,003	99,0	92,0	0,93	
208	"	"	93,7	237	19,8	0	0	94,5	97,0	1,03	
209	BSP 600	"	158	252	39,8	2,0	0,008	128	135	1,06	
210	"	"	162	259	42,0	1,9	0,007	113	150	1,15	

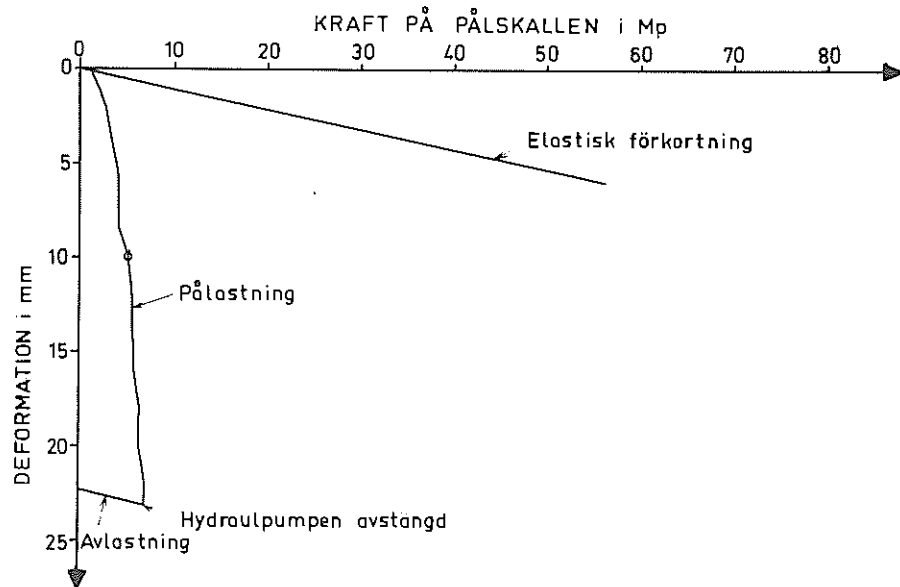
*) Pale 4 vid Tegelbacksförsöken kallas här T 4.

PROVBELASTNINGSDIAGRAM

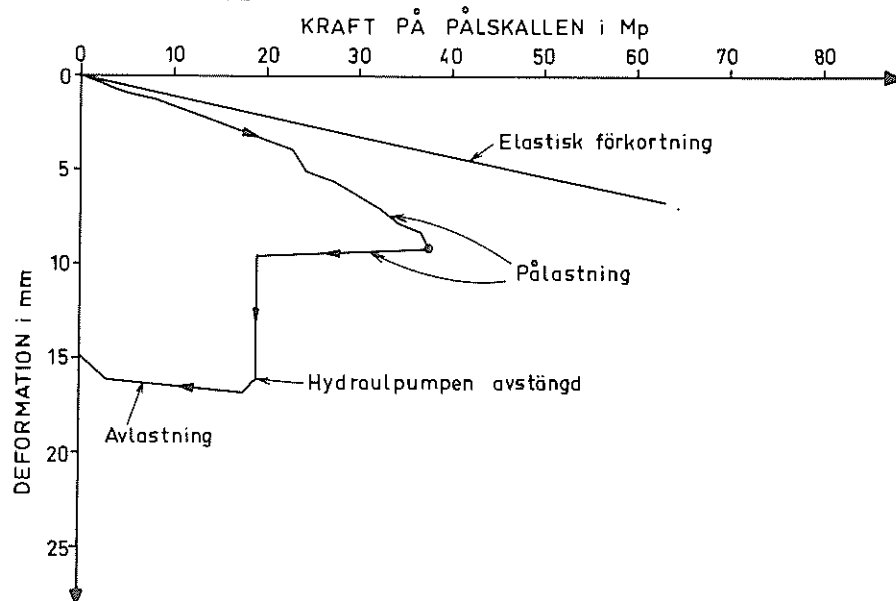
Diagrams from load tests

Translations:	Provbelaatning	=	Load test
	Påle	=	Pile
	Råls	=	Rail
	Valsåmne	=	Billet
	Deformation	=	Settlement
	Kraft	=	Force
	Pålskalle	=	Pile head
	Elastisk förkortning	=	Elastic compression
	Pålastning	=	Loading
	Hydraulpump	=	Hydraulic pump
	Avstängd	=	Closed
	Avlastning	=	Unloading
	Mothållet ger vika	=	Maximum capacity of reaction
	Knäckning	=	Buckling
	Förmodligen	=	Probably

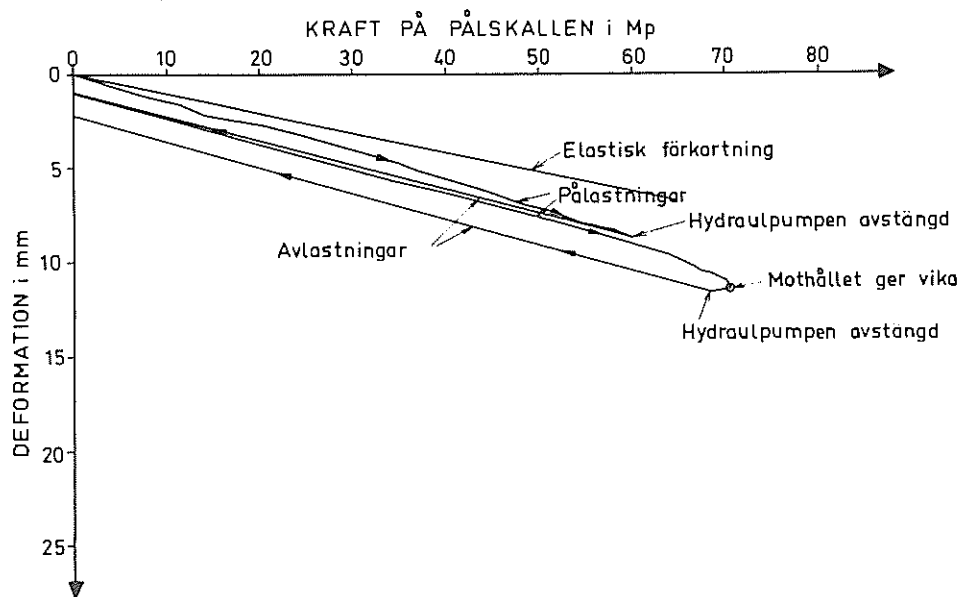
PROVBELASTNING 1
PÅLE 2 (räls)



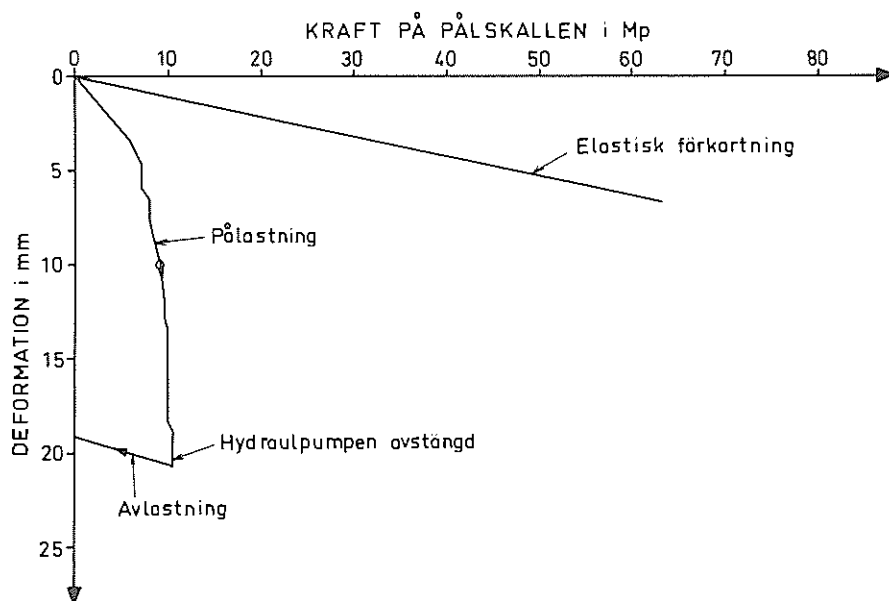
PROVBELASTNING 2
PÅLE 2 (räls)

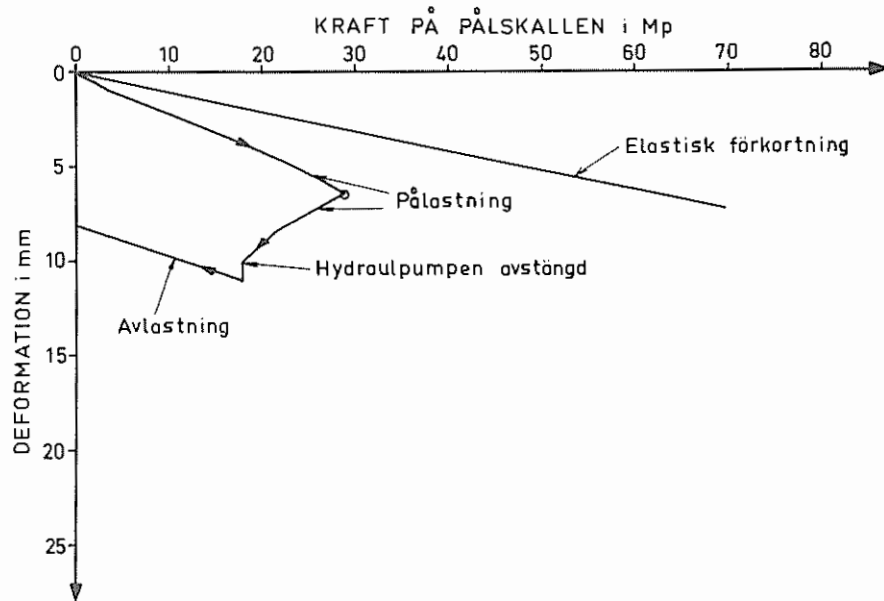
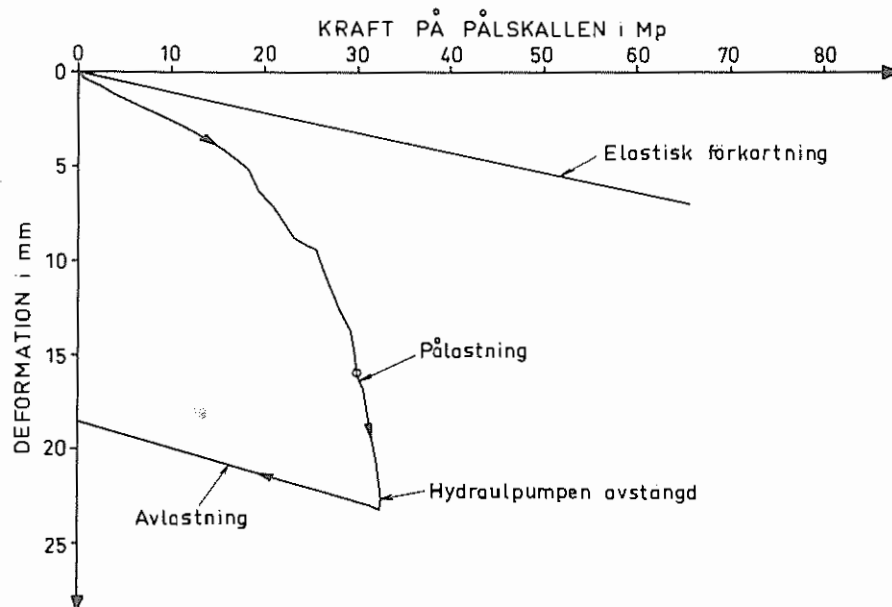


PROVBELASTNING 3
PÅLE 2 (råls)

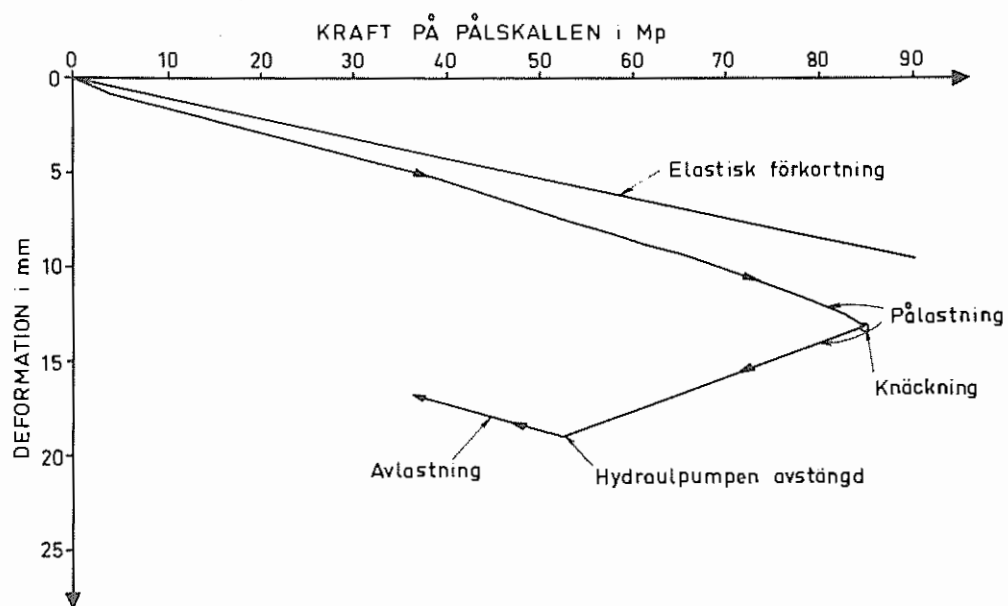


PROVBELASTNING 4
PÅLE 3 (råls)

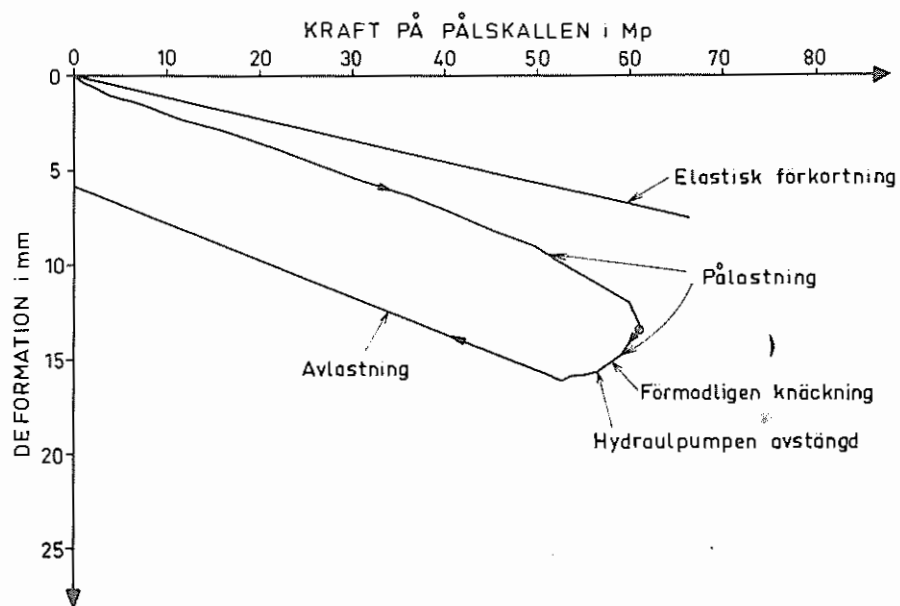


PROVBELASTNING 5PÅLE 3 (räls)PROVBELASTNING 6PÅLE 3 (räls)

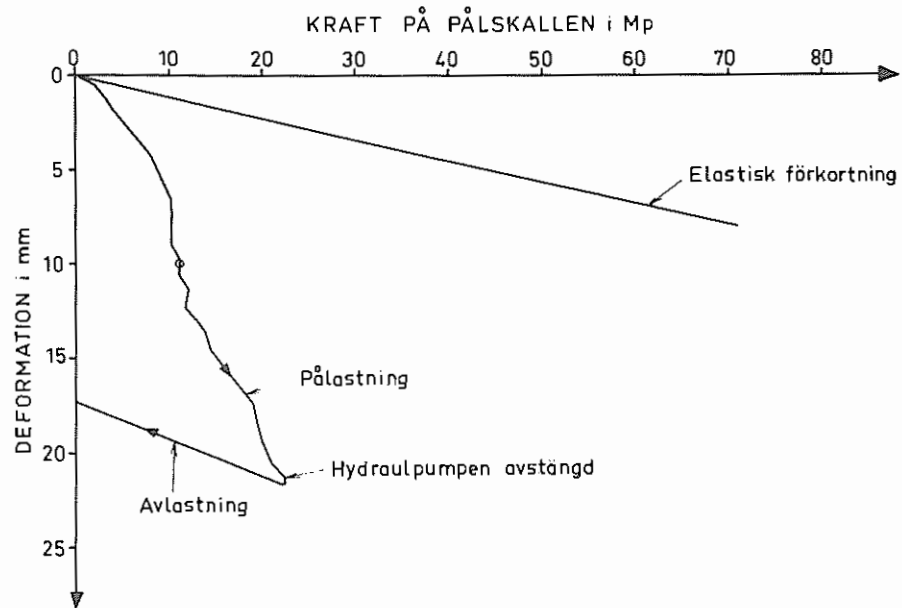
PROVBELASTNING 7
PÅLE 3 (röls)



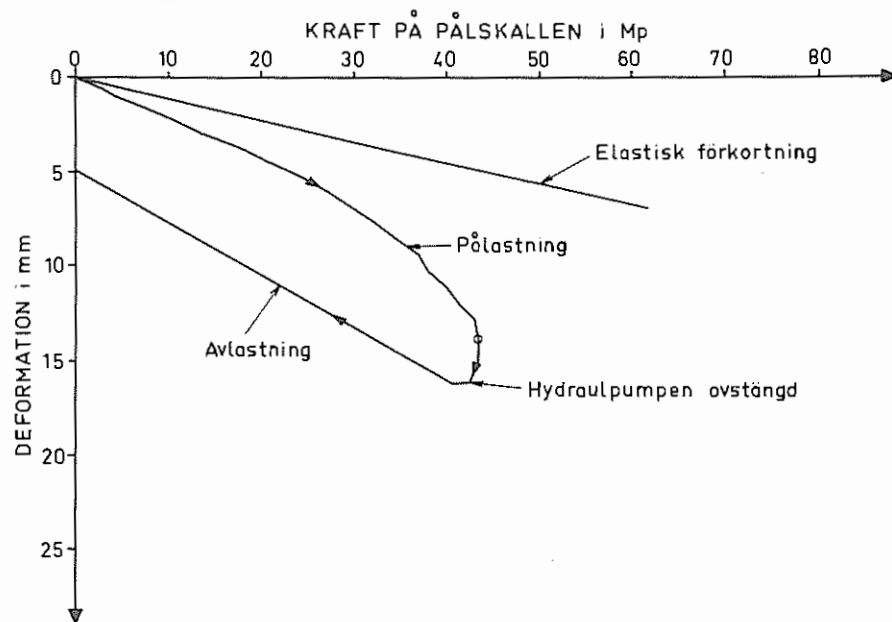
PROVBELASTNING 8
PÅLE 4 (röls)



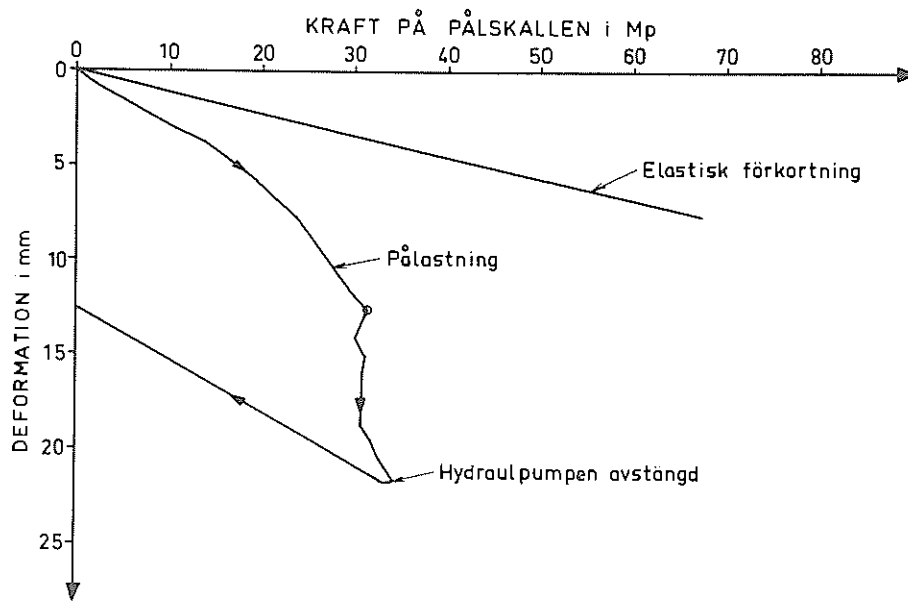
PROVBELASTNING 9
PÅLE 4 (räls)



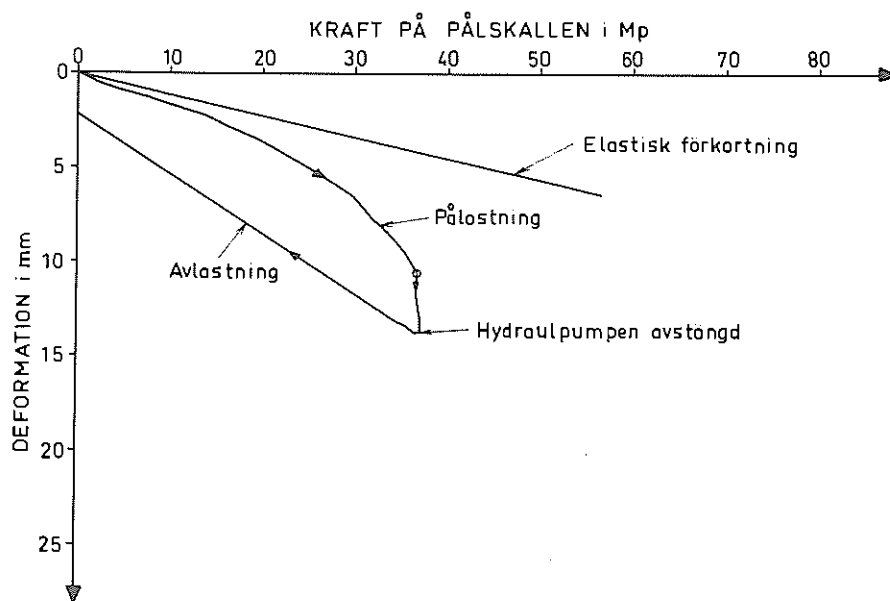
PROVBELASTNING 10
PÅLE 4 (räls)



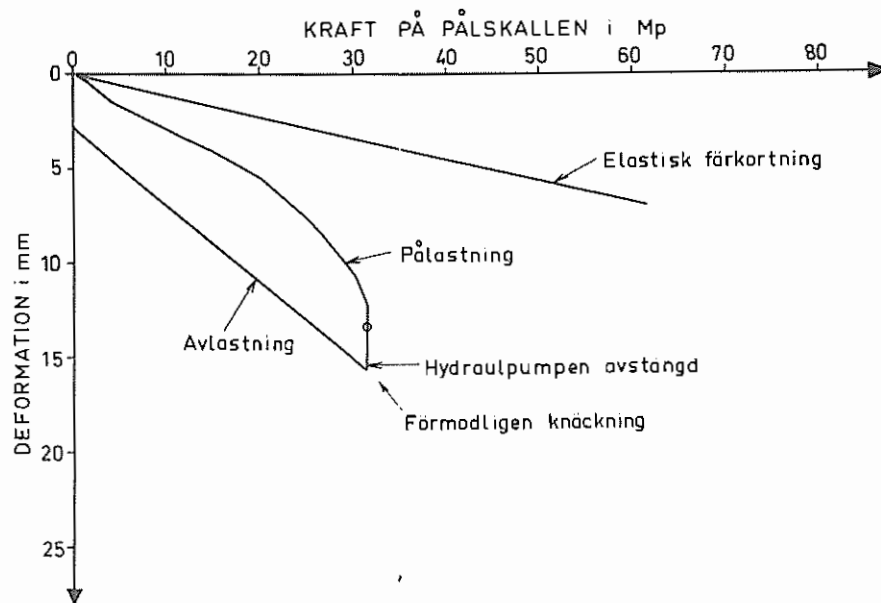
PROVBELASTNING 11
PÅLE 4 (räls)



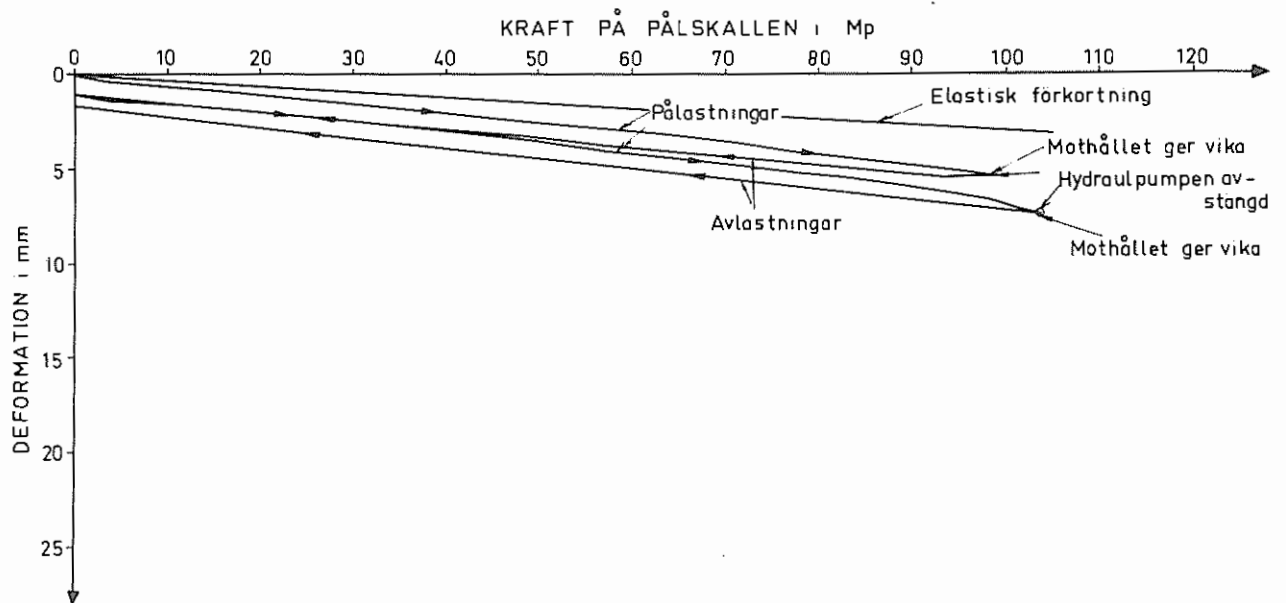
PROVBELASTNING 12
PÅLE 4 (räls)



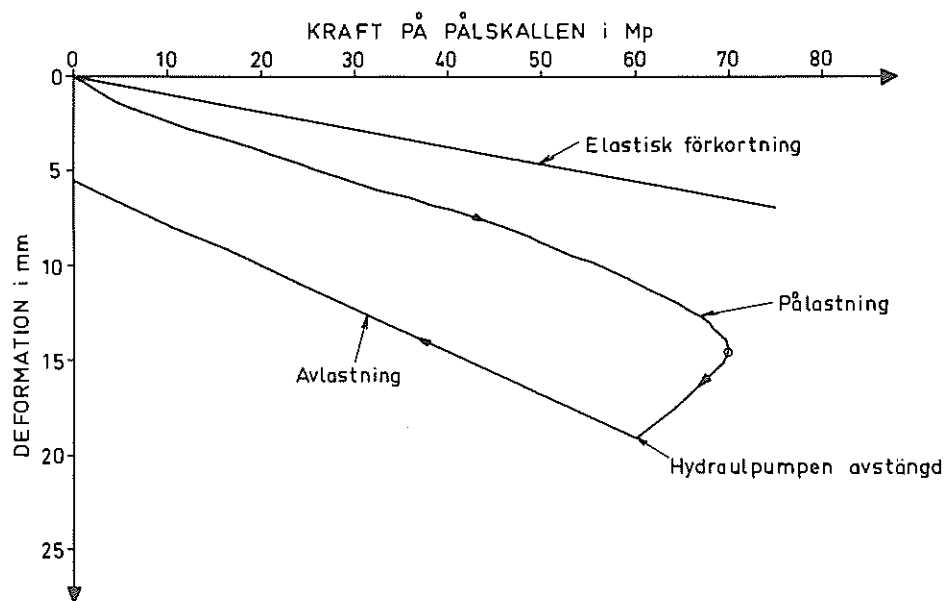
PROVBELASTNING 13
PÅLE 4 (räls)



PROVBELASTNING 14
PÅLE 6 (valsämne)



PROVBELASTNING 15
PÅLE 7 (räls)



SAMMANSTÄLLNING AV PROVBELASTNINGSRISULTAT

Compilation of results from load tests

Translations:	Provbelaatning	=	Load test
	Påle	=	Pile
	Sjunkning före provbelaatning	=	Settlement at the end of driving
	Beräknad	=	Calculated

7:1

Prov- belastning	Påle	A _p	l _p	Hejare	Sjunkning före prov- belastningen	Beräknad P _{sp}	P _{brott}	ε
nr	nr	cm ²	m	typ	mm/slag	Mp	Mp	
1	2	35	7,7	PH 5	3,2	12	5	0,40
2	2	35	8,1	PH 5	0,55	41	38	0,94
3	2	35	8,3	PH 5	0	64	> 71 ¹⁾	> 1,11 ¹⁾
4	3	35	7,7	TEP 400	1,8	13	9	0,68
5	3	35	8,0	PH 5	0,26	43	29	0,67
6	3	35	8,1	PH 5	0,47	39	30	0,77
7	3	35	8,4	PH 5	0,035	54	> 85 ²⁾	> 1,58 ²⁾
8	4	35	8,2	PH 180 K ny	0,59	44	> 61 ²⁾	> 1,38 ²⁾
9	4	35	8,3	PH 250 K	0,96	44	> 11 ³⁾	> 0,25 ³⁾
10	4	35	8,4	PH 180 K ny	0,31	60	> 43 ³⁾	> 0,72 ³⁾
11	4	35	8,4	PH 250 K	2,0	24	> 31 ³⁾	> 1,29 ³⁾
12	4	35	8,6	PH 180 K ny	0,69	49	> 37 ³⁾	> 0,76 ³⁾
13	4	35	8,7	PH 250 K	0,072	67	> 31 ³⁾	> 0,47 ³⁾
14	6	121	8,7	PH 250 K	0,035	140	> 104 ¹⁾	> 0,74 ¹⁾
15	7	35	6,8	2,2 tons fallhejare	0,26	32	70	2,2

1) Mothållet gav vika

2) Sannolikt knäckning av pålen

3) Pålen sannolikt knäckt före provbelastningen

Date	No.	Amount		Particulars	Debit	Credit	Balance
		To	By				
1882	1			Jan 1			
	2			Feb 1			
	3			Mar 1			
	4			Apr 1			
	5			May 1			
	6			Jun 1			
	7			Jul 1			
	8			Aug 1			
	9			Sep 1			
	10			Oct 1			
	11			Nov 1			
	12			Dec 1			
	13			Jan 1			
	14			Feb 1			
	15			Mar 1			
	16			Apr 1			
	17			May 1			
	18			Jun 1			
	19			Jul 1			
	20			Aug 1			
	21			Sep 1			
	22			Oct 1			
	23			Nov 1			
	24			Dec 1			
	25			Jan 1			
	26			Feb 1			
	27			Mar 1			
	28			Apr 1			
	29			May 1			
	30			Jun 1			
	31			Jul 1			
	32			Aug 1			
	33			Sep 1			
	34			Oct 1			
	35			Nov 1			
	36			Dec 1			
	37			Jan 1			
	38			Feb 1			
	39			Mar 1			
	40			Apr 1			
	41			May 1			
	42			Jun 1			
	43			Jul 1			
	44			Aug 1			
	45			Sep 1			
	46			Oct 1			
	47			Nov 1			
	48			Dec 1			
	49			Jan 1			
	50			Feb 1			
	51			Mar 1			
	52			Apr 1			
	53			May 1			
	54			Jun 1			
	55			Jul 1			
	56			Aug 1			
	57			Sep 1			
	58			Oct 1			
	59			Nov 1			
	60			Dec 1			

1882

1883

1884

1885

1886

1887

1888

1889

1890

1891

1892

1893

1894

1895

1896

1897

1898

1899

1900

1901

1902

1903

1904

1905

1906

1907

1908

1909

1910

1911

1912

1913

1914

1915

BILAGA 8
Appendix 8

UPPMÄTTA VÄRDEN PÅ DÄMPNINGEN P_d
Measured values of the damping P_d

Serie	Hejare	Pålo	$P_{l, sk}$	$P_{r, t, sk} =$ $- P_{r, d, sk}$	$2 \cdot P_d$	l_j	M_d	$M_{d, model}$
nr	typ	nr	Mp	Mp	Mp	m	Mp/ m ²	Mp/ m ²
3	PH 5	1	38,5	37,5	1,0	8,10	0,14	
4	"	1	41,3	39,6	1,7	8,10	0,24	
5	"	2	41,3	34,3	7,0	1,45	5,5	
6	"	2	39,8	32,9	5,9	1,85	3,6	
7	"	2	39,9	34,6	5,3	2,20	2,7	
8	"	2	43,0	25,6	17,4	4,93	4,0	
9	"	2	44,4	27,0	17,4	5,05	3,9	
11	"	2	44,8	29,4	15,4	5,19	3,4	
12	"	2	43,0	22,0	21,0	5,28	4,5	3,4
13	"	2	41,3	23,8	17,5	5,43	3,7	
14	"	2	46,2	28,7	17,5	5,65	3,5	
15	"	2	45,8	18,9	26,9	5,88	5,2	
16	"	2	44,8	33,2	11,6	6,17	2,1	
17	"	2	41,0	30,4	10,6	6,56	1,8	
18	"	2	41,0	31,9	9,1	7,17	1,4	
19	"	2	45,1	26,6	18,5	7,52	2,8	
20	TEP400	1	24,2	21,7	2,5	8,10	0,35	
22	"	1	43,4	45,5	- 2,1	8,10	- 0,29	
23	"	3	41,0	37,1	3,9	1,52	2,9	
24	"	3	42,3	35,4	6,9	2,80	2,8	
25	"	3	41,3	34,0	7,3	3,51	2,4	
26	"	3	41,3	29,4	11,9	3,81	3,6	
27	"	3	44,0	36,4	7,6	3,92	2,2	
28	"	3	45,5	41,0	4,5	3,98	1,3	
29	"	3	46,2	34,6	11,6	4,05	3,3	3,2
30	"	3	44,4	30,4	14,0	4,14	3,9	
31	"	3	43,8	23,8	20,0	4,36	5,2	
32	"	3	42,3	28,7	13,6	4,70	3,3	
33	"	3	48,3	22,4	25,9	5,54	5,3	
35	"	3	38,5	23,5	15,0	6,42	2,7	
36	"	3	38,5	25,6	12,9	6,94	2,1	
37	PH 180 ny	4	38,5	33,3	5,2	1,77	3,3	
38	"	4	35,4	28,7	6,7	2,82	2,7	
40	"	4	40,3	25,2	15,1	4,19	4,1	
42	"	4	40,3	27,7	12,6	4,31	3,3	

Serie	Højare	Påle	$P_{l, sk}$	$P_{r, t, sk} - P_{r, d, sk}$	$2 \cdot P_d$	l_j	M_d	$M_{d, medel}$
nr	typ	nr	Mp	Mp	Mp	m	Mp/ m ²	Mp/ m ²
43	PH 180 ny	4	39,2	21,0	18,2	4,35	4,8	
45	"	4	39,6	14,0	25,6	4,71	6,2	
48	"	4	42,7	30,4	12,3	5,27	2,7	3,4
49	"	4	42,0	30,4	11,6	5,67	2,3	
50	"	4	42,0	29,0	13,0	6,25	2,4	
52	"	4	38,9	18,4	20,5	8,11	2,9	
53	"	4	40,6	14,7	25,9	8,17	3,6	
54	"	4	39,2	17,5	21,7	8,20	3,0	
55	"	5a	38,8	36,4	2,4	2,27	1,2	
56	"	5a	47,3	38,9	8,4	2,95	3,2	
57	"	5a	49,0	42,7	6,3	3,05	2,4	
59	"	5a	45,8	42,3	3,5	3,15	1,3	
60	"	5a	45,8	46,9	- 1,1	3,20	- 0,39	1,2
61	"	5a	49,0	47,3	1,7	3,22	0,60	
63	"	5a	48,0	48,7	- 0,7	3,24	- 0,25	
64	"	5a	45,8	42,3	3,5	3,26	1,2	
68	"	5a	52,2	50,4	1,8	3,31	0,62	
69	"	5a	51,1	46,2	4,9	3,31	1,7	
71	PH 250	5a	38,2	34,0	4,2	3,32	1,3	
72	"	5a	39,2	34,6	4,6	3,34	1,6	
73	"	5a	38,5	33,6	4,9	3,39	1,7	
74	"	5a	37,5	35,4	2,1	3,41	0,70	1,4
75	"	5a	39,6	36,0	3,6	3,42	1,2	
76	"	5a	27,0	23,5	3,5	3,45	1,2	
77	"	5a	19,3	14,0	5,3	3,45	1,8	
78	PH 180 ny	1	27,3	23,8	3,5	8,10	0,49	
79	"	1	35,7	32,9	2,8	8,10	0,39	
80	"	1	41,7	33,6	8,1	8,10	1,1	
81	"	1	38,5	35,0	3,5	8,10	0,49	
110	PH 250	6 *)	92,0	93,0	- 1,0	2,85	- 0,40	
111	"	6	101,0	82,5	18,5	3,96	5,3	
112	"	6	97,0	72,6	24,4	4,24	6,6	
114	"	6	95,5	65,3	30,2	4,58	7,5	
115	"	6	98,0	65,3	32,7	4,71	7,9	
116	"	6	102,0	77,5	24,5	5,24	5,3	

*) Påle 6 år en valdæmnespåle (11 x 11 cm²)

Serie	Højare	Påle	P_l , sk	P_r , t, sk - - P_r , d, sk	$2 \cdot P_d$	l_j	M_d	$M_{d, medel}$
nr	typ	nr	Mp	Mp	Mp	m	Mp/ m ²	Mp/ m ²
117	PH 250	6 *)	102,0	93,0	9,0	6,25	1,6	4,6
119	"	6	103,0	89,5	13,5	6,50	2,4	
121	"	6	108,0	87,0	21,0	6,55	3,7	
122	"	6	104,0	48,4	55,6	6,68	9,5	
123	"	6	99,0	77,5	21,5	6,96	3,5	
124	"	6	97,0	83,5	13,5	8,00	1,9	
125	PH 5	7	45,2	22,0	23,2	3,70	7,1	
126	"	7	42,7	30,4	12,3	3,93	3,6	
127	"	7	42,3	22,4	19,9	4,27	5,3	5,0
128	"	7	45,2	22,0	23,2	4,80	5,5	
129	"	7	44,1	28,4	15,7	5,45	3,3	
130	BSP 700	6 *)	132,0	137,0	- 5,0	8,64	- 0,66	
132	"	6	119,0	113,0	6,0	8,77	0,78	
133	PH 250	6	101,0	113,0	- 12,0	8,77	- 1,6	
134	"	6	101,0	88,5	12,5	8,98	1,6	
135	"	6	93,0	93,0	0	8,79	0	
136	"	6	89,5	102,0	- 12,5	8,80	- 1,6	- 0,5
137	"	6	86,0	94,0	- 8,0	8,80	- 1,0	
138	"	6	70,0	75,0	- 5,0	8,80	- 0,65	
139	BSP 700	6	74,0	72,5	1,5	8,85	0,19	
140	"	6	98,0	103,0	- 5,0	8,85	- 0,64	
141	"	6	127,0	142,0	- 15,0	8,85	- 1,9	
201	BSP 500	4 T **)	98,0	64,0	34,0	14,50	2,7	***)
202	BSP 600	4 T	149,0	120,0	29,0	17,25	1,9	
203	BSP 500	4 T	101,0	81,0	20,0	17,37	1,3	
204	BSP 600	4 T	149,0	116,0	33,0	17,40	2,2	
205	BSP 500	4 T	99,0	77,5	21,5	17,45	1,4	
206	"	4 T	97,0	78,5	18,5	17,47	1,2	
207	"	4 T	99,0	82,5	16,5	17,48	1,1	
208	"	4 T	94,5	77,5	17,0	17,48	1,1	
209	BSP 600	4 T	128,0	102,0	26,0	17,49	1,7	
210	"	4 T	143,0	105,0	38,0	17,49	2,5	

*) Påle 6 är en valsämnespåle (11 x 11 cm²)

**) Påle 4 vid Tegelbacksförsöken är en valsämnespåle (11 x 11 cm²) och har här benämnts 4T

***)) Medelvärde för BSP 500 på påle 4 T = 1,5 Mp/m² och för BSP 600 på påle 4 T = 2,1 Mp/m²

UPPMÄTTA VÄRDEN PÅ KOEFFICIENTERNA
 k_v OCH f_c

Measured values of the coefficients k_v and f_c

9:1

Serie nr	Hejare typ	Pole nr	q m ³ /min	k _v	S _{sp} mm/slag	c mm/slag	f _c mm/slag
4	PH 5	1	3,3	1,19	0,25	0	0,25
7	"	2	2,6	1,00	1,83	2,90	- 1,07
8	"	2	2,6	(1,00)	1,18	0,41	0,77
11	"	2	2,7	0,93	1,37	0,54	0,83
19	"	2	2,7	1,04	2,12	2,98	- 0,86
22	TEP 400	1	1,0	(1,00)	0,57	0	0,57
25	"	3	1,0	0,96	1,75	2,18	- 0,43
27	"	3	3,8	(1,00)	1,13	0,20	0,93
30	"	3	3,8	(1,00)	1,37	0,44	0,93
36	"	3	3,5	(1,00)	1,36	2,22	- 0,86
38	PH 180 ny	4	4,6	1,03	2,93	8,85	- 5,92
42	"	1	4,8	(1,15)	1,59	0,37	1,22
54	"	4	4,6	1,03	1,61	0,59	1,02
59	"	5a	5,7	1,05	0,95	0,130	0,82
68	"	5a	5,3	1,01	0,86	0,025	0,83
72	PH 250	5a	11,7	1,07	0,92	0,160	0,76
75	"	5a	11,7	(1,04)	0,51	0,040	0,47
81	PH 180 ny	1	6,1	1,06	0,44	0	0,44
111	PH 250	6	13,1	1,05	2,57	3,62	- 1,05
117	"	6	13,1	(1,16)	0,98	0,62	0,36
121	"	6	12,4	(1,12)	1,09	0,30	0,78
130	BSP 700	6	17	(1,20)	1,09	0,081	1,01
132	"	6	17	1,21	1,04	0,036	1,00
133	PH 250	6	13,0	(1,20)	1,33	0,093	1,24
134	"	6	13,0	1,31	1,10	0,012	1,09
201	BSP 500	4 T		(1,10)	2,01	3,34	- 1,33
202	BSP 600	4 T		(1,10)	2,42	0,31	2,11
203	BSP 500	4 T		(1,10)	1,34	0,058	1,28
204	BSP 600	4 T		(1,10)	1,87	0,082	1,79
206	BSP 500	4 T		(1,10)	1,03	0	1,03
209	BSP 600	4 T		(1,10)	1,42	0,008	1,41

BILAGA 10
Appendix 10

UPPMÄTTA VÄRDEN PÅ KOEFFICIENTERNA
 W_i OCH $\eta \cdot v_o$

Measured values of the coefficients W_i and $\eta \cdot v_o$

VÄRDEN PÅ KOEFFICIENTERNA W_i OCH $\eta \cdot v_o$ FÖR
TRYCKLUFTHEJARE PÅ STÅLPÅLAR

Values of the coefficients W_i and $\eta \cdot v_o$ for air hammers
on steel piles

Serie nr	Hejare typ	Påle nr	q m ³ /min	W_i kpm	P_i , sk Mp	$\eta \cdot v_o$ m/s	$\frac{q}{Q_h}$ m ³ /min·ton	$\sqrt{\frac{q}{Q_h}}$
2	PH 5	1	1,7	16,5	30,1	2,80	31	5,6
3	"	1	2,6	24,3	38,5	3,57	47	6,9
4	"	1	3,3	29,1	41,3	3,84	60	7,7
9	"	2	2,6	27,5	44,4	4,13	47	6,9
11	"	2	2,7	27,6	44,8	4,16	49	7,0
15	"	2	2,7	28,1	45,8	4,26	49	7,0
19	"	2	2,7	30,4	45,1	4,19	49	7,0
20	TEP400	1	1,9	8,2	24,2	2,85	54	7,4
21	"	1	3,8	22,6	42,0	4,95	109	10,9
22	"	1	4,0	27,9	43,4	5,13	147	12,1
29	"	3	3,8	30,5	46,2	5,46	156	12,5
31	"	3	3,7	28,6	43,8	5,17	148	12,2
36	"	3	3,5	20,1	38,5	4,55	130	11,4
43	PH 180 ny	4	4,8	42,5	39,2	4,06	41	6,4
48	"	4	4,6	43,5	42,7	4,43	40	6,3
50	"	4	4,8	41,9	42,0	4,35	41	6,4
60	"	5a	5,7	55,2	45,8	3,81	49	7,0
61	"	5a	5,7	63,9	49,0	4,08	49	7,0
68	"	5a	5,3	56,7	52,2	4,33	46	6,8
69	"	5a	5,3	56,4	51,1	4,25	46	6,8
72	PH 250	5a	11,7	73,5	39,2	3,01	40	6,3
73	"	5a	11,8	68,2	38,5	2,96	40	6,3
76	"	5a	5,0	38,6	27,0	2,07	17	4,1
77	"	5a	2,9	18,2	19,3	1,48	10	3,2
78	PH 180 ny	1	2,4	16,7	27,3	2,27	21	4,6
79	"	1	3,3	26,5	35,7	2,96	28	5,3
80	"	1	4,8	42,2	41,7	3,46	41	6,4
81	"	1	6,1	40,5	38,5	3,20	53	7,3
114	PH 250	6	13,1	90,8	95,5	3,39	44	6,6
116	"	6	13,1	103,3	102	3,60	44	6,6
119	"	6	12,4	102,5	103	3,65	42	6,5
121	"	6	12,4	104,2	108	3,82	42	6,5
126	PH 5	7	2,3	25,7	42,7	3,96	42	6,5
128	"	7	2,3	29,1	45,2	4,19	42	6,5
135	PH 250	6	12,8	85,9	93,0	3,30	43	6,6

VÄRDEN PÅ KOEFFICIENTERNA W_i OCH $\eta \cdot v_o$ FÖR
FALLHEJARE PÅ STÅLPÅLAR

Values of the coefficients W_i and $\eta \cdot v_o$ for drop hammers
on steel piles

Centralstationen - påle 1; se /23/

$$P_{i,sk} = 67 \text{ Mp}$$

Fallhöjd 0,61 m (hejaren upphängd i enkel part)

$$v_o = \sqrt{2 \cdot g \cdot k \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot 0,61} = 3,11 \text{ m/s}$$

$$A_h = 3000 \text{ cm}^2; A_p = 121 \text{ cm}^2$$

Ekv. (27) ger

$$67 = \eta \cdot 3,11 \cdot \frac{\frac{2100 \cdot 3000}{5100} \cdot \frac{2100 \cdot 121}{5100}}{\frac{2100 \cdot 3000}{5100} + \frac{2100 \cdot 121}{5100}}; \eta = 0,45$$

Centralstationen - påle 2

$$P_{i,sk} = 65 \text{ Mp}$$

Fallhöjd 0,60 m (hejaren upphängd i enkel part)

$$v_o = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot 0,60} = 3,08 \text{ m/s}$$

$$A_h = 3000 \text{ cm}^2; A_p = 121 \text{ cm}^2$$

Ekv. (27) ger

$$65 = \eta \cdot 3,08 \cdot \frac{\frac{2100 \cdot 3000}{5100} \cdot \frac{2100 \cdot 121}{5100}}{\frac{2100 \cdot 3000}{5100} + \frac{2100 \cdot 121}{5100}}; \eta = 0,44$$

VÄRDEN PÅ KOEFFICIENTERNA W_1 OCH $\eta \cdot v_0$ FÖR
FALLHEJARE PÅ STÅLPÅLAR

Values of the coefficients W_1 and $\eta \cdot v_0$ for drop hammers
on steel piles

Hovsta - påle 7

$P_{i,sk} \approx 20 \text{ Mp}$ (approximativt värde enl. fig. 35)

Fallhöjd 0,4 m (hejaren upphängd i dubbel part)

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,4} = 1,99 \text{ m/s}$$

$$A_h = 2580 \text{ cm}^2; A_p = 35 \text{ cm}^2$$

Ekv. (27) ger

$$20 = \eta \cdot 1,99 \cdot \frac{\frac{2100 \cdot 2580}{5100} \cdot \frac{2100 \cdot 35}{5100}}{\frac{2100 \cdot 2580}{5100} + \frac{2100 \cdot 35}{5100}}; \eta = 0,71$$

Lidingöbron - påle 242 D1 och 212 A7/32/

Slagningen utfördes med en ånghejare med praktiskt taget ingen friktion mot
gejdern. Anslagshastigheten mättes med höghastighetsfotografering. Vid fall-
höjder varierande mellan 0,5 och 1,0 m har, som ett medelvärde av 20 mät-
ningar, erhållits $\eta = 0,67$.

SAMBAND MELLAN BERÄKNADE OCH UPPMÄTTA VÄRDEN
Correlation between calculated and measured values

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

Swedish Geotechnical Institute

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA RAPPORTER

Reprints and preliminary reports

No.		Pris kr. (Sw. crs.)	
			Out of print
1.	Views on the Stability of Clay Slopes. <i>J. Osterman</i>	1960	»
2.	Aspects on Some Problems of Geotechnical Chemistry. <i>R. Söderblom</i>	1960	»
3.	Contributions to the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris 1961. Part I.	1961	»
	1. Research on the Texture of Granular Masses. <i>T. Kallstenius & W. Bergau</i>		
	2. Relationship between Apparent Angle of Friction — with Effective Stresses as Parameters — in Drained and in Consolidated-Undrained Triaxial Tests on Saturated Clay. Normally-Consolidated Clay. <i>S. Odenstad</i>		
	3. Development of two Modern Continuous Sounding Methods. <i>T. Kallstenius</i>		
	4. In Situ Determination of Horizontal Ground Movements. <i>T. Kallstenius & W. Bergau</i>		
4.	Contributions to the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris 1961. Part II.	1961	5:—
	Suggested Improvements in the Liquid Limit Test, with Reference to Flow Properties of Remoulded Clays. <i>R. Karlsson</i>		
5.	On Cohesive Soils and Their Flow Properties. <i>R. Karlsson</i>	1963	10:—
6.	Erosion Problems from Different Aspects.	1964	10:—
	1. Unorthodox Thoughts about Filter Criteria. <i>W. Kjellman</i>		
	2. Filters as Protection against Erosion. <i>P. A. Hedar</i>		
	3. Stability of Armour Layer of Uniform Stones in Running Water. <i>S. Andersson</i>		
	4. Some Laboratory Experiments on the Dispersion and Erosion of Clay Materials. <i>R. Söderblom</i>		
7.	Settlement Studies of Clay.	1964	10:—
	1. Influence of Lateral Movement in Clay Upon Settlements in Some Test Areas. <i>J. Osterman & G. Lindskog</i>		
	2. Consolidation Tests on Clay Subjected to Freezing and Thawing. <i>J. G. Stuart</i>		
8.	Studies on the Properties and Formation of Quick Clays. <i>J. Osterman</i>	1965	5:—
9.	Beräkning av pålar vid olika belastningsförhållanden. <i>B. Broms</i>	1965	30:—
	1. Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar.		
	2. Brottlast för snett belastade pålar.		
	3. Beräkning av vertikala pålars bärförmåga.		
10.	Triaxial Tests on Thin-Walled Tubular Samples.	1965	5:—
	1. Effects of Rotation of the Principal Stress Axes and of the Intermediate Principal Stress on the Shear Strength. <i>B. Broms & A. O. Casbarian</i>		
	2. Analysis of the Triaxial Test—Cohesionless Soils. <i>B. Broms & A. K. Jamal</i>		
11.	Något om svensk geoteknisk forskning. <i>B. Broms</i>	1966	5:—
12.	Bärförmåga hos pålar slagna mot släntberg. <i>B. Broms</i>	1966	15:—
13.	Förankring av ledningar i jord. <i>B. Broms & O. Orrje</i>	1966	5:—
14.	Ultrasonic Dispersion of Clay Suspensions. <i>R. Pusch</i>	1966	5:—
15.	Investigation of Clay Microstructure by Using Ultra-Thin Sections. <i>R. Pusch</i>	1966	10:—
16.	Stability of Clay at Vertical Openings. <i>B. Broms & H. Bennermark</i>	1967	10:—

No.			Pris kr. (Sw. crs.)
17.	Om påslagning och pålbärighet.	1967	5:—
	1. Dragsprickor i armerade betongpålar. <i>S. Sahlin</i>		
	2. Sprickbildning och utmattning vid slagning av armerade modellpålar av betong. <i>B-G. Hellers</i>		
	3. Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök. <i>S-E. Rehnman</i>		
	4. Negativ mantelfriktion. <i>B. H. Fellenius</i>		
	5. Grundläggning på korta pålar. Redogörelse för en försöksserie på NABO-pålar. <i>G. Fjellner</i>		
	6. Krokiga pålars bärförmåga. <i>B. Broms</i>		
18.	Pålgruppers bärförmåga. <i>B. Broms</i>	1967	10:—
19.	Om stoppslagning av stödpålar. <i>L. Hellman</i>	1967	5:—
20.	Contributions to the First Congress of the International Society of Rock Mechanics, Lisbon 1966.	1967	5:—
	1. A Note on Strength Properties of Rock. <i>B. Broms</i>		
	2. Tensile Strength of Rock Materials. <i>B. Broms</i>		
21.	Recent Quick-Clay Studies.	1967	10:—
	1. Recent Quick-Clay Studies, an Introduction. <i>R. Pusch</i>		
	2. Chemical Aspects of Quick-Clay Formation. <i>R. Söderblom</i>		
	3. Quick-Clay Microstructure. <i>R. Pusch</i>		
22.	Jordtryck vid friktionsmaterial.	1967	30:—
	1. Resultat från mätning av jordtryck mot brolandfäste. <i>B. Broms & I. Ingelson</i>		
	2. Jordtryck mot oeftergivliga konstruktioner. <i>B. Broms</i>		
	3. Metod för beräkning av sambandet mellan jordtryck och deformation hos främst stödmurar och förankringsplattor i friktionsmaterial. <i>B. Broms</i>		
	4. Beräkning av stolpfundament. <i>B. Broms</i>		
23.	Contributions to the Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, Oslo 1967.	1968	10:—
	1. Effective Angle of Friction for a Normally Consolidated Clay. <i>R. Brink</i>		
	2. Shear Strength Parameters and Microstructure Characteristics of a Quick Clay of Extremely High Water Content. <i>R. Karlsson & R. Pusch</i>		
	3. Ratio c/p' in Relation to Liquid Limit and Plasticity Index, with Special Reference to Swedish Clays. <i>R. Karlsson & L. Viberg</i>		
24.	A Technique for Investigation of Clay Microstructure. <i>R. Pusch</i>	1968	22:—
25.	A New Settlement Gauge, Pile Driving Effects and Pile Resistance Measurements.	1968	10:—
	1. New Method of Measuring in-situ Settlements. <i>U. Bergdahl & B. Broms</i>		
	2. Effects of Pile Driving on Soil Properties. <i>O. Orrje & B. Broms</i>		
	3. End Bearing and Skin Friction Resistance of Piles. <i>B. Broms & L. Hellman</i>		
26.	Sättningar vid vägbyggnad.	1968	20:—
	Föredrag vid Nordiska Vägtekniska Förbundets konferens i Voksenåsen, Oslo 25–26 mars 1968.		
	1. Geotekniska undersökningar vid bedömning av sättningar. <i>B. Broms</i>		
	2. Teknisk-ekonomisk översikt över anläggningsmetoder för reducering av sättningar i vägar. <i>A. Ekström</i>		
	3. Sättning av verkstadsbyggnad i Stenungsund uppförd på normalkonsoliderad lera. <i>B. Broms & O. Orrje</i>		
27.	Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat från modellförsök. <i>S-E. Rehnman</i>	1968	15:—

No.		Pris kr. (Sw. crs.)
28.	Bidrag till Nordiska Geoteknikermötet i Göteborg den 5-7 september 1968. 1. Nordiskt geotekniskt samarbete och nordiska geoteknikermöten. <i>N. Fjodin</i> 2. Några resultat av belastningsförsök på lerterräng speciellt med avseende på sekundär konsolidering. <i>G. Lindskog</i> 3. Sättningar vid grundläggning med plattor på morän- lera i Lund. <i>S. Hansbo, H. Bennermark & U. Kihlblom</i> 4. Stabilitetsförbättrande spontkonstruktion för bankfyll- ningar. <i>O. Wager</i> 5. Grundvattenproblem i Stockholms city. <i>G. Lindskog & U. Bergdahl</i> 6. Aktuell svensk geoteknisk forskning. <i>B. Broms</i>	1968 15:—
29.	Classification of Soils with Reference to Compaction. <i>B. Broms & L. Forssblad</i>	1968 5:—
30.	Flygbildstolkning som hjälpmedel vid översiktliga grundundersökningar. 1. Flygbildstolkning för jordartsbestämning vid samhälls- planering 1-2. <i>U. Kihlblom, L. Viberg & A. Heiner</i> 2. Identifiering av berg och bedömning av jorddjup med hjälp av flygbilder. <i>U. Kihlblom</i>	1969 10:—
31.	Nordiskt sonderingsmöte i Stockholm den 5-6 oktober 1967. Föredrag och diskussioner.	1969 30:—
32.	Contributions to the 3rd Budapest Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Budapest 1968. 1. Swedish Tie-Back Systems for Sheet Pile Walls. <i>B. Broms</i> 2. Stability of Cohesive Soils behind Vertical Openings in Sheet Pile Walls. Analysis of a Recent Failure. <i>B. Broms & H. Bennermark</i>	1969 10:—
33.	Seismikdag 1969. Symposium anordnat av Svenska Geotek- niska Föreningen den 22 april 1969.	1970 20:—
34.	Något om geotekniken i Sverige samt dess roll i plane- rings- och byggprocessen. Några debattinlägg och allmänna artiklar. <i>T. Kallstenius</i> 1. Geoteknikern i det specialiserade samhället. <i>B. Broms</i> 2. Diskussionsinlägg vid konferens om geovetenskaperna, 7 mars 1969. 3. Geoteknik i Sverige — utveckling och utvecklingsten- denser. 4. Geotekniska undersökningar och grundläggningsmeto- der. 5. Grundläggning på plattor — en allmän översikt.	1970 15:—
35.	Piles — a New Force Gauge, and Bearing Capacity Calcu- lations. 1. New Pile Force Gauge for Accurate Measurements of Pile Behavior during and Following Driving. <i>B. Fellenius & Th. Haagen</i> 2. Methods of Calculating the Ultimate Bearing Capa- city of Piles. A Summary. <i>B. Broms</i>	1970 10:—
36.	Påslagning. Materialegenskaper hos berg och betong. 1. Bergets bärförmåga vid punktbelastning. <i>S.-E. Rehnman</i> 2. Deformationsegenskaper hos slagna betongpålar. <i>B. Fellenius & T. Eriksson</i>	1970 10:—
37.	Jordtryck mot grundmurar. 1. Jordtryck mot grundmurar av Lecablock. <i>S.-E. Rehnman & B. Broms</i> 2. Beräkning av jordtryck mot källarväggar. <i>B. Broms</i>	1970 10:—
38.	Provtagningsdag 1969. Symposium anordnat av Svenska Geotekniska Föreningen den 28 oktober 1969.	1970 25:—

No.			Pris kr. (Sw. crs.)
39.	Morändag 1969. Symposium anordnat av Svenska Geotekniska Föreningen den 3 december 1969.	1970	25:—
40.	Stability and Strengthening of Rock Tunnels in Scandinavia.	1971	25:—
	1. Correlation of Seismic Refraction Velocities and Rock Support Requirements in Swedish Tunnels. <i>O. S. Cecil</i>		
	2. Problems with Swelling Clays in Norwegian Underground Constructions in Hard-Rocks. <i>R. Selmer-Olsen</i>		
41.	Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon. <i>G. Fjellner</i>	1971	30:—